REVISTA INCAING
ISSN 2448 9131

(Marzo-Abril 2021), pp. 01-05

Sistema de control de casa inteligente utilizando el protocolo ESP-NOW

Smart-Home control system using the ESP-NOW protocol

Miguel García
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Resumen – Este artículo presenta una alternativa segura que permite el envío de datos y el control de dispositivos mediante un teléfono inteligente, utilizando las tarjetas de desarrollo ESP32 y los protocolos de la norma IEEE 802.11, ESP-NOW y Wi-Fi. Mediante la elaboración de un prototipo de 6 módulos para el control de luces y la vinculación con una aplicación para teléfono programada junto con una base de datos en tiempo real proporcionada por Firebase. Con la utilización del protocolo y la característica de encriptar los datos, se ha logrado evitar la extracción de información mediante la captura de paquetes, aumentando la seguridad, además, con la exclusividad del protocolo que sólo permite conectar el mismo tipo de dispositivos.

Abstract – This paper shows a secure alternative that allows sending data and control devices through a smartphone, using the ESP32 System-on-Chip and the IEEE 802.11 standard's protocols, ESP-NOW and Wi-Fi. By the construction of a six-module prototype for light control, linked with a programmed smartphone application along with a real-time database provided by Firebase. With the use of the protocol and the feature of encrypting the data, it has been possible to avoid the extraction of information by packet capture, increasing security with the exclusivity of the protocol that only allows same type of devices to be connected.

Índice de Términos – Comunicaciones, Domótica, ESP32, Protocolo ESP-NOW, Tarjeta de desarrollo

Keywords – Communications, ESP32, ESP-NOW protocol, Smart Home, System-on-Chip

I. Introducción

Esta investigación contempla un tema que ha adquirido popularidad recientemente, como lo son los sistemas de control para la automatización de las casas o casas inteligentes. Este tema surge a partir de los avances que han existido en la tecnología y el objetivo principal de ésta, que es satisfacer las necesidades humanas, básicas y no básicas [1], donde se busca que el ser humano "tenga una mejor calidad de vida ofreciendo una reducción del trabajo doméstico, un aumento del bienestar y de la seguridad de sus habitantes". [2]

La intención de este escrito es dar a conocer un protocolo de poco uso, propio de las tarjetas de desarrollo o *SoC (*del inglés *System-on-Chip)*, ESP32 llamado ESP-NOW, desarrollado por la empresa ***Espressif Systems*** en el 2016, que es un protocolo de comunicación que permite el envío de datos entre dichas tarjetas y que, además, tiene la capacidad de enviar los datos de manera encriptada, lo que añade seguridad al sistema. Con este protocolo y el acoplamiento con distintos elementos electrónicos, se propone una solución inalámbrica segura, alterna a las comerciales y de investigación que existen en el mercado hoy en día. Además, se desarrolla el prototipo para que permita la interacción mediante un teléfono inteligente con diferentes elementos finales

Documento recibido el 16 de Abril del 2021. Este trabajo fue apoyado en parte por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Miguel García Gómez. Estudiante de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) perteneciente al Instituto Politécnico Nacional (IPN), CDMX, México (e-mail: mgarciag1007@alumno.ipn.mx, miguel061195@gmail.com).

como luces, motores, dependiendo de las necesidades del usuario final, para que se controlen los elementos desde cualquier lugar, con el fin de modificar el estado de los dispositivos sin tener que estar físicamente presentes en el lugar.

Además, se han reportado ataques cibernéticos en diferentes zonas donde las cámaras y dispositivos de este tipo son el medio que los *hackers* utilizan para tener interacciones no deseadas con los habitantes de las casas [4]. Por lo anterior, se utiliza la característica de que el protocolo sólo trabaja con este tipo de tarjetas y, además, se hace uso de la posibilidad de enviar los datos encriptados, lo que aumenta la seguridad en el prototipo.

II. MATERIALES

A. *Hardware*

Se hace uso de un módulo de alimentación para hacer la conversión de Corriente Alterna a Corriente Directa. Además, el módulo cuenta con un regulador de Voltaje, que permite recibir a la salida del módulo un Voltaje de 3.3V, que es el voltaje necesario para alimentar a las tarjetas de desarrollo ESP32.

Las tarjetas ESP32 son las tarjetas utilizadas para el envío de datos de forma encriptada, así como el control de los elementos finales de control que, en este caso, serán los módulos relevadores. Dichos módulos relevadores se alimentan con 5V, por lo que se realiza una conexión en serie entre los puertos de alimentación del ESP32 y el pin V_{IN}, por lo que se tiene un Voltaje de alimentación en el relevador de 6.6V, que hacen que el relevador trabaje de forma adecuada.

Dichos elementos se pueden observar en la Fig. 1.

Fig. 1 Elementos utilizados (Elaboración propia).

B. *Protocolos de comunicación*

ESP-NOW

En este prototipo se hace uso de dos protocolos de comunicación que trabajan bajo la misma norma IEEE 802.11. El primero de ellos es el ESP-NOW. Este protocolo es "un tipo de protocolo de comunicación que no necesita conexión Wi-Fi" y "es una tecnología de comunicación rápida y sin conexión, que ofrece transmisión de paquetes cortos" [5].

De acuerdo con el manual del protocolo, éste utiliza la tecnología IEEE 802.11 *Action-Vendor* y tecnología de cifrado CCMP [5]. Dentro de las características del protocolo, se encuentran:

- Comunicación unilateral cifrada y no cifrada.
- Pares mixtos cifrados y no cifrados.
- Posibilidad de enviar 250 bytes por paquete.
- Informa del éxito o fracaso del envío de paquetes.

Dentro de las limitaciones del protocolo está:

- Pares cifrados limitados. La estación admite 10 pares cifrados como máximo, 6 en modo *SoftAP o SoftAP + Station* y hasta 20 pares no cifrados.
- Limitado a 250 bytes por paquete.

El formato en el que se envían los datos puede observarse en la siguiente Fig.

MAC Header	Category Code	Organization Identifier	Random Values	Vendor Specific Content	FCS
24 bytes	1 byte	3 bytes	4 bytes	7~255 bytes	4 bytes

Fig. 2 Formato de envío de datos [5].

Y el procedimiento para el envío de los datos es:

1. Establecer la función de devolución de envío.
2. Establecer la función de devolución de recepción.
3. Definir la Clave de cifrado.
4. Seleccionar la interfaz de comunicación para los dispositivos.
5. Seleccionar la misma Clave para todos los dispositivos.
6. Activar la función para el envío de los datos.

Wi-Fi

Este protocolo se utilizó en el prototipo para que el ESP32 maestro se conectara a internet para leer los datos en una base de datos en línea. Dicha base de datos fue realizada con Firebase, que es parte de los

servicios de *Google Cloud* y que permite tener una base de datos en tiempo real. Además, este protocolo se utilizó en la aplicación móvil para realizar el cambio de estado de los elementos finales de control.

III. DESARROLLO

El prototipo fue realizado en tres etapas, Diseño, Construcción y Pruebas, a continuación, se detalla cada etapa.

A. Diseño

En esta etapa, se realizó la elección de los materiales explicados anteriormente, así como la definición del alcance del prototipo, donde se estableció que se utilizarían luces para ejemplificar el correcto funcionamiento de éste. Sin embargo, las luces pueden ser fácilmente reemplazables por cualquier otro elemento final.

El prototipo puede ser representado por un diagrama de bloques como el de la Fig. 3.

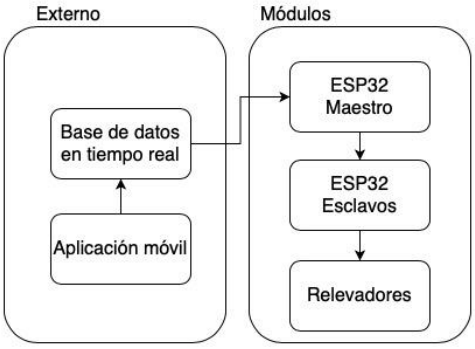

Fig. 3 Diagrama de bloques general del prototipo (Elaboración propia).

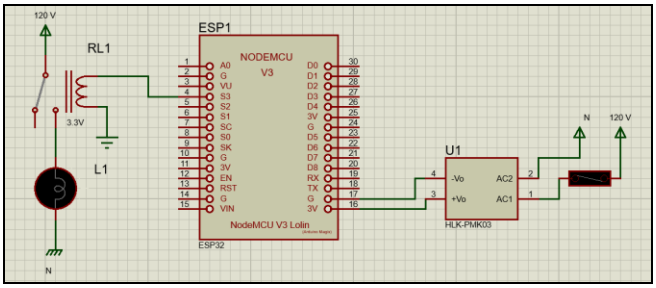

Fig. 4 Circuito diseñado (Elaboración propia).

Una vez que se tuvo la selección de los materiales y el diagrama de bloques general del prototipo, se realizó el diseño del circuito, como se ve en la Fig. 4, así como la planeación de la codificación, ya que se tiene una topología como la de la Fig. 5.

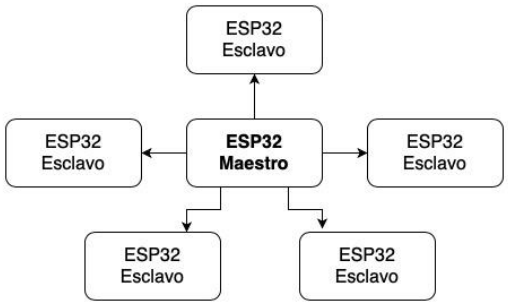

Fig. 5 Topología del prototipo (Elaboración propia).

Por lo tanto, se realizó la codificación del prototipo para que el ESP32 Maestro lea los datos en la base de datos y envíe la información a los dispositivos esclavo.

B. Construcción

En esta etapa se realizó la configuración de la base de datos, así como el enlace con la aplicación móvil (Fig. 6) y el ESP32 Maestro.

Fig. 6 Aplicación móvil (Elaboración propia).

Así mismo, se realizó la programación de los 6 módulos ESP32 y el ensamble de las partes físicas. Teniendo como resultado 6 módulos similares al que se observa en la Fig. 7.

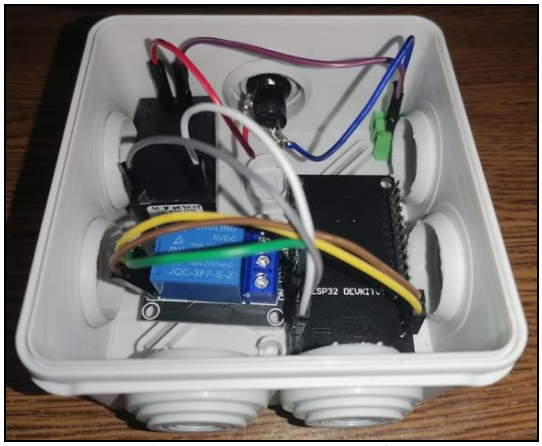

Fig. 7 Módulo de control (Elaboración propia).

El prototipo de los 6 módulos fue montado en una estructura de Perfocel, que permite visualizar los módulos y añadir los focos que serán los que se utilicen en este caso para realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo (Fig. 8).

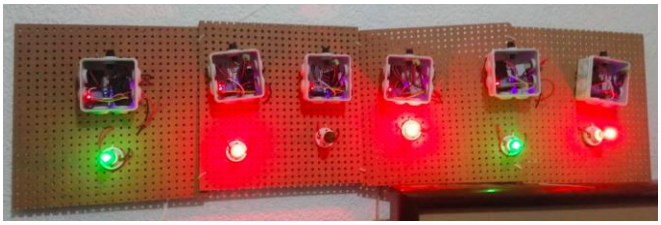

Fig. 8 Prototipo ensamblado en funcionamiento (Elaboración propia).

C. Pruebas

En este apartado se realizaron 3 tipos de pruebas, de funcionamiento, de consumo de corriente y de seguridad, esta última enfocada en ataques de captura de paquetes.

Para las pruebas de funcionamiento, se realizó un programa que enviara mil paquetes numerados, lo que permitió verificar si el protocolo utilizado es un medio adecuado para realizar el envío sin que haya pérdida de paquetes. Después de analizar los paquetes recibidos, se observó que faltaba un paquete, por lo que se tuvo una confiabilidad en la recepción de paquetes del 99.9%. En la Fig. 9 se pueden observar parte de los paquetes recibidos visualizados en el monitor serial de Arduino (software con el que fueron programados los ESP32).

Fig. 9 Datos recibidos visualizados en el monitor serial (Elaboración propia).

Para la prueba de consumo de corriente se hizo la medición con un Multímetro en modo de medición de Amperaje y se realizaron las mediciones en el dispositivo maestro al enviar los datos y en los dispositivos esclavo al recibir los datos, teniendo una corriente de 53.4mA. y 28.2mA respectivamente como se observa en la Fig. 10.

Fig. 10 Medición de corriente en dispositivos maestro y esclavo (Elaboración propia).

Por último, para la prueba de seguridad contra captura de paquetes, se realizó un código que enviara el nombre y la boleta del autor “Miguel García B190539”, y dicha prueba se llevó a cabo en dos partes, en donde en la primera parte se realizó el envío de los datos sin encriptar y en la segunda parte se habilitó la característica que permite que los datos se envíen de forma encriptada.

Para realizar la captura de paquetes se utilizó el *Sniffer* que provee la herramienta “*Wireless Diagnostics”* integrada en los equipos Mac, que hace uso de la tarjeta de red en modo de monitoreo y permite capturar los paquetes enviados en un canal determinado, como se observa en la Fig. 11.

Fig. 11 Herramienta *Sniffer* dentro de *Wireless Diagnostic* (MacOS).

Después de realizar la captura de paquetes en ambas etapas, dichos paquetes fueron analizados utilizando la herramienta **Wireshark** observando que los paquetes enviados sin encriptar permiten que se visualice la información en crudo, a diferencia de los paquetes enviados de forma encriptada, que no permiten que se visualice dicha información. Esta diferencia puede observarse en la Fig. 12.

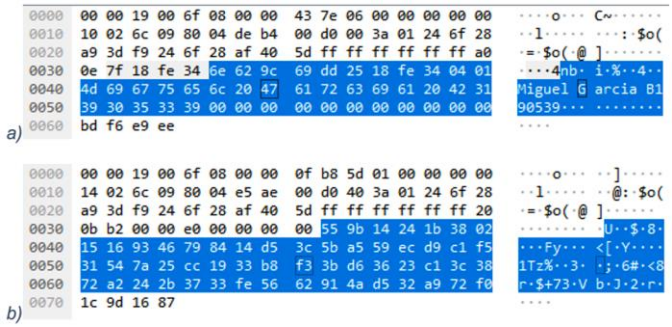

Fig. 12 a) Paquete sin encriptar; b) Paquete encriptado (Elaboración propia).

IX. CONCLUSIÓN

Después de hacer el desarrollo del prototipo y realizar las pruebas, se concluye que el protocolo utilizado es una buena opción para abordar el tema de las casas inteligentes debido a que: 1) es un protocolo de comunicación diseñado especialmente para IoT (Internet de las Cosas), 2) tiene la capacidad de encriptar los datos enviados, lo que agrega seguridad al protocolo, 3) trabaja con las tarjetas ESP32 que fueron seleccionadas debido a su tamaño, capacidad, y compatibilidad con el protocolo y 4) es posible trabajar el protocolo simultáneamente junto con Wi-Fi, lo que permite hacer la lectura de los datos en la base de datos en línea y el envío de datos a los dispositivos esclavo.

Por otro lado, los objetivos de la investigación se cumplieron debido a que fue posible controlar dispositivos que se encuentran comúnmente en las casas como lo son los focos, sin embargo, como trabajo a futuro se deberá realizar el análisis pertinente para implementar distintos actuadores para controlar diferentes dispositivos, como motores para apertura y cierre de puertas o ventanas o resistencias y ventiladores para el control de temperatura.

Así mismo, recordando que el ESP32 cuenta con dos núcleos que pueden trabajar de forma independiente, se puede mejorar la parte del código para reducir el tiempo de envío de los datos desde el ESP32 *maestro* a los *esclavos*, para que el tiempo de accionamiento de los actuadores sea mínimo.

Por otro lado, el implementar este sistema en algún otro rubro de la industria o empresarial, ayudará a minimizar los costos de instalación al reducir el cableado, así como el costo en los dispositivos utilizados para el control de actuadores y el envío de los datos, ya que el ESP32 tiene características similares a un PLC y está diseñada para trabajar en ambientes industriales, además de contar con sensores integrados que permiten monitorear el estado de la tarjeta dentro de ambientes que puedan dañar físicamente a la tarjeta.

RECONOCIMIENTO

El autor agradece el apoyo de la Sección de Posgrado de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, así como a la Línea de Generación de Aplicación del Conocimiento “Investigación y gestión de las operaciones y cadena de suministro”.

Así mismo, al Dr. Javier Hernández Ávalos, al Dr. Faustino R. García Sosa y al Dr. Ángel E. Rivera González por su apoyo para la conclusión del trabajo de tesis del programa de maestría de Ingeniería Industrial.

REFERENCIAS

[1] abc, “El objetivo de la tecnología es satisfacer las necesidades humanas - Articulos - ABC Color,” Sep. 01, 2003. https://www.abc.com.py/articulos/el-objetivo-de-la-tecnologia-es-satisfacer-las-necesidades-humanas-716548.html (accessed Jul. 02, 2020).

[2] C. Y. Cruz Silva, J. Austria Cordero, and J. D. Feria López, “Casa Inteligente,” 2009.

[3] Espressif, “ESP-Now slave with WiFi station+soft-AP mode - ESP8266 Developer Zone,” *2017*, 2017. https://bbs.espressif.com/viewtopic.php?t=2514 (accessed Jun. 15, 2020).

[4] BBC News Mundo, “El hacker que le habló a una niña por una cámara Ring colocada en su habitación - BBC News Mundo,” Dec. 13, 2019. https://www.bbc.com/mundo/noticias-50781444 (accessed Aug. 13, 2020).

[5] Espressif Systems, “User’s Guide ESPNOW,” 2016.

Biografía Autor

Miguel García Gómez. Estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Ingeniero en Control y Automatización por parte de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Unidad Zacatenco

El cuenta con experiencia en investigación participando en proyectos financiados por el IPN así como participaciones de exposición de proyectos en el extranjero y becas de movilidad académica.