

Desarrollo de Placa Embebida IoT con Aplicación para configuraciones de Sensores y Set Points

Allisson Barahona Cerrato, Ingeniería en Mecatrónica, Alejandra Orellana Borjas, Ingeniería en Mecatrónica/
Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, allisonbarahona3@gmail.com,
yaneryorellana2000@gmail.com

Abstract— The 4.0 industrial revolution refers to new technologies such as the Internet of Things and Wireless Communication. Currently, the Internet of Things connects more than 26 billion devices, and large industries are implementing Wireless Communication on machine-to-machine communication. Also, individuals continue to seek intelligent technological devices for the efficiency of their daily life tasks. Although the Internet of Things has many applications, the aim of this current investigation is the Wifi communication of an embedded board to an App to identify the advantages of using an IoT board compared to other intelligent control devices. To develop the embedded board containing three sensors and a PIC microcontroller with a Wireless Communication through a Wifi NodeMCU module that sent data to a website for data monitoring and controlling, a quantitative approach, and a V-model was used. The results determined that the development of the embedded board was more economical than a PLC. Based on its low-cost and easy maintenance, it's concluded that the design of the embedded board in this investigation is a good alternative for monitoring sensor data remotely.

Keywords—Internet of Things, Sensors, PIC Microcontroller, Wifi module, Embedded board

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.698>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Desarrollo de Placa Embebida IoT con Aplicación para configuraciones de Sensores y Set Points

Allisson Barahona Cerrato, Ingeniería en Mecatrónica, Alejandra Orellana Borjas, Ingeniería en Mecatrónica¹
Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, allisonbarahona3@gmail.com,
yaneryorellana2000@gmail.com

Resumen— Actualmente, hay más de 26 billones de dispositivos conectados al Internet de las Cosas. La comunicación inalámbrica a través de internet ha sido una de las tecnologías más novedosas que nos ha dejado la revolución industrial 4.0. Esta tecnología es utilizada en las grandes industrias para la comunicación entre máquinas y también tiene aplicación en la vida cotidiana ya que las personas buscan dispositivos tecnológicos inteligentes que les brinden comodidad y les haga la vida más fácil. El Internet de las Cosas tiene muchas más aplicaciones, sin embargo, este estudio se centra en la comunicación Wifi de una placa electrónica a una aplicación web, con el objetivo de identificar las ventajas que tiene el uso de estas placas IoT frente a otros dispositivos inteligentes de control. Se utilizó un enfoque cuantitativo y una metodología para diseño de productos mecánicos en 'V'. Los resultados encontrados fueron el desarrollo de una placa embebida, que consta de 3 sensores y un microcontrolador, y que se comunica de forma inalámbrica, utilizando un módulo Wifi NodeMCU, a una aplicación web para el monitoreo y control de datos y que es económicamente viable a comparación de un PLC. Se concluye que el proyecto es funcional para el monitoreo de datos de sensores de manera remota, siendo una alternativa de bajo costo y fácil mantenimiento.

Palabras Claves—Internet de las Cosas, Sensores, Microcontrolador PIC, Módulo Wifi, Placa Embebida

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la implementación de una de las tecnologías innovadoras de la Industria 4.0 en los procesos de producción, control, monitoreo, etc. de las empresas industriales. La nueva revolución industrial, conocida como la Industria 4.0, ya está siendo implementada en muchos países y se considera que aquellas empresas que no implementen esta nueva forma de trabajar quedarán obsoletas.

La Industria 4.0 desarrolla una tecnología muy innovadora denominada Internet de las Cosas, esta se refiere a que todos los dispositivos y actividades cotidianas estén conectadas a Internet. La principal característica del Internet de las Cosas es que los procesos y actividades estén automatizados, por lo tanto, no requieran de una persona para poder realizarse. El mundo se está adaptando a esta nueva tecnología rápidamente.

Los procesos de producción industriales generalmente se llevan a cabo utilizando sensores para controlar cada una de sus etapas. Es necesario conectar estos sensores a Internet para poder implementar la tecnología innovadora del Internet de las Cosas. En una empresa, la conexión de sensores a una red de Internet conlleva muchas ventajas como son el monitoreo de estos de manera remota, obtener alarmas cuando algo este fallando, entre otras. Incluso en la vida cotidiana las personas se mantienen en busca de dispositivos que faciliten sus

actividades, con esto podemos decir que el Internet de las Cosas es el futuro y la actualidad.

El objetivo de este documento es presentar una manera fácil y accesible de envío y control de datos de tres sensores hacia una aplicación en Internet implementando la tecnología del Internet de las Cosas.

II. SUSTENTO TEÓRICO

La Industria 4.0 es una realidad y diversas industrias ya han comenzado a implementar estas nuevas tecnologías. El Internet de las Cosas es una de estas nuevas tecnologías y brinda numerosos beneficios para las empresas, como ser, recopilar información al instante y automatizar procesos, esto hace que las empresas tengan ahorros en su producción, energía, tiempo y dinero.

Actualmente, en los sistemas de control industriales es muy importante poder obtener los datos recopilados por los sensores desde cualquier parte del mundo y poder modificar sus parámetros basados en las necesidades del cliente o producto específico, por lo que la implementación de esta tecnología innovadora de Internet de las Cosas ha venido a cambiar la forma de trabajo. Otra tecnología que permite el ahorro en las industrias son los sistemas embebidos. Los sistemas embebidos son de fácil mantenimiento ya que solo se debe reemplazar el componente dañado. El diseño y construcción de sistemas embebidos permite una reducción de costos debido a que estos tienen la finalidad de cubrir necesidades concretas.

A. Internet de las Cosas

El Internet de las Cosas ha sido la nueva revolución después del surgimiento del Internet. Cada objeto, ya sea, vivo o no vivo, puede estar conectado a una red de Internet lo cual lo hace inteligente y mejora su efectividad. IoT es utilizado para la construcción de una red de información con tecnología de último momento, en especial, con el uso de sensores inteligentes para poder realizar las tareas más importantes en las industrias como lo son, el monitoreo, identificación y la gestión inteligente de objetos [1]. El Internet de las Cosas es una tecnología innovadora en donde todos los objetos utilizados día a día están conectados a Internet. Los dispositivos que forman parte del Internet de las Cosas son capaces de interactuar con humanos o con otros dispositivos que tienen esta misma tecnología.

El Internet de las Cosas se define como una interconexión de objetos cotidianos en una red que cuenta con un nivel de inteligencia inmenso. El uso del Internet ha aumentado enormemente al conectar cada objeto a través de sistemas integrados que terminan en una red extremadamente dispersa

de dispositivos que se comunican con humanos, así como dispositivos electrónicos que se admiten en la web [2].

La industria global de Internet es cada vez más avanzada, mostrando un vigoroso potencial de desarrollo y vitalidad, y convirtiéndose gradualmente en una parte importante de la promoción del desarrollo económico y sus desafíos. En el futuro, con la ayuda de nuevas tecnologías y con el aumento del uso del Internet, el enfoque de la conexión a Internet cambiará de la conexión orientada a las personas a la conexión de Internet de las Cosas [3].

B. Sistemas Embebidos

Los sistemas embebidos se van desarrollando a lo largo del tiempo y la tecnología de estos se va innovando lo cual tiene un gran impacto en el desarrollo del Internet de las Cosas, ya que permite ser implementado en nuevos procesos o actividades [4]. Un sistema embebido recopila información y basándose en esta, ejecuta un sistema de control para cumplir con una acción deseada. Las ventajas que ofrecen los sistemas embebidos en comparación con otros dispositivos inteligentes de control, es el bajo costo y el desarrollo de un sistema que sea específico para el proyecto deseado.

Los sistemas informáticos embebidos son sistemas informáticos específicos para una aplicación, que interactúan con objetos complejos del mundo físico y se crean con respecto a los requerimientos específicos del proyecto [5]. Los sistemas embebidos han entrado en la era de la tecnología a gran escala de servicios inteligentes de la era del desarrollo independiente. En la aplicación del Internet de las Cosas, el sistema embebido lleva a cabo la tarea de recopilación de información física subyacente para acoplarse a actividades específicas [6].

Los sistemas embebidos son optimizados y minimizados en tamaño, peso, costo, tiempo de operación y consumo de energía eléctrica. Dichos sistemas se utilizan en muchos productos u otros sistemas electrónicos. Muchos sistemas embebidos son alimentados por baterías y la energía eléctrica disponible debe ser utilizada de manera eficiente [7].

C. Sistemas de Control

Las industrias actualmente implementan diversos sistemas de control para los distintos procesos de producción. Dependiendo de las características del proceso, de las necesidades del cliente y de los objetivos de la empresa, se determina el tipo de sistema de control a utilizar y los distintos dispositivos inteligentes que forman parte del sistema. Un sistema de control para un proceso de producción es un sistema que lleva a cabo la transformación de una idea intangible a una tangible. Es necesario que la empresa tenga toda la información del proceso al cual se le implementa un sistema de control, para alcanzar los beneficios deseados desde un inicio y no tener problemas en la implementación de este [8].

Un sistema de control debe basarse en los mercados referentes al proceso que se está realizando. La finalidad de un sistema de control es cumplir con las necesidades y

expectativas de los clientes. Los sistemas de control también buscan cumplir con los beneficios deseados por la empresa [9].

Con la implementación de tecnologías innovadoras en los últimos años, los sistemas de control por computadora han sido aplicados en diversos procesos industriales y en actividades cotidianas. La tecnología sigue avanzando y cada día se vuelve más fuerte, por lo tanto, los sistemas de control también van mejorando. La vida como se conocía hace un tiempo atrás, está siendo reemplazada por una manera de vivir más práctica. En especial en las industrias se puede determinar cómo han impactado estas tecnologías cambiando la manera de trabajo [10].

D. Sistemas de Sensores

Los sensores son instrumentos que recopilan datos de su entorno. En cualquier aplicación o tecnología inteligente, los sensores son muy importantes. Estos detectan cualquier cambio físico o químico, después procesan todos los datos recopilados, para de esta manera poder automatizar máquinas o cualquier objeto para hacerlo más inteligente [11]. A medida que pasa el tiempo, los sensores poco a poco se van integrando en las vidas cotidianas de las personas y en los procesos de producción de varias industrias, junto con la revolucionaria tecnología del Internet de las Cosas que permite el avance de dispositivos inteligentes.

Los sensores tienen una función muy importante y similar a la de los cinco sentidos, por ejemplo, a las personas, la vista les ayuda a ver qué tan lejos o que tan cerca está un objeto. Los oídos les ayudan a escuchar que tan alto o que tan bajo se escucha un ruido y así funciona con los demás sentidos. Los sentidos son los receptores de toda la información de los eventos que ocurren alrededor, y luego de que obtienen esta información la envían al cerebro y este le indica al cuerpo como reaccionar. De igual forma los sensores son los sentidos de las máquinas, robots, sistemas embebidos, etc.

Los sensores más conocidos son las cámaras digitales, el micrófono, el GPS, el acelerómetro y el giroscopio. Estos permiten a los usuarios regulares tomar fotografías, grabar videos y conversaciones, determinar las coordenadas donde se encuentra, para emplear los servicios relacionados con la ubicación espacial, y detectar movimientos, todos estos se encuentran en los teléfonos inteligentes, tabletas electrónicas y computadoras [12].

Anteriormente, la tecnología del Internet de las Cosas se comunicaba a través de sistemas cableados, pero ahora la comunicación puede realizarse de manera inalámbrica gracias a los modificados y bien desarrollados sensores modernos y elementos de protección. Gracias a la nueva forma de comunicación inalámbrica que ha traído consigo el Internet de las Cosas es mucho más cómodo la recopilación de datos de sensores. La comunicación inalámbrica también permite poder monitorear sistemas o una red de sensores de manera remota desde cualquier lugar [13].

III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se decidió utilizar una metodología en 'V' debido a los subsistemas que contiene el desarrollo de una aplicación IoT para la visualización y modificación de datos y parámetros de los sensores. La metodología en 'V' se destaca por la descomposición de un producto final en varios sistemas. El requerimiento del presente proyecto es la correcta visualización de los datos obtenidos por tres sensores mediante una aplicación de Internet de las Cosas utilizando un microcontrolador PIC y demás componentes de fácil acceso a cualquier persona. La metodología en 'V' se muestra en la Fig. 1. Esta se divide en seis etapas principales donde se establecen los sistemas y subsistemas del proyecto, al igual que se describen las actividades y pruebas a realizar para el desarrollo del proyecto [14].

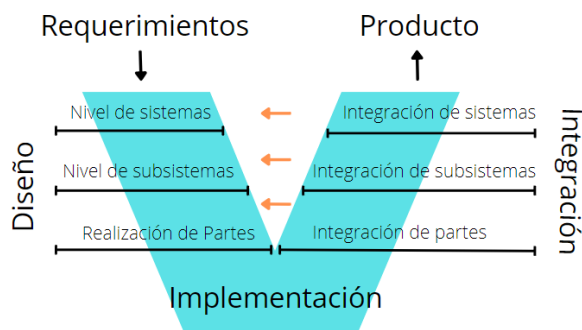


Fig. 1 Metodología en V
Fuente: Elaboración Propia

Este estudio se realizará mediante pruebas. Las primeras pruebas se realizarán con una simulación de todos los componentes necesarios para el proyecto conectados entre sí utilizando la herramienta de Proteus. Seguidamente, se realizarán pruebas físicas por medio de una protoboard. Luego, se requerirá el diseño e impresión de la PCB. El diseño se realizará utilizando Proteus y la impresión utilizando una máquina CNC. Se harán pruebas de envío de datos hacia la aplicación IoT. La aplicación se diseñará utilizando la plataforma Ubidots.

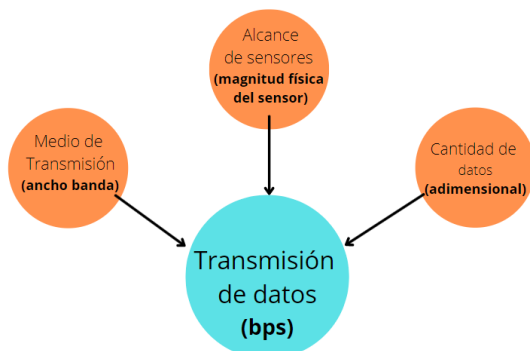


Fig. 2 Variables de Investigación
Fuente: Elaboración Propia

Esta investigación cumple con los requisitos para considerarse de enfoque cuantitativo, el cual se determina debido a que su funcionamiento depende de los datos medidos por los sensores utilizados en el proyecto. Las medidas de los sensores son analizadas para determinar si hay una comunicación inalámbrica efectiva donde los datos lleguen a la aplicación utilizando Internet de las Cosas. Las variables por considerar en nuestro estudio se muestran en la Fig. 2.

La variable dependiente del proyecto es la transmisión de datos y las variables independientes son el medio de transmisión, el alcance de los sensores y la cantidad de datos enviados. La transmisión de los datos obtenidos por los sensores a una aplicación para su visualización y modificación es primordial para el funcionamiento del proyecto. La transmisión de los datos depende de: el medio de transmisión, el alcance de los sensores y la cantidad de datos.

Existen diversos medios de transmisión como ser: Bluetooth, Wifi, Fibra óptica, etc. El ancho de banda de cada medio de transmisión es la cantidad de datos que pueden transferirse por ese medio en un período de tiempo específico. El ancho de banda difiere dependiendo del medio escogido. El medio de transmisión sirve como conexión entre los datos recolectados por el microcontrolador con los datos recibidos en la aplicación para su correcta visualización. Sin el medio de transmisión no hay recolección ni visualización de datos.

Se escogieron distintos sensores para obtener datos que sirvan de transmisión para el funcionamiento del proyecto. Cada uno de los sensores escogidos tiene distintos parámetros que se deben configurar adecuadamente para poder comunicarse con el microcontrolador y de esta manera poder obtener los datos correctos para su transmisión. El alcance es un parámetro fundamental para la transmisión de datos, ya que si se sobrepasa el alcance del sensor no se obtendrán datos correctos para poder transmitir. El alcance de un sensor son los valores que puede medir el sensor y se determinan por un valor mínimo y un máximo. Su dimensión varía de las características del propio sensor, si se trata de un sensor ultrasónico su alcance se medirá en metros, mientras que si se trata de un sensor de temperatura su alcance se medirá en grados Celsius o Fahrenheit. La cantidad de datos que se transmiten al mismo tiempo afectan la comunicación, ya que pueden ocurrir interferencias entre los datos y la transmisión será más lenta.

IV. DESARROLLO

Primeramente, se tuvieron que establecer los requerimientos del proyecto final. El requerimiento principal fue el uso de un microcontrolador PIC para la programación y funcionamiento total del proyecto. La función principal consiste en que el microcontrolador establezca los parámetros para la recopilación de los datos de los sensores y la configuración del módulo de comunicación. El siguiente requerimiento fue el uso de un módulo de comunicación inalámbrica, ya sea Wifi o Bluetooth. Por último, era

fundamental el uso de al menos tres sensores que enviaran sus datos hacia la aplicación IoT.

A. Etapa I: Nivel de los sistemas

El primer paso para el desarrollo de esta investigación es establecer los sistemas del proyecto.

- Sistema de control basado en tres sensores distintos que envían los datos medidos a un microcontrolador.
- Sistema electrónico se compone de conjuntos de dispositivos que operan con señales eléctricas para ejecutar la función determinada por el sistema de control.

B. Etapa II: Nivel de los subsistemas

Cada uno de los sistemas establecidos para el proyecto contiene sus subsistemas. A continuación, se muestran los subsistemas de la presente investigación:

Subsistemas de control:

- Subsistema sensorial: Los sensores establecerán los datos necesarios de acuerdo con sus funciones específicas para luego ser interpretados por el microcontrolador y posteriormente visualizados en la aplicación.

Para el subsistema sensorial se establecieron tres sensores: distancia, temperatura e intensidad de luz. Estos sensores se escogieron por ser accesibles para cualquier persona y por su voltaje de alimentación. Para el sensor de distancia se optó por el sensor ultrasónico HC-SR04, el cual permite medir la distancia de un objeto con referencia al sensor. Utiliza un pulso de ultrasonidos para medir el tiempo que se tarda entre el envío y la recepción de dicho pulso.

Tabla 1 - Parámetros del Sensor Ultrasónico

Voltaje de Alimentación	5 V
Corriente de Trabajo	15 mA
Frecuencia de Trabajo	40 kHz
Rango de Funcionamiento	2 cm a 4 m
Ángulo de detección	15 grados
Dimensión	45x20x15 mm

Fuente: Elaboración Propia

Para el sensor de temperatura se optó por el sensor LM35, este tiene salida de voltaje analógica que fácilmente puede ser convertida a valores de temperatura. En este proyecto se utilizó el sensor LM35 de 3 pines. En la Tabla 2 se muestran los parámetros de este sensor.

Tabla 2 - Parámetros del Sensor LM35

Voltaje de Alimentación	4 a 30 V
Corriente de Trabajo	60 μ A
Rango de Temperatura	-55 a 150 °C
Rango de tensión de salida	-550 a 1500 mV
Calibración	°C
Resolución	10 mV por 1 °C

Fuente: Elaboración Propia

Para el sensor de intensidad de luz se optó por el sensor LDR, mejor conocido como fotorresistencia. Este consiste en una resistencia que varía de acorde a la intensidad de luz a la que se someta el sensor. El valor de la resistencia disminuye cuando hay gran intensidad de luz, y la resistencia aumenta cuando hay poca intensidad de luz.

Tabla 3 - Parámetros del Sensor LDR

Voltaje Máximo	320 V
Corriente Máxima	75 mA
Disipación de Potencia Máxima	250 mW
Resistencia oscura	1 M Ω
Resistencia a 1000lux	400 Ω
Resistencia a 10lux	9 k Ω
Rango de temperatura de funcionamiento	-60 a +75 °C
Dimensiones	12x30 mm

Fuente: Elaboración Propia

- Subsistema informático: El microcontrolador será capaz de recolectar todos los datos obtenidos por los sensores conectados a él. La programación es crucial para la correcta transmisión de datos recibidos desde los distintos sensores.

Para el subsistema informático se debía escoger un microcontrolador que permitiera conectar al menos tres sensores y un módulo de comunicación. Para este proyecto se optó por el microcontrolador PIC 18F45K22. Este es un microcontrolador que posee 40 pines y su alimentación es de 5V.

Tabla 4 - Parámetros del Microcontrolador PIC18F45K22

Memoria del programa	32 kB
Capacidad de Memoria SRAM	1.5 kB
Capacidad de Memoria EEPROM	256 B
Carcasa	DIP40
Cantidad de Entradas/Salidas	36/35
Temperatura de trabajo	-40 a 85 °C
Capacidad de Memoria Flash	31.25 kB
Frecuencia de servicio	0-64 MHz
Dimensiones	53.21x14.73x4.95 mm

Fuente: Elaboración Propia

Subsistemas electrónicos:

- Subsistema de PCB: La PCB será la encargada de mantener todos los dispositivos electrónicos necesarios para el desarrollo del proyecto en un mismo espacio conectados entre sí.

Para la realización de la placa de circuito impreso se decidió utilizar el material más común y accesible a cualquier persona, por eso se utilizó una baquelita virgen para imprimir en ella el diseño del circuito necesario para este proyecto.

- Subsistema IoT: La aplicación IoT ayudará a visualizar todos los datos medidos por los sensores y recopilados por el microcontrolador en tiempo real y de manera remota desde cualquier dispositivo inteligente.

Se escogió un módulo Wifi NodeMCU, para establecer comunicación entre la placa y la aplicación IoT, y con el cual los datos puedan ser enviados y recibidos. Se escogió este módulo, porque es de fácil acceso y a un bajo costo. Este módulo contiene un chip integrado SoC también conocido como ESP8266, en este SoC también se incluye el MCU, que es el encargado de controlar las entradas y salidas, hacer cálculos y ejecutar las tareas que están programadas en el archivo que se le ha cargado. Este módulo funciona como un medio de comunicación entre el microcontrolador y el Internet.

C. Etapa III: Realización de Partes

Subsistemas de control:

- Subsistema sensorial

El primer paso consistió en calibrar los sensores para obtener los valores de las mediciones lo más precisas posibles. La calibración se realizó utilizando Proteus y Excel. Se recopilaron y compararon los valores establecidos en los sensores y el valor mostrado en la LCD. Luego, se hizo la gráfica con su línea de tendencia y la ecuación obtenida para cada sensor fue utilizada en la programación.

La simulación de calibración en Proteus se muestra en la Fig. 3, en la cual se utilizaron los pines análogos 14 y 15 para los sensores LM35 y LDR respectivamente. La gráfica del sensor LDR obtenida en Excel se muestra en la Fig. 4. La gráfica del sensor ultrasónico obtenida en Excel se muestra en la Fig. 5. La calibración del sensor de temperatura LM35 se realizó de manera distinta. La Ecuación (1) fue utilizada para la calibración de este sensor.

Una vez se han calibrado los sensores, es necesario realizar la programación de cada sensor. Esta se realizó en el software MikroC, donde se utilizaron las librerías necesarias para la programación y se realizaron las funciones correspondientes a cada sensor para organizar la respuesta de los sensores de una manera óptima.

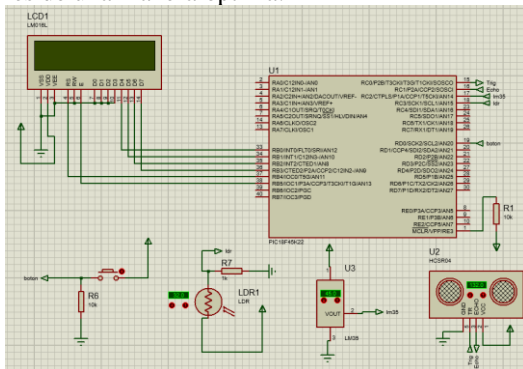


Fig. 3 Simulación para calibrar Sensores

Fuente: Elaboración Propia

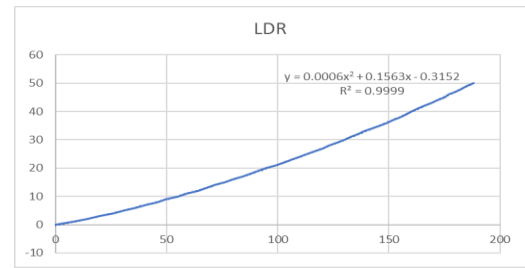


Fig. 4 Gráfico de Datos: Sensor LDR

Fuente: Elaboración Propia

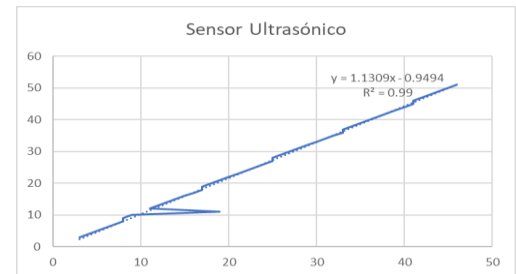


Fig. 5 Gráfico de Datos: Sensor Ultrasónico

Fuente: Elaboración Propia

$$y = \frac{(5 * 100 * x)}{1023} \quad (1)$$

- Subsistema informático

Se realizó un diagrama de flujo que detalla el proceso de funcionamiento del proyecto y sirvió como guía y orientación al momento de realizar la programación completa del sistema. El diagrama se muestra en la Fig. 6.

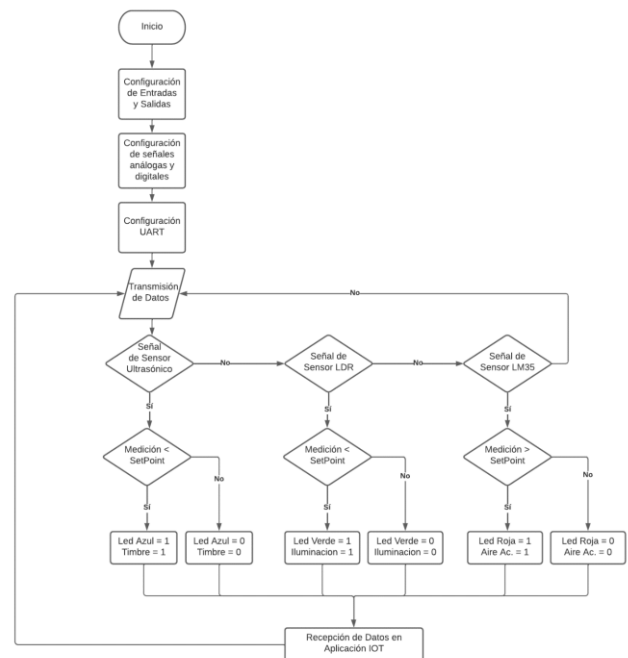


Fig. 6 Diagrama de Flujo

Fuente: Elaboración Propia

Subsistemas electrónicos:

- Subsistema de PCB

El diagrama de conexiones se realizó en el software Proteus y se muestra en la Fig. 7. Este diagrama tiene como objetivo establecer la manera en la que los componentes deben de conectarse de manera física para que todos respondan correctamente. Este diagrama es utilizado como guía en el proceso de diseño de la placa de circuito impreso y también en el montaje de las pruebas en protoboard.

En la Fig. 8 se muestra la distribución de pines con cada uno de los dispositivos electrónicos necesarios para el desarrollo del proyecto. El sensor ultrasónico proporciona una salida digital, mientras el LM35 y la LDR una salida análoga. Para la PCB, el LM35 se conectó al análogo 13 y la LDR en el análogo 11 utilizando el ADC Read del microcontrolador.

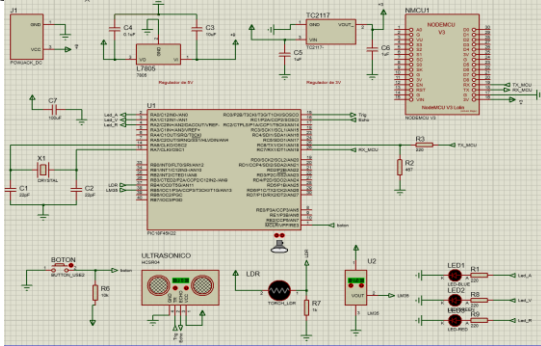


Fig. 7 Diagrama de Conexiones Físicas

Fuente: Elaboración Propia

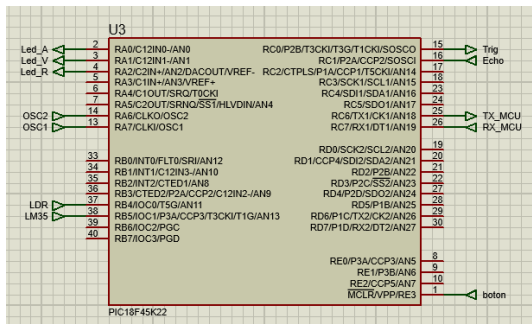


Fig. 8 Puertos de I/O en PIC18F45K22

Fuente: Elaboración Propia

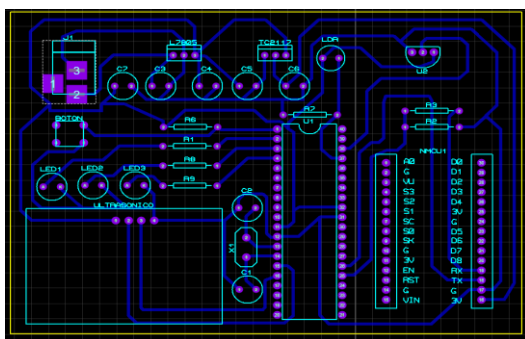


Fig. 9 Diseño de PCB

Fuente: Elaboración Propia

Se procedió a diseñar la PCB utilizando Proteus con pistas de 32 milésimas y se imprimió la misma utilizando una máquina CNC. El diseño de la PCB se muestra en la Fig. 9 y la impresión de esta se muestra en la Fig. 10. La PCB impresa tiene una dimensión de 12x8.5 cm.

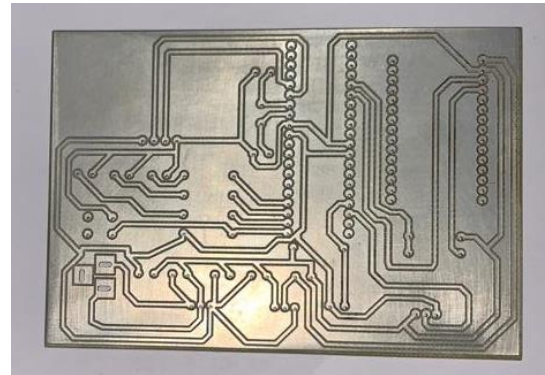


Fig. 10 Impresión de PCB

Fuente: Elaboración Propia

- Subsistema IoT

La implementación de una placa embebida IoT debe poseer un espacio donde se logre visualizar todos los datos tomados por los sensores y así poder implementarse la tecnología innovadora del Internet de las Cosas. Se utilizó la plataforma Ubidots para crear un dashboard para visualizar las lecturas de los sensores utilizando widgets de acuerdo con la aplicación del sensor: un termómetro para la temperatura, un nivel para la intensidad y un medidor para la distancia.

Desde la aplicación, el usuario debe ser capaz de modificar el Set Point de los sensores de acuerdo con la aplicabilidad que desee darle a la placa. En el caso que las condiciones de su entorno cambien, puede ajustar los Set Points de acuerdo con estos cambios para que el sistema trabaje a su gusto. Es por lo que se incorporaron 3 barras deslizantes en el dashboard, una por cada sensor, para poder aumentar o disminuir el Set Point de los sensores. En el dashboard también se representan 3 luces indicadoras para mostrar el estado ON/OFF de los objetos automatizados por cada sensor. El diseño de la aplicación IoT se muestra en la Fig. 11.



Fig. 11 Aplicación IoT

Fuente: Elaboración Propia

D. Etapa IV: Integración de Partes

Subsistemas de control:

- Subsistema sensorial

Antes de montar todos los componentes en la PCB y probar el proyecto es de mucha importancia hacer simulaciones para corregir errores en la programación y verificar que todo funcione de la manera correcta. Para la simulación de este proyecto, se utilizó el programa Proteus como se muestra en la Fig. 12.

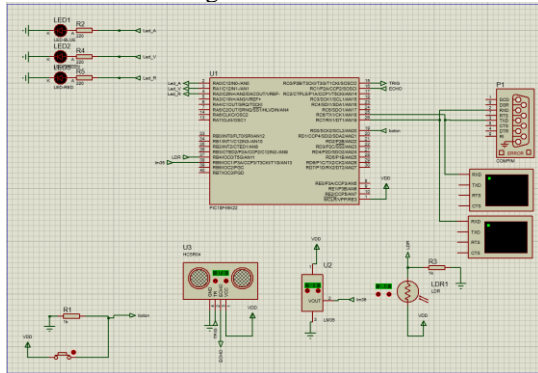


Fig. 12 Simulación en Proteus

Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron pruebas en protoboard como se muestra en la Fig. 13. Se obtuvo una respuesta exitosa y se logró enviar datos hacia la aplicación IoT. Estas pruebas permitieron verificar que la programación y el diagrama de conexiones estaban correctos.

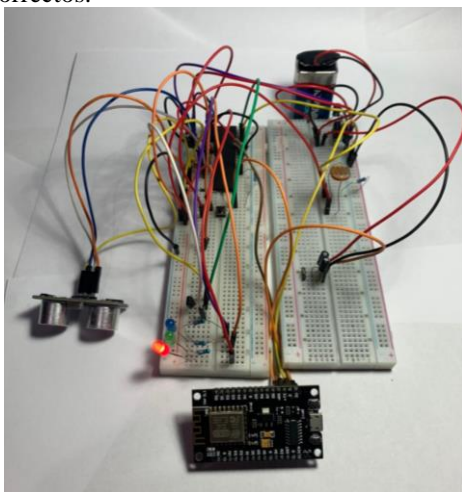


Fig. 13 Pruebas en Protoboard

Fuente: Elaboración Propia

- Subsistema informático

La programación de este proyecto se realizó en el programa MikroC y se utilizaron las siguientes librerías: ADC, C_Math, C_Stdblib, C_String, C_Type, Software UART, Sprinti, Sprintf, Sprintl, UART. La programación se realizó utilizando el lenguaje en C. En la programación se establecieron los pines analógicos o digitales y las entradas y

salidas del microcontrolador, al igual que los parámetros de configuración del módulo Wifi.

Subsistemas electrónicos:

- Subsistema de PCB

Se soldaron todos los componentes y se utilizaron terminales hembras para el uso de los sensores. Esto se realizó ya que en un futuro los sensores utilizados pueden presentar problemas. Las terminales permiten retirar y colocar los sensores cuantas veces se desee y de una manera más fácil y accesible. La PCB contiene los tres sensores: ultrasónico, LDR y LM35. También contiene un Jack DC para la entrada de voltaje a la PCB. Se utilizó una batería de 9V para la alimentación. La PCB contiene un regulador de voltaje LM7805 que disminuye los 9V a 5V, y este voltaje de salida sirve para alimentar los sensores y el microcontrolador. También contiene un regulador de voltaje TC2117 el cual disminuye 5V a 3.3V. Este voltaje funciona para la alimentación del módulo Wifi NodeMCU. La PCB también contiene luces leds indicadoras y un botón que funciona como reset del microcontrolador. Por último, contiene un oscilador de 4MHZ necesario para el funcionamiento del microcontrolador. En la Fig. 14 se muestra la PCB completa.

- Subsistema IoT

Se monitoreó la respuesta del módulo Wifi utilizando el programa Hércules. En este emulador serial se logró observar la respuesta del módulo Wifi a cada comando AT que le manda la programación establecida en el microcontrolador. También se logró observar el envío y recepción de datos de manera correcta.

E. Etapa V: Integración de Subsistemas

Subsistemas de control:

- Subsistema sensorial

A continuación, se realizaron pruebas de comunicación con todos los componentes del sistema ya implementados en la PCB. Se conectó una batería de 9V al puerto de entrada de voltaje de la PCB e inmediatamente el módulo Wifi empezó a recibir los comandos AT que el microcontrolador le establece y logró mandar los datos a la aplicación IoT. En este proyecto, se simuló la automatización de una vivienda.

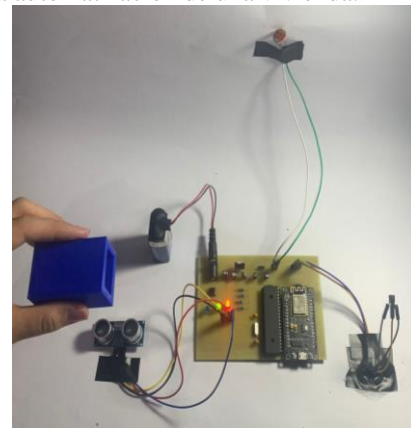


Fig. 14 Simulación con PCB Final

Fuente: Elaboración Propia

En la Fig. 15 se muestra una prueba del Set Point del sensor LDR. Debido a que el dato obtenido por el sensor es mayor al valor determinado en el Set Point, el led de iluminación que representa el objeto automatizado se encuentra en estado OFF. En caso contrario, donde el dato del sensor fuese menor al Set Point, el led se encontraría en estado ON.



Fig. 15 Simulación de Set Point
Fuente: Elaboración Propia

- Subsistema informático

Al realizar las pruebas en la PCB se requirió subir la programación al microcontrolador para que este haga funcionar el sistema de la manera deseada. Para subir la programación al microcontrolador PIC18F45K22 se utilizó el software MPLAB X IDE y el dispositivo PICKIT 3.

Subsistemas electrónicos:

- Subsistema de PCB

Se realizaron pruebas de continuidad con un multímetro para verificar que no surgieron problemas al momento de soldar los componentes. La placa de circuito impreso debe ser protegida de sustancias externas que puedan dañar algún componente que forme parte del sistema y cause el reemplazo total de la placa, es por esto, que se diseñó un housing para la protección de la PCB. Las medidas de la placa se realizaron con un pie de rey para el correcto diseño del housing. El housing tiene una dimensión de 16x9.5x6 cm. Seguidamente, se desarrolló la impresión del housing y se implementó como se muestra en las Fig. 16.

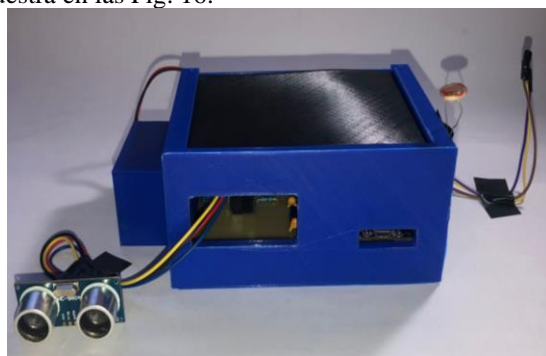


Fig. 16 Implementación de Housing
Fuente: Elaboración Propia

- Subsistema IoT

Se realizaron más de 130 envíos de datos para verificar que el sistema funcionara de manera correcta.

F. Etapa VI: Integración de Sistemas

A continuación, se muestra una lista completa de todos los componentes necesarios para realizar el proyecto con su respectivo precio y presupuesto total del proyecto.

No.	Componente	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total (Lps)
1	Baquelita Virgen	1	65	65
2	Microcontrolador	1	200	200
3	IC DIP Socket 40 pines	1	20	20
4	NodeMCU	1	340	340
5	LM35	1	30	30
6	LDR	1	12	12
7	Sensor Ultrasónico	1	60	60
8	TC2117	1	25	25
9	LM7805	1	20	20
10	Jack DC	1	50	50
11	Cable Adaptador de Batería	1	25	25
12	Batería 9V	1	200	200
13	Botón	1	4	4
14	Leds	3	10	30
15	Capacitores Cerámicos 22pF	2	5	10
16	Capacitores Electrolíticos 100uF	1	10	10
17	Capacitores Electrolíticos 10uF	1	10	10
18	Capacitores Electrolíticos 0.1uF	1	10	10
19	Capacitores Electrolíticos 1uF	2	10	20
20	Oscilador 4MHz	1	10	10
21	Resistencia 1kohm	1	15	15
22	Resistencia 10kohm	1	15	15
23	Resistencia 220ohm	4	15	60
24	Resistencia 470ohm	1	15	15
25	Terminales Hembras	2	50	100
26	Protoboard	2	110	220
27	PICKIT3	1	600	600
				2,176

Fig. 17 Lista de Componentes
Fuente: Elaboración Propia

Las placas electrónicas tienen diversas aplicaciones industriales, por ejemplo: máquinas expendedoras, sistemas de calefacción, marcapasos y escáneres de ultrasonidos, brazos robóticos, etc. Un ejemplo de la implementación del IoT en Honduras es el de un sistema de facturación para mejorar la recolección de Café en beneficio de Río Frio, Honduras, Santa Bárbara [15]. El diseño de la placa electrónica de esta investigación es para aplicaciones domésticas, como puede ser: automatización de sistemas de vigilancia, sistemas de ventilación y de iluminación. Esta placa también puede aplicarse a procesos industriales, pero en este caso se deben reemplazar los sensores por otros con parámetros industriales.

CONCLUSIÓN

Se diseñó e implementó una placa embebida que contiene tres sensores que se conectan a una aplicación de Internet de las Cosas. La comunicación se logró por medio de un módulo de comunicación inalámbrica. Se enviaron 58 datos de las mediciones del sensor LDR, 49 datos del sensor ultrasónico y 25 datos del sensor LM35.

Se determinó que los sensores a utilizar para un caso de estudio aplicable a una actividad cotidiana o industrial son los sensores de distancia, temperatura e iluminación. Los tipos de sensores se deberán ajustar de acuerdo con el tipo de aplicación deseada para satisfacer los rangos y características de operación. En el sistema implementado se utilizó un sensor HC-SR04 con una desviación de 1 a 3-5cm, LM35 con una tolerancia de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y una LDR con una tolerancia de 1%.

Se identificó que la comunicación inalámbrica más utilizada globalmente para el envío y recepción de datos es el Wifi. Se implementó un módulo Wifi NodeMCU para la realización del proyecto, este módulo contiene una velocidad de transmisión de 110 a 460,800 bps.

Se diseñó una placa electrónica embebida con tres sensores y un microcontrolador PIC capaz de enviar y leer datos desde una aplicación en Internet. Se realizaron más de 130 envíos de datos para verificar que el sistema funcionara de manera correcta.

Se diseñó una aplicación IoT en la plataforma Ubidots donde se logró leer los datos medidos de cada uno de los sensores y modificar los Set Points de los mismos. Ubidots permite el envío de 4,000 datos en un día entre todos los dispositivos.

REFERENCES

- [1] Lu, J., & Zhou, H. (2021). *Implementation of Artificial Intelligence Algorithm In Embedded System*. Obtenido de <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1757/1/012015>
- [2] Narang, S., Nalwa, T., Choudhury, T., & Kashyap, N. (2018). An efficient method for security measurement in internet of things. *2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, 319-323. <https://doi.org/10.1109/IC3IoT.2018.8668159>
- [3] Zhang, C. (2021). Intelligent Internet of things service based on artificial intelligence technology. *2021 IEEE 2nd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE)*, 731-734. <https://doi.org/10.1109/ICBAIE52039.2021.9390061>

- [4] Lu, J., & Zhou, H. (2021). *Implementation of Artificial Intelligence Algorithm In Embedded System*. Obtenido de <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1757/1/012015>
- [5] Pinkevich, V., & Platunov, A. (2020). *Method for Testing and Debugging Flow Formal Specification in Full-Stack Embedded Systems Designs*. Obtenido de 2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO): <https://doi.org/10.1109/MECO49872.2020.9134213>
- [6] Tong, J. (2020). Design and Implementation of Embedded Network Intelligent Control System Based on Big Data Era. Obtenido de <https://doi.org/10.1088/1757-899X/740/1/012193>
- [7] Bundalo, Z. V. (2021). Energy efficient embedded systems and their application in wireless sensor networks. Obtenido de <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1208/1/012002>
- [8] Buestán, M., Van Landeghem, H., & López, M. (2019). *A Framework for the Selection or Design of Production Planning and Control Systems: A Case of Application*. Obtenido de Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities: Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.276>
- [9] Dolganov, A., & Letnev, K. (18 de Enero de 2022). Determining general output parameters for a structural identification model of humanoid-robot control systems. Obtenido de <https://doi.org/10.1063/5.0074826>
- [10] Jiang, Y. (2021). *Design and Application of Computer Mechanical Control System*. Obtenido de <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1915/3/032017>
- [11] Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 523-528. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862778>
- [12] Denis Àvila, D., Cruz Flores, D., Ferrer-Sánchez, Y., & Felipe Tamé, F. (2021).
- [13] Reddy, K. R., Arabelli, R. R., Rajababu, D., & Mahender, K. (2020). Solar power generation system with IOT based monitoring and controlling using different sensors and protection devices to continuous power supply. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 981(3), 032017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/3/032017>
- [14] Aguiluz, O., Gabrie, T., & Ordóñez Ávila, J. L. (2020). *Diseño Eléctrico para Control de Mecanismo de Silla de Ruedas Económicamente Accesible en Honduras*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.239>
- [15] Enamorado, J. D., Ordóñez Ávila, J. L., Ordóñez Ávila, M. G., & Aguiluz Guevara, O. (octubre de 2020). Iot-SPA Billing System to Improve the Coffee Recollection in Beneficio Río Frio, Honduras, Santa Bárbara. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/348080888_Iot-SPA_Billing_System_to_Improve_the_Coffee_Recollection_in_Beneficio_Rio_Frio_Honduras_Santa_BARbara