

DISEÑO DE UN SISTEMA DOMÓTICO DE BAJO COSTO CONTROLADO MEDIANTE UNA APLICACIÓN PARA SMARTPHONE

DESIGN OF A LOW-COST HOME AUTOMATION SYSTEM CONTROLLED BY A SMARTPHONE APPLICATION

Rojas Méndez, María Eugenia; Viloría Manzanilla, Francisco.

Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.
Mérida -5101- Venezuela.
viloriaf@ula.ve

Recibido: 18-09-2023

Aceptado: 12-11-2023

RESUMEN

Este trabajo está enfocado en el diseño de un sistema domótico de arquitectura híbrida que cumple con la gestión de la domótica, donde proporciona confort y seguridad al usuario a través de la tecnología Wi-Fi. El sistema fue implementado con componentes de bajo costo para que sea económicamente accesible. Se desarrolló utilizando un software que combina diferentes lenguajes de programación, como TypeScript y el framework de Ionic, para la aplicación móvil. También se utilizaron HTML, CSS y librerías como jQuery y Bootstrap para las interfaces de configuración. Además, se incorporó un lenguaje basado en C++ para complementar e integrar los dispositivos del sistema.

Este sistema se compone del servidor domótico y los actuadores, cuyo funcionamiento se basa en microcontroladores, que, se comunican simultáneamente bajo un protocolo de comunicación basado en UDP y websocket para el intercambio de información. Finalmente, se presenta una interfaz intuitiva al usuario tanto para la configuración de los actuadores, como para el servidor y para la manipulación de la aplicación móvil. Esta interfaz permite al usuario interactuar fácilmente con el sistema y realizar las configuraciones necesarias.

La aplicación móvil cuenta con dos modalidades de funcionamiento. En la primera modalidad, con conectividad a internet, los usuarios pueden acceder a sus redes sociales y mantener la comunicación sin problemas. Esto es especialmente importante, ya que la comunicación con las redes sociales se ha convertido en una necesidad actual para muchos usuarios.

Palabras clave: aplicación móvil Android, sistema domótico, protocolo de comunicación.

Viloría Manzanilla Francisco: Ing. Electricista, Universidad de Los Andes (ULA), Maestría en Automatización e Instrumentación, ULA. Profesor Titular, Jefe de Departamento de Circuitos y Medidas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Email: fviloría@ula.ve .

Rojas Méndez María Eugenia: Ing. Electricista, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Ing. Electrónica (CONACES) Colombia. Técnico Aeronáutico ATSEP I. Aeronáutica Civil. Bogotá. Colombia. Email: mariae.rojas@aerocivil.gov.com

DESIGN OF A LOW-COST HOME AUTOMATION SYSTEM CONTROLLED BY A SMARTPHONE APPLICATION

Rojas Méndez, María Eugenia; Viloría Manzanilla, Francisco.

Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.
Mérida -5101- Venezuela.
viloriaf@ula.ve

Recibido: 18-09-2023

Aceptado: 12-11-2023

ABSTRACT

This work is focused on the design of a hybrid architecture home automation system that fulfills home automation management, providing comfort and security to the user through Wi-Fi technology. The system was implemented with low-cost components to make it economically accessible. It was developed using software that combines different programming languages such as TypeScript and the Ionic framework for the mobile application. HTML, CSS, and libraries like jQuery and Bootstrap were also used for the configuration interfaces. Additionally, a C++ based language was incorporated to complement and integrate the system's devices.

This system consists of the home automation server and actuators, which operate based on microcontrollers, communicating simultaneously under a communication protocol based on UDP and websocket for information exchange. Finally, an intuitive interface is presented to the user for configuring the actuators, the server, and manipulating the mobile application. This interface allows the user to interact easily with the system and make the necessary configurations.

The mobile application has two operating modes. In the first mode, with internet connectivity, users can access their social networks and maintain communication without any problems. This is especially important as social media communication has become a current necessity for many users.

Key words: Android mobile application, home automation system, communication protocol.

Viloría Manzanilla Francisco: Ing. Electricista, Universidad de Los Andes (ULA), Maestría en Automatización e Instrumentación, ULA. Profesor Titular, Jefe de Departamento de Circuitos y Medidas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Email: fviloria@ula.ve .

Viloría Manzanilla Francisco: Ing. Electricista, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Ing. Electrónica (CONACES) Colombia. Técnico Aeronáutico ATSEP I. Aeronáutica Civil. Bogotá. Colombia. Email: mariae.rojas@aerocivil.gov.com

Introducción

En sus inicios en la década de los 80, la implementación de sistemas domóticos tuvo lugar cuando las redes informáticas comenzaron a desarrollar los sistemas conocidos como redes de cableado. Posteriormente, se mejoraron con la introducción del Wi-Fi. Este avance tecnológico permitió suplir las deficiencias existentes en los hogares de la década de los 80 al ofrecer una forma eficiente de integrar todos los dispositivos electrónicos en las casas. Con el tiempo, estos avances empezaron a llegar a los hogares.

A principios de los años 90, comenzó la era de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), lo que mejoró considerablemente las posibilidades de la instalación domótica. En la actualidad, los sistemas domóticos se pueden formar de manera más eficiente gracias a una menor tasa de envío de datos. Esto ha permitido un mayor uso de la domótica, mejorando la seguridad y velocidad de las comunicaciones.

En el concepto de la tecnología de comunicaciones, existen, como en la mayoría de los desarrollos tecnológicos, una parte física, y otra lógica, ambas necesarias ya que una no tiene sentido sin la otra y sus desarrollos van normalmente de la mano. En las últimas décadas, el mercado de los dispositivos móviles ha sido uno de los que ha tenido un crecimiento más rápido, ya que, en la actualidad hay una mayor cantidad de personas que tiene acceso a un dispositivo móvil.¹

Aunque el término "dispositivo móvil" abarca una amplia variedad de dispositivos con características similares, para este proyecto se centrará únicamente en los teléfonos inteligentes. Sin embargo, en el futuro podría ser posible ampliar el mercado a otros dispositivos existentes. Desde el año 2002, el uso de la telefonía móvil ha experimentado un aumento significativo, especialmente con la llegada de los teléfonos inteligentes. En 2014, la navegación por Internet desde dispositivos móviles superó a la realizada desde computadoras de

escritorio y portátiles. Con el aumento de usuarios de estos dispositivos, el uso que se les da ha cambiado radicalmente. Este avance tecnológico es lo que ha permitido que actualmente se pueda realizar prácticamente cualquier tarea desde un dispositivo móvil, y es precisamente lo que ha hecho posible este proyecto.

Desarrollo

Para llevar a cabo este proyecto, cuyo objetivo es diseñar un sistema domótico seguro y accesible para el confort del usuario, se utilizó una metodología de investigación estructurada basada en dos ciclos: el ciclo de investigación y el ciclo de diseño.

El primer ciclo consistió en realizar una investigación exploratoria sobre los aspectos que conforman un sistema domótico, incluyendo sus elementos, funcionamiento y características. También se exploró la relación entre la domótica, la programación y las aplicaciones móviles. Además, se estudiaron aspectos relacionados con la seguridad del usuario, el confort, la comodidad y la accesibilidad. Se analizaron proyectos previos relacionados con sistemas domóticos controlados de forma remota u otros similares para evaluar sus ventajas y desventajas. Finalmente, se planteó una solución que permita alcanzar los objetivos establecidos.

En el ciclo de diseño, se utilizó la información recopilada durante la etapa de investigación para proponer un diseño accesible y adecuado. Se determinaron los componentes del sistema y se llevaron a cabo pruebas experimentales necesarias hasta llegar a una conclusión satisfactoria. El sistema domótico a diseñar se enfoca principalmente en los protocolos de comunicación y el intercambio de mensajes entre sus elementos.²

Antecedentes

Muñoz³ desarrolló un sistema de control domótico basado en un software de código abierto. El sistema integra diferentes sistemas y tecnologías de dispositivos de automatización del entorno. Garantiza un

nivel de automatismo que permite al usuario controlar o monitorear su entorno de forma fácil y segura y utiliza una plataforma de software/hardware basada en PHP, MySQL, JavaScript, HTML5, CSS3 y lenguaje basado en C++.

Velasco⁴ realizó una investigación sobre la configuración de una red domótica utilizando una aplicación Android desarrollada en React Native. Se creó una aplicación móvil que permite al usuario acceder a los servidores web de los módulos sin necesidad de conocer las direcciones IP generadas por ellos.

Hay dos tipos de configuración para los módulos domóticos: el principal que maneja todo el sistema y el secundario que son los elementos de control y sensores domóticos. El sistema diseñado carece de niveles de seguridad.

Durán⁵ diseñó una central domótica para la vivienda con el objetivo de ofrecer facilidad de manejo, eficacia, eficiencia y accesibilidad económica.

Utilizó una tarjeta Raspberry Pi como núcleo central del sistema, encargada del procesamiento, control y almacenamiento de datos, así como de ser el servidor web y alojar la base de datos. Se incluyó un módulo Wi-Fi ESP8266-01 para la comunicación y traslado de información a través del protocolo TCP/IP, además de agrega una capa de seguridad en el sistema.

Tudó⁶ desarrolló un proyecto de control domótico remoto de vivienda mediante un smartphone Para lograr confort, seguridad y ahorro en el hogar desde un dispositivo móvil. El autor creó una aplicación de Android utilizando el software llamado AppInventor.

Es de destacar que la mayoría de los sistemas domóticos usan el módulo ESP8266 en sus diversas versiones ya que es altamente integrado: que combina un microcontrolador y una conexión Wi-Fi en un solo dispositivo.

Esto lo hace ideal para sistemas domóticos donde se requiere conectividad inalámbrica y es económico, lo que lo hace atractivo para

proyectos domóticos de bajo presupuesto.

Diseño del sistema domótico

a. Hardware

El diseño del sistema domótico incluye tres módulos Wi-Fi con chip ESP8266, un módulo de tarjeta SD para complementar la memoria del módulo Wi-Fi central, una fuente de alimentación de 3,3 V, LED, resistencias y pulsadores. Se utilizan LED en los pines de salida de los módulos Wi-Fi como una herramienta intuitiva que permite visualizar el encendido y apagado de los dispositivos configurados para funcionar en el sistema domótico, como televisores, luminarias, persianas, cafeteras, entre otros.

El desarrollo del hardware del sistema domótico del presente proyecto, no incluye la etapa de interconexión de la etapa digital y la etapa de potencia, para complementar el sistema propuesto, es necesario incluir circuitos de acoplamiento en los pines de salida de los módulos Wi-Fi.^{2,3,4,5,6}

Estos circuitos permiten la interconexión entre la etapa digital y la etapa de potencia (120 V o 220 V en la vivienda) para crear un aislamiento eléctrico. Esto es importante para evitar riesgos de seguridad eléctrica y daños tanto en los dispositivos digitales, como en los módulos utilizados y en los usuarios. Además, es necesario realizar la conexión a los aparatos eléctricos del hogar, como luminarias, electrodomésticos, televisores, entre otros.

b. Software

Para el desarrollo del sistema domótico, se utilizó el entorno de programación IDE de Arduino en conjunto con los módulos Wi-Fi ESP8266. Tanto el servidor central como los actuadores funcionan como servidores HTTP, en los cuales se alojaron páginas web desarrolladas en lenguaje de marcado de hipertexto (HTML). El diseño de estas páginas web se complementó con el uso de Cascade Style Sheets (CSS). Además, se incorporó el uso del lenguaje de programación JavaScript y se utilizó el framework de CSS de Front End llamado Bootstrap, que permite crear un diseño responsive. Por otra parte, se

realizó una mejora en la programación del dispositivo domótico central, para que funcione también como servidor websocket. Esto permite establecer una comunicación bidireccional entre los dispositivos y las aplicaciones conectadas. Además, el dispositivo utiliza la memoria EEPROM como una base de datos para la aplicación móvil y puede intercambiar mensajes con los actuadores a través del protocolo UDP.⁷

En cuanto al desarrollo de la aplicación móvil para smartphone, se utiliza el framework de código abierto llamado Ionic, el cual está desarrollado sobre AngularJS.⁸

Además, se utiliza un emulador de dispositivos móviles Android para probar y simular el funcionamiento de la aplicación.

Modalidades

Se tiene previsto que el sistema domótico funcione en dos ambientes: uno en el que el usuario del sistema domótico mantiene la conexión a internet en su dispositivo móvil (redes sociales, navegación, aplicaciones, entre otros) (ver figura. 1), y otro en el que no existe dicha conexión (sitios remotos como cabañas o casas de campo).

En el ambiente con conexión a internet, el usuario puede conectar los elementos del sistema a la red local a través de un enrutador utilizando la red Wi-Fi. Por otro lado, en el ambiente sin conexión a internet, el usuario puede configurar los elementos del sistema domótico para conectarse a una red o punto de acceso proporcionado por el chip ESP8266.

Interacción entre los elementos del sistema

El sistema consta de tres interacciones: cliente-servidor, servidor-actuador y cliente-actuador. En la interacción cliente-servidor, se realiza un intercambio de mensajes en formato JSON a través del protocolo de comunicación websocket por el puerto 81. En la interacción servidor-actuador, se realiza un intercambio de mensajes configurado con cadenas de texto separadas por barras, utilizando el protocolo UDP por el puerto



Figura. 1. Interconexión del sistema domótico en un ambiente con conexión a internet.

8888. En esta interacción, la dirección IP se utiliza para identificar el dispositivo. Por último, en la interacción cliente-actuador, se realiza un intercambio de mensajes de forma indirecta utilizando el servidor domótico como intermediario.

Comunicación en el sistema domótico

La comunicación entre el servidor domótico y el actuador será constante e inicia cuando los dispositivos se encienden con una petición UDP del actuador al servidor. La comunicación se mantiene abierta ya que es el servidor quien enviará el mensaje correspondiente para permitir al actuador controlar el encendido y apagado de los dispositivos electrónicos de la vivienda.

La comunicación entre el usuario y la aplicación comienza cuando el usuario abre la aplicación en su smartphone. En la interfaz inicial, se muestra un campo de datos donde el usuario puede introducir una dirección IP, así como una breve descripción sobre la aplicación. Una vez que el usuario interactúa con la interfaz inicial y proporciona la dirección IP que identifica al servidor en la red domótica, la aplicación cambia la interfaz y muestra un símbolo de "espera" mientras procesa la IP y la almacena en la memoria caché.

La aplicación utiliza la dirección IP para establecer comunicación con el servidor domótico mediante el protocolo websocket. Inicia una solicitud websocket dirigida hacia

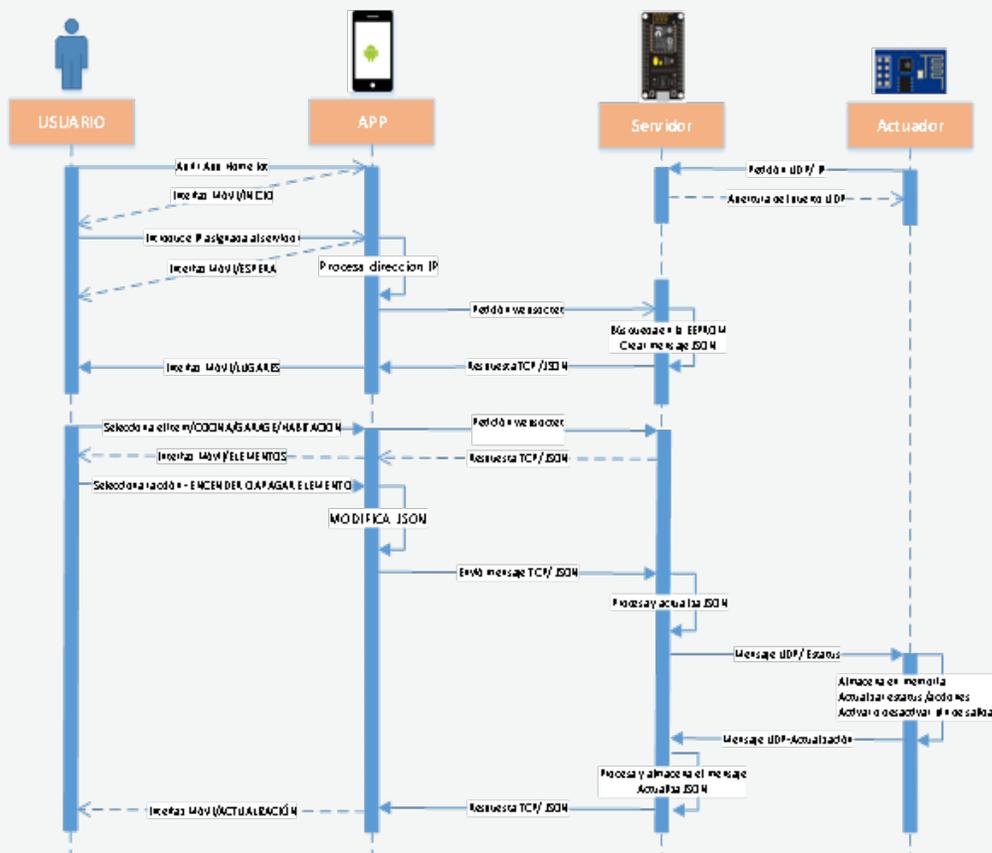


Figura. 2. Diagrama de secuencia de la comunicación entre los elementos del sistema domótico.

el servidor, y una vez aceptada, el servidor construye un mensaje en formato JSON que contiene datos almacenados internamente. Este mensaje se convierte en la respuesta TCP enviada desde el servidor hacia la aplicación.

El archivo JSON contiene información sobre los dispositivos configurados, su identificación, los elementos que se controlan dentro de la vivienda, los iconos, el estado, entre otros detalles. Al recibir el archivo JSON, la aplicación actualiza la interfaz para que los usuarios pueda visualizar los elementos de la vivienda (cocina, garaje, habitación, etc.) que podrán ser controlados.

A continuación, el usuario debe seleccionar en la interfaz descrita alguno de los ítems de la vivienda, inmediatamente, la aplicación envía una petición websocket al servidor, y éste, responde con el mensaje JSON nuevamente, con este archivo, la aplicación envía una nueva interfaz donde el usuario

puede observar los elementos configurados por cada ítem, por ejemplo, persiana, portón, luminaria, ventilador, etc. y su estatus (encendido o apagado).

La interfaz permite al usuario modificar el estatus, es decir, encender o apagar elementos de la vivienda. Para que esto suceda, la aplicación debe modificar el archivo JSON con el cambio de estatus del elemento seleccionado, luego, la aplicación retorna este mensaje por el canal abierto para comunicación websocket al servidor domótico, para que sea procesado y actualizado, en tal sentido, esta actualización es enviada con un mensaje único por el canal UDP, para que el actuador lo procese, almacene y cambie sus pines de salida.

El actuador, al modificar sus pines de salida, actualiza internamente el estado del mensaje recibido por UDP, con el fin de devolverlo al servidor como una actualización. Este mensaje permite al servidor cambiar el

estado en el mensaje JSON que devuelve como respuesta TCP a la aplicación, lo que a su vez genera una interfaz actualizada. (Para obtener más detalles, consulta la Figura 2).

Desarrollo del sistema domótico

El sistema domótico es responsable de controlar los elementos de una vivienda mediante una aplicación móvil disponible para cualquier usuario con un smartphone. Este sistema consta de hardware y software. El hardware está compuesto principalmente por el servidor domótico, los actuadores y el teléfono inteligente. Durante el desarrollo de esta investigación, se enfocará principalmente en los protocolos de comunicación entre los dispositivos que conforman el hardware, a través del desarrollo del software, según corresponda en cada caso.

Además del hardware, el sistema incluye LEDs que permiten visualizar de manera intuitiva el estado de los elementos configurados en la vivienda, ya sea encendidos o apagados. Para mejorar el hardware del sistema, es necesario agregar circuitos de acoplamiento. Se debe realizar la conexión entre los pines de salida de los actuadores que alimentan los LEDs, lo que permitirá controlar el encendido y apagado real de los elementos de la vivienda que funcionan con corriente alterna.

El software del sistema fue desarrollado en dos etapas. La primera etapa corresponde al desarrollo de la aplicación móvil, mientras que la segunda etapa se enfoca en la creación de una interfaz de configuración tanto para el servidor domótico como para los actuadores.

El servidor domótico

El servidor domótico está compuesto por un módulo Wi-Fi ESP8266 modelo ESP-12 NodeMCU y una tarjeta microSD. Se ha agregado al sistema domótico una memoria de 2 GB que permite almacenar bibliotecas y páginas web sin afectar el rendimiento del módulo Wi-Fi ESP8266. El ESP8266 cuenta con un microcontrolador de 32 bits que, a través de un firmware, puede ser

programado en el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino. Mediante las instrucciones que recibe el microcontrolador, puede recibir y proporcionar información. Además, cuenta con un chip diseñado para establecer conectividad con Internet, lo que permite que el usuario envíe información al microcontrolador y este pueda enviar información de respuesta al usuario o a otros microcontroladores. (Además, también tiene funcionalidad de actuador).

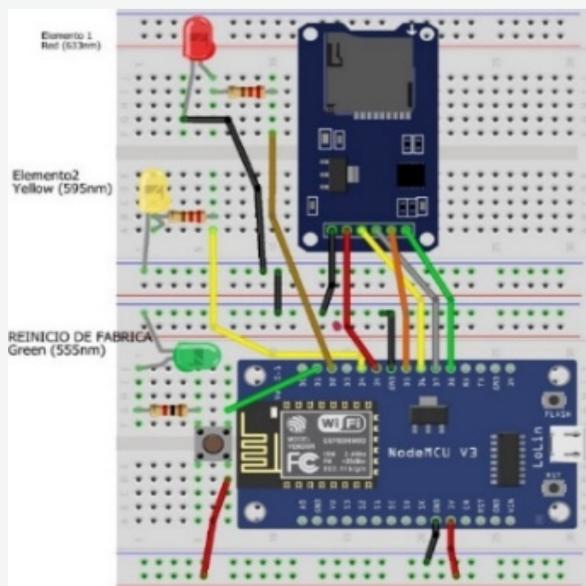


Figura. 3. Conexión en la protoboard del servidor domótico

Actuadores

El sistema domótico cuenta con tres actuadores: uno interno, situado dentro del propio servidor, y dos independientes (aunque puede ser expandido muy fácilmente). Estos tres actuadores son responsables de encender y apagar los elementos dentro de la vivienda. Cada actuador puede controlar únicamente dos dispositivos electrónicos que estén ubicados en la misma zona de la vivienda.

El actuador interno del servidor funcionará de manera similar a los otros dos actuadores, con algunas diferencias en los procesos de comunicación y codificación. Además, los otros dos actuadores (como se muestra en la Figura. 4), cuentan con un arreglo pull-up con una resistencia R1 de 10 kΩ conectada a 3,3 V y un pulsador a tierra. Este pulsador tiene

una doble función: la primera es realizar el reinicio del microcontrolador ESP8266 modelo ESP-01, y la segunda es restablecer el módulo domótico a sus condiciones de fábrica. Los pines GPIO_0 y GPIO_2 son las salidas destinadas a controlar el encendido y apagado de los LED denominados "elemento 1" y "elemento 2".

De manera similar al servidor domótico, estos LED se utilizan como indicadores del estado de los dispositivos electrónicos dentro de la vivienda, como la iluminación o las persianas. Cambiarán su estado a encendido o apagado según las órdenes que el servidor domótico envíe al microcontrolador.

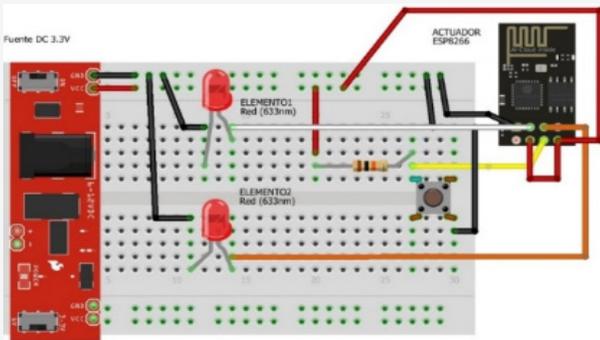


Figura. 4. Conexión a la protoboard del actuador

Interfaz de configuración

La interfaz de configuración consta de una serie de páginas web alojadas en el servidor domótico. Esto permite al usuario configurar los elementos que se requieren controlar dentro de la vivienda, como la iluminación de una habitación, el portón del garaje o un ventilador en la sala de estar. La interfaz se divide en dos partes: la parte de diseño y animación, donde se utilizan las herramientas HTML, CSS, jQuery y Bootstrap, y la parte de almacenamiento de información e interacción con el servidor domótico, desarrollada con el entorno Arduino IDE.

Esta interfaz está conformada por una página de inicio de sesión, una página de error de datos y la página de configuración del servidor. La página de configuración del servidor tiene un menú desplegable que permite navegar hacia un escáner de redes, una página para cambiar las credenciales de inicio de sesión, y adicionalmente, muestra

la hora al usuario y un botón para cerrar sesión.

La página de inicio de sesión se muestra en la figura 5, es una presentación para el usuario que incluye un botón de inicio de sesión. Al hacer clic en este botón, se despliega la página mostrada en la figura 5(b), que es una página emergente con campos vacíos para introducir la información requerida para iniciar la sesión de configuración (consultar el diagrama de flujo de la figura 6). El usuario debe seleccionar la opción "Siguiete" para acceder a la página de configuración y comenzar el procesamiento de datos. En caso de que los datos sean incorrectos, se redirige al usuario a una página de error, donde tendrá la oportunidad de volver a intentar el inicio de sesión.

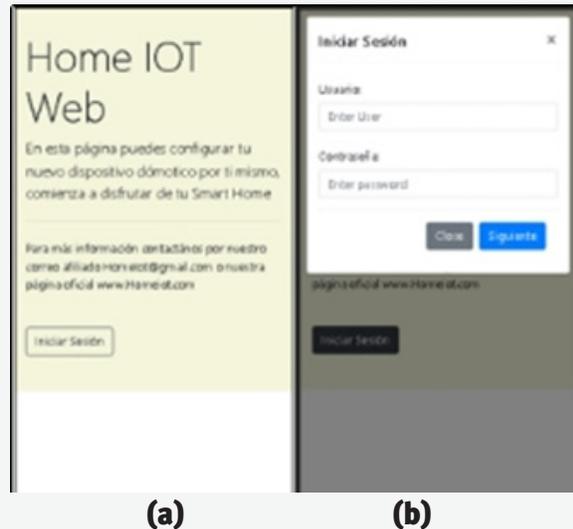


Figura 5. Página de Inicio de sesión del usuario: (a) Página al cargar la dirección. (b) Página para iniciar sesión.

En la página de configuración (Ver figura 7), el usuario deberá completar un formulario con la información requerida para el funcionamiento del sistema. Los campos vacíos solicitan las credenciales de la red con la que funcionará el sistema domótico, ya sea en una de las dos modalidades.

También se solicita la ubicación dentro de la vivienda del servidor domótico que se está configurando, la identificación de los elementos a controlar desde la aplicación y, por último, se incluye una configuración adicional para mejorar la seguridad. Esta

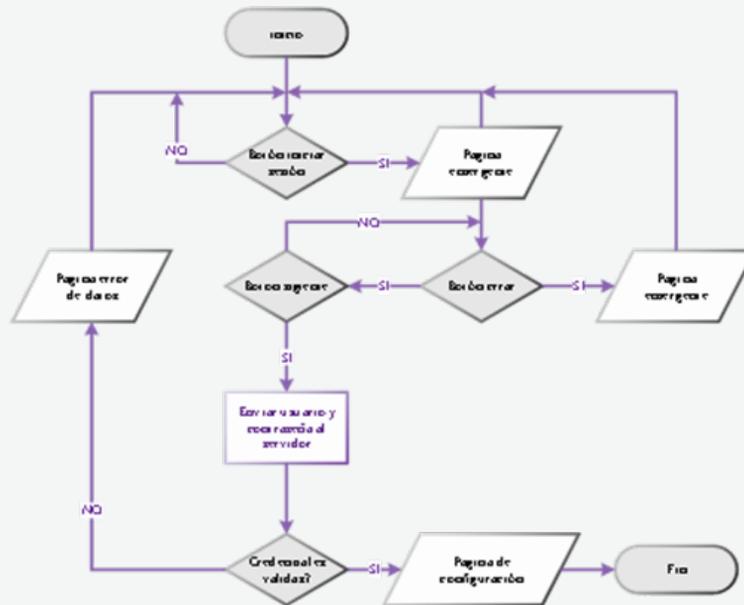


Figura. 6. Funcionamiento de la página de inicio de sesión

configuración permite al usuario cambiar el nombre del servidor domótico para modificar la dirección http con la que se accede. A la derecha de esta figura se describen las diferentes opciones de los campos diseñados para realizar la configuración del sistema.

Para la interfaz de configuración de los actuadores, se diseñó de la misma manera, pero exclusivamente se creó una sola página web para realizar la configuración debido a las limitaciones de memoria del modelo ESP-01.

La aplicación móvil

El teléfono inteligente es una parte fundamental del sistema domótico, ya que es la herramienta que el usuario utiliza para tener el control total de los dispositivos electrónicos en la vivienda. Para poder utilizar el teléfono inteligente en el sistema, es necesario instalar la aplicación móvil desarrollada.

La aplicación móvil fue desarrollada utilizando el framework de Ionic, lo que permite obtener una aplicación en formato APK, que se puede instalar en un smartphone. Esta aplicación consta de tres pantallas: la página de inicio, donde se puede configurar la comunicación con

el servidor domótico mediante la dirección IP; la página de control, que muestra tres iconos que representan los lugares donde se han configurado actuadores (cocina, garaje, habitación); y la página de elementos, que muestra información específica según el ítem que se seleccione.

En el proceso de desarrollo de la aplicación, se ha centrado principalmente en el uso del protocolo de comunicación por websocket y en el proceso de verificación y procesamiento de los datos provenientes del servidor domótico.

La aplicación móvil se desarrolló utilizando una plantilla basada en Ionic, que se compila en el puerto 8100 y muestra la pantalla de inicio como se observa en la Figura. 8 (a). En esta pantalla, se muestra el logotipo HOME IOT. El nombre fue inspirado en el propósito de la aplicación, que es el hogar (HOME en inglés), y las siglas IOT, que significan Internet de las Cosas (Internet of Things en inglés). Estas siglas se utilizan debido a que el sistema se basa en la idea de la interconexión a través de Internet. Además, la palabra "DEMO" en la parte inferior indica que es una versión creada para evaluación y pruebas.

Luego, hay un mensaje de bienvenida que proporciona una breve descripción sobre

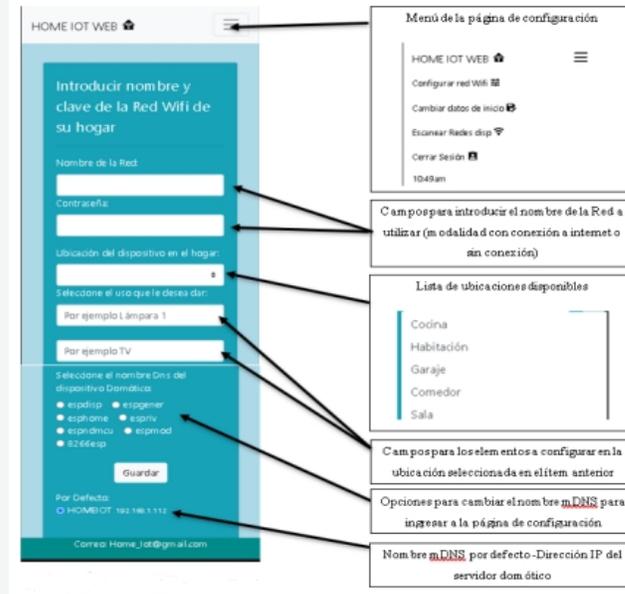


Figura. 7 Página de configuración del servidor doméstico.

la aplicación móvil. También hay un campo donde se le solicita al usuario que ingrese la dirección IP del servidor doméstico y se indica cómo se espera recibir esta información.

Cuando el usuario ingresa la dirección IP (que obtiene durante el proceso de configuración del sistema), debe seleccionar la opción "siguiente".

En este punto, la aplicación activa una función llamada "presentLoading()", que muestra una ventana emergente que indica al usuario que "espere por favor" durante 5 segundos (Ver Figura. 8 (b)).

Durante este tiempo, se asigna el valor de la IP ingresada en el campo de datos de la página de inicio a una variable llamada "Name".

Después de esto, la aplicación intenta establecer la comunicación websocket con el servidor doméstico utilizando la función "OpenWebsocket(Name)".

Si logra establecer la comunicación, procesa el mensaje JSON recibido del servidor con la función "Process_json()" para construir y mostrar al usuario la pantalla de control. En caso de que no se pueda establecer la comunicación, la aplicación vuelve a la página de inicio.

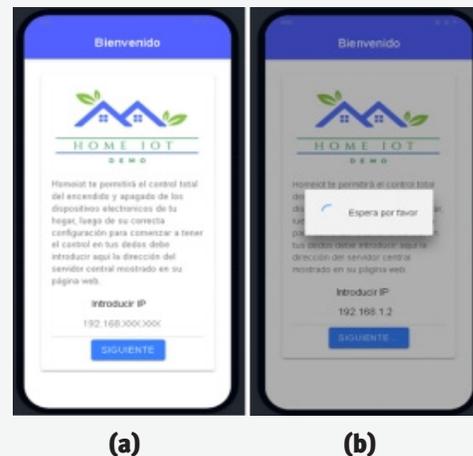


Figura. 8 (a) Página de Inicio de la aplicación móvil (b) Página de inicio con función de espera.

La pantalla de control (Ver Figura 9 (a)) cuenta con iconos y etiquetas que representan los lugares configurados en el sistema doméstico para el usuario. En la figura, la cocina se representa con un icono de una taza de café, la habitación con un icono de una cama y el garaje con un icono de un auto. Este diseño proporciona una interfaz elegante, sencilla e intuitiva. Al seleccionar una de las opciones, por ejemplo, el garaje, se muestra la pantalla que se muestra en la Figura 9 (b), donde el usuario puede controlar el encendido y apagado de los elementos mediante un botón de interruptor que inicialmente estará en el estado OFF.



Figura. 9 (a) Pantalla de control. (b) Pantalla de elementos de ubicación garaje.

RESULTADOS

Configuración del servidor domótico

Para conectarse a la página de configuración del servidor domótico, el usuario debe conectarse al punto de acceso generado por el servidor domótico llamado NodemcuDA:54 e introducir la clave de acceso "12345678". Una vez establecida la conexión con el dispositivo utilizado, ya sea una computadora o un teléfono inteligente, el usuario deberá ingresar a través del navegador utilizando el nombre mDNS (<https://homeiot/>) o la IP por defecto (<https://192.168.4.1/>). En dicha página se solicitará el inicio de sesión del usuario, donde deberá introducir las credenciales de seguridad.

Al completar la etapa de seguridad, es necesario rellenar los campos vacíos de la página de configuración del servidor domótico con los ítems establecidos para la modalidad de conectividad a Internet. Para utilizar el sistema domótico en modalidad sin conectividad a Internet, es necesario llenar todos los campos excepto el nombre de la red y la contraseña, dejando esos campos vacíos. De esta manera, el servidor domótico mantendrá encendido su punto de acceso.

Página de cambiar datos de iniciar sesión

El usuario aumenta un nivel de seguridad al tener la opción de cambiar el usuario y la contraseña de inicio de sesión a su disposición. La única restricción es que

debe introducir un máximo de 15 caracteres. Esta opción es voluntaria y no es obligatoria para la configuración del sistema.

Página escáner de redes

La página para escanear las redes es una opción que permite al usuario detectar las redes Wi-Fi cercanas. Esto le permite visualizar si el servidor domótico tiene el alcance suficiente para conectarse a la red local de la vivienda.

Configuración de los actuadores

El proceso de configuración de los actuadores es similar al del servidor domótico. Primero, se debe detectar el punto de acceso generado por el actuador, que puede ser, por ejemplo, Nodemcu E3:47. Todos los dispositivos tendrán la misma clave de acceso, pero el nombre tendrá un número hexadecimal diferente al final para diferenciar los distintos actuadores. Una vez establecida la conexión con el punto de acceso del actuador, el usuario debe ingresar al enlace <https://192.198.4.1/index.html> o <https://esp8266/index.html> a través del navegador. En esta página se solicitará la configuración, la cual debe ser completada en los campos correspondientes.

Al igual que la interfaz para configuración del servidor domótico, el actuador tiene la página de carga y una página de guardado exitoso. Este proceso se debe realizar para un máximo de 4 actuadores con dos salidas de control, para luego iniciar la aplicación móvil.

La aplicación móvil

Para utilizar el sistema domótico, es necesario configurar la aplicación móvil desarrollada. Para ello, es necesario instalar el archivo .APK en el smartphone, al igual que cualquier otra aplicación que se descarga desde la Play Store. Una vez instalada, se podrá acceder a la aplicación HOMEIOT a través del icono en el smartphone. Desde allí, el usuario podrá manipular y controlar el sistema de forma intuitiva. Se debe configurar la aplicación con la IP del servidor domótico, para lograr acceso a la información de los actuadores.

Tabla 1. Presupuesto de los componentes del sistema

Componente	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Módulo Wi-Fi ESP8266 modelo NodeMCU	1	5,22	5,22
Módulo Wi-Fi ESP8266 modelo ESP01	2	3,21	6,42
Módulo tarjeta SD	1	1,88	1,88
Módulo de alimentación 3.3V/5V	3	0,70	2,1
Alimentación de 110 AC/9 VDC	3	4,87	14,61
LED	7	0,08	0,56
Resistencias	11	0,03	0,33
Optoacoplador MOC3021	3	1,00	3,00
TRIAC BTA16-600B	3	0,74	2,22
Pulsador	3	0,65	1,95
Placa de circuito impreso para el servidor domótico (10x10) cm	1	1,00	1,00
Placa de circuito impreso para los actuadores (10x5) cm	1	1,00	2,00
Caja plástica negra	3	1,00	3,00
Costo total de los componentes			44,29

Presupuesto del sistema

En la siguiente tabla se expresa el costo final para la implementación del prototipo expresado en dólares, para instalar en tres

zonas dentro de la vivienda y que controle dos elementos por zona, es decir, seis elementos del hogar.

Conclusiones

Con el avance de esta investigación, se ha diseñado un sistema domótico de bajo costo controlado por una aplicación para smartphone. Este sistema permite la manipulación de elementos dentro de una vivienda. Para el diseño, se han utilizado diversas tecnologías que han permitido implementar protocolos de comunicación basados en la interacción cliente-servidor. Además, se ha aplicado el conocimiento adquirido en cursos previos sobre el desarrollo de aplicaciones híbridas en el framework Ionic. Por último, se ha utilizado el desarrollo de páginas web interactivas utilizando HTML, CSS y librerías como Bootstrap y jQuery para configurar los dispositivos del sistema.

La aplicación móvil, el servidor domótico y los actuadores son los protagonistas de este

sistema. Estos permitieron el intercambio rápido y efectivo de información, utilizando el servidor domótico como servidor principal de websocket, UDP y HTTP, mientras que la aplicación móvil y los actuadores funcionan como clientes. Sin embargo, durante las pruebas de uso de la aplicación móvil en el smartphone, se encontró un problema con la comunicación por websocket debido a los protocolos de seguridad del sistema Android. La aplicación se detectó como no segura debido a que el servidor domótico (modelo ESP8266 NodeMCU) no proporciona protocolo HTTPS. Como solución, se obtuvieron los resultados a través del compilador para aplicaciones de Ionic.

Los aportes más considerables de esta investigación son:

⊕ Se ha diseñado un sistema domótico compuesto por dispositivos que pueden comunicarse entre sí, lo que proporciona comodidad al usuario. El sistema domótico es seguro y accesible, ya que la aplicación móvil cuenta con dos modalidades de uso: con conectividad a internet y sin conectividad. Además, el diseño del sistema incluye un primer nivel de seguridad para acceder a los puntos de acceso de los actuadores, y un segundo nivel de seguridad para acceder a la interfaz de configuración del servidor domótico.

⊕ Se ha desarrollado una interfaz web de configuración de dispositivos que es intuitiva y fácil de entender para el usuario. Esto permite que cualquier persona, incluso sin conocimientos previos, pueda configurar los dispositivos del sistema. La interfaz cuenta con un diseño responsive, lo que significa que se adapta a cualquier dispositivo con un navegador de internet. Esto garantiza una experiencia de usuario óptima en diferentes dispositivos, ya sea en una computadora de escritorio, una tableta o un teléfono móvil.

⊕ Se ha desarrollado un protocolo de comunicación asíncrono basado en UDP y websocket. Se implementó con éxito el envío de mensajes en formato JSON, lo cual permite manipular y procesar los datos de manera simple y sencilla tanto en el cliente como en el servidor. Para el protocolo UDP, debido a las limitaciones de los módulos Wi-Fi utilizados, no es posible enviar mensajes extensos. Por esta razón, se estableció un formato de mensaje en forma de cadena de texto con datos separados por barras. Esto permite enviar mensajes cortos, pero con la información requerida.

⊕ Se ha desarrollado una aplicación móvil híbrida utilizando el framework Ionic y el lenguaje de programación TypeScript. Esta aplicación es capaz de controlar los actuadores del sistema domótico.

⊕ Se ha codificado el servidor domótico y los actuadores para que funcionen como una base de datos simple. La información se almacena en memoria no volátil (EEPROM), lo que garantiza que los datos de configuración permanezcan en el sistema incluso después de reinicios o fallas de energía eléctrica.

⊕ Se ha realizado un presupuesto para el prototipo del sistema domótico. Se estima que el costo total de los componentes, incluyendo el circuito de acoplamiento, es de 44.29 \$. Además, se ha realizado un presupuesto por servidor domótico con un valor de 17.45\$ y por actuador con un valor de 13.42 \$.

Referencias

- 1.- Tzuc, O. M., Quijano Cetina, R., & Fernández, F. (28 de mayo de 2015). Sistema domótico de control de luces mediante una aplicación Android basado en una tarjeta Raspberry-Pi. [tesis de grado] Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán. doi:10.13140/RG.2.1.1315.2087.

- 2.- Rojas Méndez MA. Diseño de un sistema domótico de bajo costo controlado mediante una aplicación para smartphone [tesis de grado]. Mérida: Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. 2022. 94p.
- 3.- Muñoz Mórals GA. Servidor de control domótico [tesis de grado]. Mérida: Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. 2020. 98p.
- 4.- Velasco Rondón LF. Interfaz de usuario en dispositivos domóticos [tesis de grado]. Mérida: Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes; 2019. 54p.
- 5.- Duran Méndez AJ. Central domótica usando Raspberry [tesis de grado], Mérida: Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes, 2021. 126p.
- 6.- Tudó, BA. (2013). Control domótico remoto de vivienda. [tesis de grado] Gandía, Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. 50p. disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/28786/memoria.pdf?sequence=1>.
- 7.- C. López Jurado, Cuál es la diferencia entre los protocolos TCP y UDP. CCM, 27 Julio 2020. [En línea]. disponible en: <https://es.ccm.net/faq/1559-cual-es-la-diferencia-entre-los-protocolos-tcp-y-udp.b>.
- 8.- Alcalá Bustos JC. Genionic: automatización del desarrollo de aplicaciones móviles con el framework híbrido Ionic a partir de modelos ISML [tesis de grado]. Facultad De Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana. 2017. 59p. disponible en: <http://hdl.handle.net/10554/39890>.