



Diseño de un sistema domótico basado en plataformas de hardware libre.

Luis Miguel Pérez Fernández, Adriana Virginia Acosta Corzo, Adrián Rodríguez Ramos, Luis Manuel Rodríguez Rodríguez

RESUMEN / ABSTRACT

A pesar de los avances significativos en el campo de la automatización de viviendas y edificios, la adopción de sistemas del hogar en aplicaciones más cotidianas, como apartamentos y oficinas pequeñas, aún no es muy visible. Los fabricantes mantienen el desarrollo de sistemas domóticos y edificios enfocados a grandes aplicaciones, y los disponibles para pequeñas aplicaciones, aún no corresponden a las expectativas de los usuarios debido a problemas de baja funcionalidad, precio, complejidad y rendimiento. Para abordar los problemas antes mencionados, este trabajo propone diseñar y evaluar un sistema domótico modular simple, basado en *hardware* de código abierto y componentes de bajo costo. Específicamente enfocada a pequeñas aplicaciones, como la automatización de tareas domésticas sencillas en apartamentos residenciales, fomentando el confort, la seguridad y el ahorro en el día a día del usuario final. El sistema diseñado se basa en el microcontrolador ESP8266, aprovechando sus funcionalidades de conectividad inalámbrica para construir un sistema totalmente descentralizado capaz de interactuar con los usuarios a través de una interfaz web y una conexión Wi-Fi a la red local del hogar. Dando como resultado un sistema altamente expandible y configurable, basado en módulos independientes que realizan funciones específicas de acuerdo a las necesidades del usuario.

Palabras claves: IoT, domótica, hardware de código abierto, sistema descentralizado

Despite significant advances in the field of home and building automation, the adoption of home automation systems in more everyday applications such as apartments and small offices is still not very visible. Manufacturers maintain development of building and home automation systems focused on large applications, and those available for small applications, still do not correspond to user expectations, due to low functionality, price, complexity and performance problems. In order to address the aforementioned problems, this work proposes to design and evaluate a simple modular home automation system, based on open-source hardware and low-cost components. Specifically focused on small applications, such as the automation of simple household tasks in residential apartments, promoting comfort, safety and savings in the daily life of the end user. The designed system is based on the ESP8266 microcontroller, taking advantage of its wireless connectivity functionalities, to build a fully decentralized system capable of interacting with users through a web interface and a Wi-Fi connection to the home's local network. Resulting in a highly expandable and configurable system, based on independent modules that perform specific functions according to the user's needs.

Keywords: *IoT, home automation, open source hardware, decentralized system*

Design of a home automation system based on open-source platforms

LISTA ACRÓNIMOS

AP	<i>Access Point</i> . Punto de Acceso.
CPU	<i>Central Processing Unit</i> . Unidad de Procesamiento Central.
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read – Only Memory</i> . Memoria Eléctricamente Programable de Solo Lectura.
ID	<i>Identity Document</i> . Documento de Identidad
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> . Entorno de Desarrollo Integrado
IoT	<i>Internet of Things</i> . Internet de las Cosas
IR	<i>Infrared</i> . Infrarrojo
LED	<i>Light – Emitting Diode</i> . Diodo emisor de luz.
MAC	<i>Media Access Control</i> . Control de Acceso a Medios.
PWM	<i>Pulse – Width Modulation</i> . Modulación por Ancho de Pulso.
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i> . Grupo reducido de instrucciones.
SRAM	<i>Static Random – Access Memory</i> . Memoria de Acceso Aleatorio Estática
STA	<i>Station</i> . Estación.
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i> . Protocolo de Control de Transmisión / Protocolo de Internet
USB	<i>Universal Serial Bus</i> . Bus Serie Universal.
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> . Red Local Inalámbrica.

1. - INTRODUCCIÓN

La domótica es hoy un campo en pleno desarrollo. Los conceptos y tecnologías recientes, como Internet de las cosas (IoT) y las plataformas de hardware de código abierto o hardware libre, ofrecen nuevas posibilidades para una amplia variedad de sistemas de automatización del hogar [1-3]. Hoy en día, muchos fabricantes ofrecen sistemas de automatización completos, funcionales y fiables, pero estos suelen ser muy caros y difíciles de instalar. Por lo tanto, es posible que estas soluciones no siempre sean adecuadas para aplicaciones pequeñas, como un apartamento, una oficina o una habitación. Este trabajo propone investigar la viabilidad de desarrollar un sistema basado en los conceptos de IoT, hardware de código abierto y domótica, que pretenda superar las principales limitaciones de los sistemas existentes. Un sistema de este tipo abre un nuevo camino en el desarrollo de sistemas de automatización, más accesibles al público que pueden ser adquiridos, instalados y utilizados por la mayoría. Por otro lado, en Cuba se desarrollan programas de vivienda social que buscan solucionar el problema habitacional del país; la inclusión de sistemas domóticos sencillos en las propuestas constructivas favorece el producto final generado, representando un valor agregado a las viviendas, lo que redundará en un importante beneficio social. El objetivo fundamental de este trabajo es diseñar un sistema domótico basado en una plataforma de hardware de código abierto y que sea de bajo costo, simple, expandible, rico en funcionalidades y adaptable a las diferentes propuestas constructivas que forman parte de los programas de vivienda social del país.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera, en la sección 2 de Materiales y Métodos se presentan los protocolos de comunicación y tecnologías más comunes usadas en la domótica. En la sección 3 se presenta y analiza la solución de la propuesta para el sistema domótico. Un estudio de caso real de sistema domótico en la vivienda se desarrolla en la sección 4. Finalmente se presentan las conclusiones de la investigación.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección detalla algunos de los estándares, protocolos de comunicación y tecnologías más comunes usadas en la domótica y que son de mayor interés para este proyecto, con respecto a sus modelos y características, en particular, como conceptualizan sus dominios de trabajo; así como otros sistemas que están ganando atención debido a sus atractivas características para el campo de la automatización de viviendas, como es el caso de WeMo y LIFX.

2.1.- Sistemas cableados

Las comunicaciones por cable tienen su principal uso en nuevas construcciones donde el tendido de cables no es un gasto adicional significativo, y además se utiliza en lugares donde equipos de alta energía pudieran interferir en las comunicaciones inalámbricas. Dentro de los protocolos de comunicación por cable se encuentran: KNX, LonWorks y X10 [4].

KNX es el protocolo estándar internacional para la automatización de edificaciones (ISO/IEC 14543-3), estándar europeo (CENELEC EN 50090 y CEN EN 13321-1). KNX permite la utilización de varios medios de comunicación física: cableado de par trenzado, red eléctrica, radio frecuencias y Ethernet. Es una tecnología que apareció a principios de los 90 de la mano de tres protocolos domóticos: Batibus, EIB y EHS. Estos se unieron en 1997 en un único estándar internacional al que bautizaron con el nombre de KNX. La especificación KNX fue publicada en 2002 por la recién establecida asociación KNX (Conocida en inglés como KNX Association). Está basada en la especificación de EIB, completada con los mecanismos de configuración y medios físicos nuevos, originalmente desarrollados por Batibus y EHS. La principal ventaja del protocolo KNX es que integra el grupo de los protocolos abiertos.

LonWorks es un estándar de comunicación desarrollado por la empresa norteamericana Echelon Corporation dirigido a la gestión técnica y el control de instalaciones. Este protocolo presenta un control distribuido y descentralizado, permitiendo distribuir la inteligencia entre sensores y actuadores. Además, con este estándar se puede emplear una topología de red en bus, estrella o anillo, y emplea habitualmente como medio de transmisión par trenzado, aunque puede emplearse otros medios de comunicación como redes IP, fibra óptica, radio, cable coaxial, línea telefónica y línea de tensión. Como tal LonWorks proporciona la tecnología hardware y el protocolo que facilitan el desarrollo, por ejemplo, de una familia de dispositivos para aplicaciones de domótica. Esto quiere decir, que los productos de dos fabricantes diferentes, aunque basados ambos en la tecnología LonWorks, pudieran no entenderse. Cada uno de ellos usa la tecnología LonWorks con unos criterios escogidos en función de la gama de productos que está desarrollando. Con el objetivo de resolver esta carencia, asegurando que los productos LonWorks de multitud de fabricantes sean compatibles entre sí, Echelon auspició el nacimiento y desarrollo de LonMark, que es una asociación de fabricantes que desarrollan productos o servicios basados en redes de control LonWorks. Esta asociación específica y pública las recomendaciones e implementaciones que mejor se adaptan a cada uno de los dispositivos típicos de las redes de control.

X10 es un protocolo popular para la automatización de viviendas que apareció por primera vez en la década de 1990. Este sistema utiliza principalmente el cableado de línea eléctrica de corriente alterna como bus de comunicación para señalización y control, entre los muchos dispositivos, es capaz de conectar un número máximo de 256 dispositivos en el mismo entorno. Por lo general, los dispositivos X10 se conectan en las tomas de corriente donde se enchufan otros electrodomésticos, y el sistema se utiliza principalmente por control remoto, dependiendo de las entradas directas del usuario, utilizando controladores simples. Para la funcionalidad de zonificación y configuración, el espacio de direcciones se divide en dos: una dirección para la dirección de la casa, y el otro para la dirección del dispositivo. De esta forma, los controladores pueden controlar un dispositivo de forma independiente, usando la combinación de direcciones de casa y dispositivo, o controlar un grupo de dispositivos usando la dirección de la casa. La configuración puede ser muy sencilla, el usuario solo tendrá que seleccionar manualmente una letra de la A hasta la P, correspondiente a la dirección de la casa, y un número del 1 al 16, correspondiente a la dirección del dispositivo, y los comandos están predefinidos. Los controladores X10 pueden variar desde ser extremadamente simples hasta muy sofisticados. Para construir sistemas más complejos se utilizan controladores sofisticados que pueden ser programados por software, estos tienen la capacidad de realizar tareas complejas como la activación programada, control de grupo basado en software y actuación impulsada por eventos. La popularidad de este sistema se debe a su simplicidad y facilidad de uso e instalación, tiene algunos problemas de confiabilidad principalmente debido a la interferencia con la línea de potencia, y es incapaz de lidiar con comandos perdidos, pero funciona bien en lo que respecta a expectativas del usuario. Dependiendo de las funcionalidades del sistema deseado y la complejidad relativa, los costos pueden estar en rango de bajo a medio, en relación con otros sistemas domóticos.

2.2.- Sistemas inalámbricos

Las comunicaciones inalámbricas presentan facilidad de instalación y son de bajo costo, se utilizan principalmente para edificaciones existentes. Dentro de los protocolos de comunicación inalámbricos se encuentran: EnOcean, ZigBee, WeMo y LIFX [4].

EnOcean es un estándar inalámbrico que se desarrolló originalmente como una empresa comercial de SIEMENS AG. Se convirtió en un protocolo abierto en 2008 cuando EnOcean Alliance fue formada por EnOcean, Texas Instruments, Omnio,

Sylvania, Masco y MK Electric. Este estándar especifica el uso de tecnología de recolección de energía que no requiere de baterías u otras fuentes de energía. Los dispositivos de EnOcean utilizan técnicas de recolección de energía cinética y térmica, como las celdas solares, lo que los hace económicos de usar y respetables con el medio ambiente.

ZigBee es un estándar inalámbrico para uso doméstico y comercial desarrollado por ZigBee Alliance, establecido en 2002. ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4 y la última versión del estándar se conoce como ZigBee Pro y se publicó en 2007. Una de las características importante de este protocolo es su topología de red en forma de malla que es auto curativa y de enrutamiento automático. Las redes en forma de malla no dependen de una sola conexión, por lo que, si un enlace está roto, los dispositivos buscan a través de la malla para encontrar la ruta disponible, lo que hace que una red basada en ZigBee sea muy confiable y flexible.

WeMo es una línea de productos fabricada por Belkin, que combinada proporciona suficientes funcionalidades para construir sistemas simples de automatización del hogar. Además de proporcionar tales funcionalidades, los productos WeMo se centran en el control remoto de electrodomésticos mediante un teléfono inteligente. Todos los dispositivos WeMo hacen uso de la red Wi-Fi del hogar para comunicarse. Por lo tanto, la cantidad de dispositivos está limitada a cuántos puede admitir el router de red, con la clara desventaja de que la interacción con el sistema WeMo puede interferir con el rendimiento de la red local. Dada la potencia computacional y la complejidad que tiene cada dispositivo, los precios de los componentes del sistema son relativamente altos.

LIFX es un sistema innovador desarrollado recientemente, compuesto por una red de bombillas inteligentes; que se puede utilizar con fines de control remoto y automatización. LIFX está hecho de bombillas LED individuales habilitadas con conectividad Wi-Fi, que juntas forman un sistema de iluminación altamente personalizable y energéticamente eficiente. Cada bombilla está compuesta por dos interfaces de comunicación, una interfaz WLAN y una interfaz de malla inalámbrica 802.15.4.

2.3.- Comparación de sistemas comerciales

2.3.1.- Soluciones comerciales

Actualmente, existe una gran variedad de sistemas domóticos comerciales. Algunas de las soluciones más populares las proporcionan fabricantes como Qivicon, HomeSeer, Loxone o Domintell, cuyas características son una buena referencia a la hora de evaluar la madurez tecnológica y la funcionalidad de la mayoría de los sistemas domóticos modernos. Tales características se comparan en la Tabla 1, donde se puede observar que todas las soluciones ofrecen diferentes protocolos de comunicación para transmisiones cableadas e inalámbricas. En cuanto a funcionalidades, todos soportan básicamente las mismas, pero Loxone y Domintell no ofrecen un sistema de videovigilancia. En relación a los precios incluidos en la Tabla 1, nótese que representan un costo aproximado para un sistema básico. El costo final dependerá de la cantidad de dispositivos a instalar, así como del tamaño de la vivienda y de las necesidades del usuario [5].

2.3.2.- Análisis de sistemas domóticos comerciales

A los efectos de comparar los sistemas domóticos comerciales existentes, se considerará el siguiente escenario típico de ofimática: una oficina con una puerta, dos ventanas, una para el interior y otra para el exterior, una persiana motorizada, dos mesas de trabajo, una lámpara de escritorio regulable y electrodomésticos sencillos como una radio o una cafetera. La automatización de un lugar como este necesita al menos los siguientes componentes:

- 1 sensor de movimiento para una estimación de ocupación simple
- 2 motor actuador para cierre y apertura de persianas
- 1 sensor de luz exterior
- 2 interruptores de contacto magnético (sensores de puertas y ventanas)
- 2 actuadores de relé simples (para aparatos eléctricos simples)
- 4 lámparas regulables
- 2 sensores de luz para las mesas
- 2 sensores de presión para los asientos

La Tabla 2 compara diferentes tecnologías comerciales según funcionalidades y características relevantes para los objetivos de este trabajo y los requisitos del escenario típico descrito anteriormente. Las funcionalidades son: zonificación de facilidades, posibilidades de notificar su operación, oportunidad de establecer regímenes horarios, porcentaje de cobertura de todo el escenario de trabajo, la complejidad del dispositivo, dificultades de instalación y montaje y el costo relativo.

Tabla 1
Comparación de las características de los sistemas domóticos comerciales

Soluciones	HomeSeer	Qivicon	Loxone	Domintell
Protocolos y tecnologías	Insteon, UPB, Wi-Fi, X10, PLC-BUS, Modbus, Z-Wave	Wi-Fi, ZigBee	KNX, DMX, Modbus, RS232, RS485, EnOcean, Loxone Air	S-Bus
Transmisión	Cableada e inalámbrica	Inalámbrica	Cableada e inalámbrica	Cableada
Control de acceso	Si	Si	Si	Si
Temperatura	Si	Si	Si	Si
Iluminación	Si	Si	Si	Si
Control ambiental	Si	Si	Si	Si
Videovigilancia	Si	Si	No	No
Contra Intrusos	Si	Si	Si	Si
Experiencia de usuario	Aceptable	Aceptable	Buena	Buena
Variedad de periféricos	Alta	Muy alta	Media	Media
Requisitos del sistema	800 MHz Quad-Core CPU, 1 GB RAM-1.5 GHz Dual-Core CPU, 2 GB RAM-1.8 GHz Dual-Core CPU, 2 GB RAM	1-Core ARM v11, 600 MHz, 512 MB RAM	400 MHz, 64 MB RAM	No se especifica por el fabricante
Precio	1000 - 1200 USD	1300 USD	1250 USD	900 USD

Tabla 2
Resumen de las tecnologías estudiadas

Funcionalidades	LIFX	WeMo	X10	ZigBee	EnOcean	LonWorks	KNX
Zonificación	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
Notificación	No	No	Si	Si	Si	Si	Si
Planificación	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cobertura de escenario	9%	27%	45%	100%	45%	100%	100%
Complejidad	Baja	Baja	Medio	Alta	Alta	Alta	Alta
Dificultad de Instalación	Fácil	Fácil	Fácil	Difícil	Difícil	Difícil	Difícil
Costo Relativo	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto

3.- SOLUCIÓN PROPUESTA

3.1.- Requerimientos

Como parte del proyecto Vivienda de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, se desarrolló el diseño constructivo de un pequeño edificio con viviendas de diversa tipología, que van desde monoambientes hasta algunas para familias numerosas. El sistema domótico debe estar diseñado para poder adaptarse a las especificidades arquitectónicas de cada tipo de apartamento, incluyendo la posibilidad de expandirse y ser escalable a otras propuestas constructivas que se

puedan desarrollar en el país como parte del programa de vivienda social. En general, el sistema debe ser capaz de cumplir con las siguientes pautas en su diseño:

- **Simple:** utiliza una interfaz sencilla y amigable, que permite una correcta retroalimentación, brindando mayor comodidad y mejor aceptación por parte del usuario.
- **Flexible:** posibilidad de adaptación a diferentes entornos. Proporcionar la posibilidad de futuras modificaciones o ampliaciones del sistema.
- **Modular:** el sistema debe estar diseñado por módulos que funcionen de manera independiente (interconectados entre sí), evitando fallas que inutilicen todo el sistema. También debe ser fácil de rediseñar, modificar, expandir y redistribuir.
- **Integral:** ser implementado de forma que permita la comunicación entre diferentes tipos de plataformas tecnológicas [6].

3.2.- Plataforma

Los conceptos y tecnologías recientes, como Internet de las Cosas (IoT) y las plataformas de hardware de código abierto, ofrecen nuevas posibilidades para una amplia variedad de sistemas domóticos. El hardware de código abierto consiste en plataformas que permiten la creación de prototipos y el desarrollo de sistemas de manera fácil y rápida. Muchos sistemas, que usan este tipo de hardware libre para el automatismo de viviendas, han sido propuestos y diseñados en investigaciones académicas [5], usando como premisas que sean accesibles, fácil de configurar, de bajo costo y escalables en términos de protocolos y tecnologías. Entre las plataformas y tecnologías más documentadas, de mayor uso en sistemas domóticos relativamente simples y de mayor impacto para este proyecto, se encuentran las desarrolladas por Arduino y Espressif Systems. La Tabla 3 muestra las principales características de dos de las soluciones, basadas en microcontroladores, más populares desarrolladas por cada fabricante; Arduino UNO R3/Nano [7, 8], basadas en ATmega328p [9] y ESP-12F [10], desarrollada por AI-Thinker, basada en ESP8266 [11-13]. La solución propuesta en este trabajo se basa en el ESP-12F.

3.3.- Arquitectura del sistema propuesto

La Fig. 1 muestra la arquitectura propuesta para el sistema domótico, que representa la versión de un solo hogar de un sistema domótico genérico. La arquitectura se basa en la interconexión y comunicación inalámbrica entre diferentes dispositivos a los que llamaremos nodos, formando un sistema descentralizado, donde cada nodo es capaz de tomar sus propias decisiones y comunicarse con el resto del sistema [14, 15]. Los nodos están vinculados a un ESP8266 que actúa como controlador y puede definir diferentes funcionalidades según su ubicación en el sistema. Están concebidos dos tipos de nodos; los nodos base y los nodos de subred.

Por lo tanto, la capa de aplicación del sistema está compuesta por tres elementos fundamentales: los nodos base, los nodos de subred y un enrutador inalámbrico que permite a los clientes acceder al sistema desde un teléfono inteligente o computadoras personales acceder al sistema mediante una interfaz web.

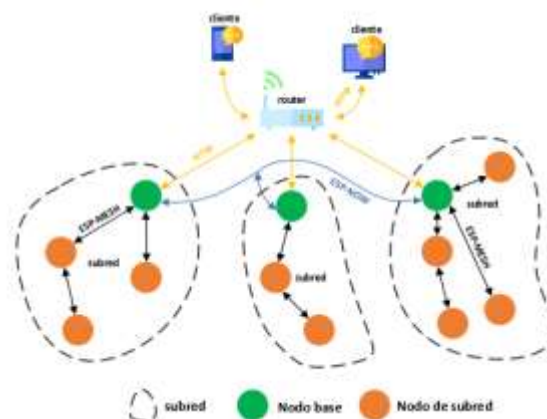


Figura 1

Arquitectura del sistema diseñado

Tabla 3
Comparación de plataformas de desarrollo hardware

Parámetros Microcontrolador	Arduino UNO R3/Nano ATmega328P	ESP-12F ESP8266EX
CPU	AVR 8-bit RISC @ 16 Mhz	Tensilica L106 32-bit RISC @ 80 Mhz / 160 Mhz
Voltaje de operación	3.3 ~ 5 V	3.3 V
Consumo de corriente	45 mA ~ 80 mA	~ 80 mA ²
Consumo de corriente Deep Sleep	23 µA	0.5 µA
Pines E/S	14	11
Pines E/S com PWM	6	11 ³
Entradas analógicas	ADC 8 canales, 10 bits	ADC 1 canal, 10 bits
Interfaz integrada	SPI, I2C, UART	SPI, I2C, I2S, UART0, UART1
Interrupciones externas	Pines E/S 1 y 2	Todos los pines E/S ⁷
Temporizadores	Timer0, Timer1, Timer2	Timer0, Tiemr1, TimerRTC
Corriente en pin E/S	40 mA @ 5 V	12 mA @ 3.3V
Memoria FLASH	32KB	4MB ⁴
SRAM	2KB	64KB
EEPROM	1024 bytes	Usa FLASH ⁴
Wi-Fi	No	Protocolo TCP/IPv4 y 802.11 b/g/n (HT20) Wi-Fi MAC con velocidades de hasta 72.2
Radiofrecuencia RF	No	2.4 GHz transmisor, 2.4 GHz receptor
Placa de desarrollo	Si	Si
Conexión USB	Si	No
Precio	22.00 USD	3.00 USD

¹ usando la placa de desarrollo.

² usando Wi-Fi y RF.

³ todos lo pines soportan PWM.

⁴ memoria externa.

⁵ necesidad de usar un conversor USB-UART o una placa de desarrollo para programarlo.

⁶ distribuidores y fabricantes autorizados.

⁷ excepto el pin GPIO16.

3.3.1.- Nodos

Los nodos son los elementos principales en el modelo de la red domótica. Su concepto se puede abstraer a dispositivos capaces de medir, actuar, procesar información y comunicarse con otros dispositivos. Los dos tipos de nodos concebidos; nodos base, Fig. 2 a), y los nodos de subred, Fig. 2 b), implementan funcionalidades distintas en lo que se refiere al papel que juegan en la distribución de la red, el modelo de información y los protocolos de comunicación que utilizan.

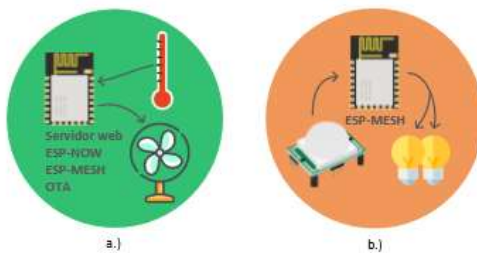


Figura 2

Tipos de nodos en la red domótica

Todos los nodos funcionan en modo AP – STA, lo que permite crear una malla de conexión en cada subred usando el protocolo inalámbrico ESP-MESH. Cada nodo actúa como un punto de acceso (AP) para que otros nodos se conecten y como una estación para conectarse a un AP de otro nodo. El límite de conexión es de 4 nodos en modo de estación (STA) por punto de acceso para los ESP8266. Cuando un nodo no está conectado a un AP o perdió su conexión, busca puntos de acceso de otros nodos periódicamente y se conectará al AP con la señal más fuerte, que aún no está presente en la lista de conexiones o subconexiones, es decir, que aún no es conocida por el nodo. Al conectarse solo a AP desconocidos, la malla evita la creación de bucles de red, de modo que hay una ruta única entre cada par de nodos de la malla. Cada nodo posee un nombre, y una identificación única que corresponde a un número de 32 bits la cual es manejada a bajo nivel por el protocolo ESP-MESH, lo que permite el envío de mensajes con destinatarios directos, además de ser posible los mensajes por difusión en el mismo grupo.

3.3.2.- Entorno de desarrollo

Para la programación de los microcontroladores ESP8266 se usa la herramienta Visual Studio Code, mediante la extensión PlatformIO [16], que es un entorno de desarrollo pensado para aplicaciones IoT. PlatformIO incluye herramientas de depuración sofisticadas, testeo de unidades y análisis de código automatizado. Permite el trabajo con una gran cantidad de plataformas de desarrollo hardware entre las que se encuentra Arduino, Atmel AVR, Atmel SAM, Espressif 32, Espressif 8266, Intel MCS-51 (8051), Microchip PIC32, entre otras. Una de las ventajas que aporta este IDE (*Integrated Development Environment* por sus siglas en inglés) es que muchos de estos dispositivos requieren de un software específico, en su mayoría de pago, para utilizar sus plataformas. Utilizando PlatformIO IDE, se tiene un entorno multiplataforma de código abierto que permite desarrollar múltiples proyectos simultáneamente, utilizando lenguajes de alto nivel como C / C++.

3.4.- Estrategia de automatización

El sistema domótico presentado es capaz de automatizar y controlar disímiles aspectos relacionados a una vivienda. Según las tareas que cumplan, la tecnología que empleen y los servicios que proporcionen, el modelo domótico puede ser representado como un conjunto de distintos subsistemas de automatización intrínsecamente relacionados. Esta sección pretende relacionar los subsistemas básicos que se pueden implementar en el diseño de un sistema domótico, abordando sobre los sensores, actuadores, componentes y técnicas más utilizadas en el diseño de aplicaciones domóticas que usan plataformas hardware de código abierto.

3.4.1.- Subsistema de climatización

El propósito de este subsistema es la medición y control de variables ambientales, como temperatura y humedad, con el objetivo de procurar el confort y promover el ahorro energético. Una posible técnica que se puede emplear con este fin, es el control del aire acondicionado de un local o habitación mediante su interfaz IR (abreviatura de infrarrojo), utilizando un LED infrarrojo y conociendo que protocolo y comandos utiliza para realizar acciones como encendido, apagado, modos de ventilación y temperatura deseada. De esta manera un dispositivo puede actuar sobre la variable temperatura de forma remota, en dependencia del valor de medición realizada, la presencia de personas en la habitación, la apertura de una puerta o ventana, un comando directo o temporizado, etc. Para la medición de variables ambientales se pueden utilizar algunos sensores como el LM35 (temperatura) del fabricante Texas Instruments [17] y el TMP36 (temperatura) del fabricante Tayao Technology Co. Ltd, [18]. Del fabricante Naylam Mechatronics [19], para la medición de temperatura y humedad pueden usarse el sensor DHT11 y el BME280, este último midiendo además la presión.

3.4.2.- Subsistema de gestión energética

Para la gestión energética en una vivienda, resulta de especial interés el conocimiento del consumo de energía, tanto de la vivienda completa como de las habitaciones o zonas específicas por separado. Estos datos permitirán al usuario conocer cuál es el momento y la causa del mayor pico de consumo, y tomar medidas al respecto en caso de ser necesario. Un método sencillo y no invasivo para conocer el consumo total de una vivienda es implementar un dispositivo capaz de interactuar con el metrocontador instalado en ella. El dispositivo podrá leer la medición del metrocontador mediante su interfaz digital de pulso de salida o mediante la lectura del pulso en un LED utilizando un acoplamiento óptico. Algunos metrocontadores implementan una interfaz IR que también se puede utilizar para este fin. Para la lectura del consumo en zonas específicas de la vivienda se puede hacer uso de algunos sensores de corriente como el ACS712 y el ACS758 del fabricante Naylam

Mechatronics [19]. También se pudieran utilizar el WCS1800 [20] y el SCT013 [21], de los fabricantes Winson Semiconductor Corp. y Yaohuadecheng Electronic Co., Ltd respectivamente.

3.4.3.- Subsistema de iluminación

El control de las luminarias y sistemas de iluminación en la vivienda puede tener un gran impacto tanto en el confort de los usuarios como en el ahorro energético. Dependiendo del tipo de lámparas empleadas, su control y accionamiento puede ser mediante relés, relés de estado sólido o triacs, cuando se emplean lámparas o luminarias de AC. Por otro lado, si se usan sistemas de iluminación de DC, como lámparas o tiras LEDs, su control también puede ser mediante transistores BJT o MOSFET acordes a la potencia requerida. Para el control de luminarias, según la instalación que presenten, se pueden realizar acciones de apagado y encendido o control de luminosidad. Generalmente, se relaciona el control de las lámparas en locales o zonas con la presencia o no de personas, también se pueden tener cuenta niveles de luminosidad requeridos e incluso selección de colores y tonos si la tecnología empleada lo permite. Existe una gran variedad de tipos sensores que pueden ser usados en un subsistema de iluminación; por ejemplo, sensores de movimiento, presencia, proximidad, luminosidad, apertura de puertas o ventanas, etc. Algunas de las opciones más empleadas pueden ser los sensores de movimiento RCWL-0516 [22] y HC-SR501 PIR [22]. Otros como el CDS-55 LDR [23] y el BH1750 [24] permiten medir luminosidad.

3.4.4.- Subsistema de seguridad

Generalmente, el subsistema de seguridad de una vivienda se puede dividir en dos etapas fundamentales; subsistema contra intrusos y de control de acceso, además del subsistema contra incendios, detección de fugas de gas, detección de humo o llamas, etc. Para la detección de intrusos se pueden usar los mismos sensores y dispositivos empleados en subsistema de iluminación, implementando una lógica de control y acción distinta según las necesidades específicas. Por ejemplo, en detector de presencia o movimiento implementado para controlar las luminarias de una zona en un horario o bajo unas condiciones específicas, pudiera emitir una alarma o acción distinta si la detección ocurriese en otro horario donde no debería haber personas en esa zona. Por otro lado, los ESP8266 son capaces de controlar pequeñas cámaras como la ArduCAM Mini, que pueden ser implementadas en sistemas de vigilancia sencillos, timbres inteligentes, etc., lo cual puede complementar el diseño de un sistema contra intrusos en la vivienda. Para el control y automatización de las demás tareas relacionadas con el subsistema de seguridad se pueden implementar dispositivos que usen sensores como el MQ2 [20], el MiCS5524 [21] y BME680 [24] que permiten concentraciones de gases inflamables y humo. Otros como el YG1006 [20] se pueden usar para detectar llama y fuentes de incendios. Estos dispositivos además de medir y detectar eventos relacionados a incendios o fuga de gas, pueden estar diseñados para actuar mediante el accionamiento de válvulas que corten el suministro de gas inflamable a la vivienda, dispositivos rociadores, alarmas visuales o sonoras, etc.

4.- ESTUDIO DE CASO REAL

4.1.- Sistema domótico en la vivienda

La vivienda seleccionada para realizar el estudio del montaje y funcionalidad del sistema domótico tiene un área útil de 53.4 m², dividida en las siguientes secciones: sala, comedor, cocina, patio de servicio, servicio sanitario, dormitorio doble y balcón [25]. Para aprovechar al máximo las prestaciones y ventajas del sistema domótico diseñado, se especifica que la vivienda debe contar con un enrutador inalámbrico, el cual debe ser instalado en una zona central del apartamento, asegurando buena cobertura inalámbrica con los dispositivos que funcionan como nodos bases de cada subred, para que la conexión sea estable, segura y fuerte.

El sistema está compuesto de varios dispositivos, basados en la plataforma ESP8266, que realizan funciones distintas. De manera general, el diseño cumple con las siguientes funcionalidades como parte del proceso de automatización y control de las distintas esferas domésticas en una vivienda:

- Medición del consumo energético total de la vivienda en kWh.
- Medición de la corriente demandada por cada circuito eléctrico de la vivienda de manera independiente.
- Detección de fugas de gas inflamable y humo como parte del subsistema de seguridad de la vivienda.
- Medición de variables ambientales como temperatura y humedad, y posibilidad de accionamiento de equipos electrodomésticos como ventiladores o aires acondicionados.
- Control y accionamiento de luminarias, implementando modos manuales y por detección de presencia.

- Comunicación entre dispositivos para lograr su acción coordinada.
- Comunicación con los usuarios mediante una interfaz web.

En el sistema domótico planteado, se implementan dos subredes independientes; la primera se denomina subred de gestión energética, encargada de la medición y representación de las variables energéticas de la vivienda, específicamente asociada al consumo de energía eléctrica, y la segunda, llamada subred doméstica, es la encargada de las demás acciones realizadas en la vivienda, siendo la más extensa en cantidad de dispositivos de nodos y extensión física de las conexiones. Ambas subredes funcionan paralelamente, y los usuarios pueden interactuar con ellas de manera simultánea, desde cualquier dispositivo cliente conectado a la red WLAN local del enrutador [26].

4.2.- Subred de gestión energética

Esta subred tiene como premisa la promoción del ahorro en el día a día del usuario final. Los dispositivos que lo integran permiten al usuario saber de forma sencilla y rápida cuál es el consumo actual en kWh y cuánto debe pagar por él. Además, la subred registra, de forma independiente, la demanda actual de cada circuito eléctrico de la vivienda. De esta manera, el usuario puede tomar acciones más eficientes en términos de ahorro de energía eléctrica, ya que sabe qué equipo consume más energía en un momento específico.

En el diseño de esta subred, se sigue como pauta fundamental la fácil instalación y montaje de sus dispositivos. Por esta razón los nodos que la componen no usan técnicas ni sensores invasivos, en los cuales se debería colocar el dispositivo en serie con la instalación eléctrica. En su lugar, se emplean interacciones más seguras, que no ponen en peligro el estado de la instalación de la vivienda ni la vida de los usuarios. Para lograr este principio de funcionamiento se implementan dos tipos de dispositivos; el primero capaz de interactuar con el metrocontador de la vivienda, logrando obtener la medición del consumo en kWh, sin necesidad de leer físicamente las variables eléctricas de corriente y tensión, para obtener una medición indirecta de la potencia en cada instante y durante cuánto tiempo la consume [27, 28]. El segundo tipo de dispositivo, utiliza un sensor analógico para medir la corriente en cada circuito eléctrico de la vivienda. Esta medición se acondiciona mediante software para obtener el dato de valor eficaz de la corriente demandada en cada zona. En el caso de la vivienda estudiada, se propone el uso de cuatro dispositivos medidores de corriente, uno para cada circuito eléctrico, y su montaje es realizado cerca del panel eléctrico central del apartamento. La interfaz web desarrollada para la interacción del usuario con la subred de gestión energética pretende que la visualización de los datos relevantes sea fácil, clara y limpia. La Fig. 3 muestra el diseño de la interfaz desarrollada, la cual es adaptable a cualquier tipo de dispositivo cliente que se conecte a la red local de la vivienda. Cuando se ingresa la dirección IP del nodo base de la subred en el navegador web del dispositivo cliente, la página web alojada en el nodo base es cargada con los datos de las mediciones actualizados.

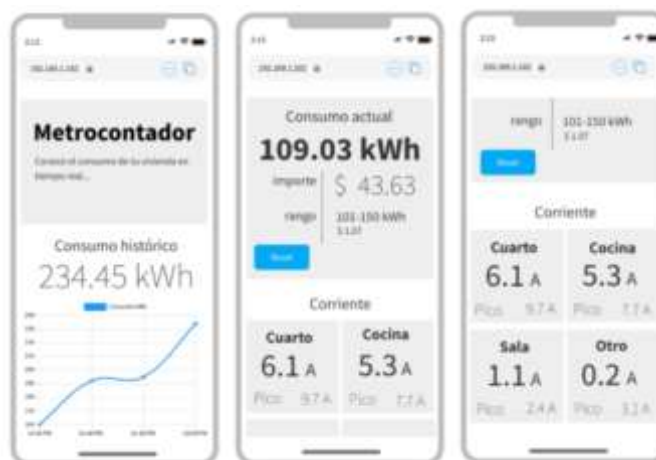


Figura 3
Interfaz web para la subred de gestión energética

4.3.- Subred doméstica

La subred doméstica está compuesta por dispositivos que permiten una interacción fácil y rápida del usuario con diferentes equipos y subsistemas de la vivienda. Sus prestaciones impactan fundamentalmente en las esferas de confort y seguridad dentro del sistema domótico presentado, permitiendo el control de electrodomésticos sencillos y la medición de variables ambientales. Todos los módulos que componen esta subred, fueron especialmente diseñados para asegurar instalaciones y montajes sencillos y de bajo costo, que se puedan realizar por usuarios comunes sin necesidad de realizar modificaciones significativas en la instalación eléctrica de la vivienda. De la misma forma, los dispositivos que componen la subred doméstica procuran un alto grado de compatibilidad con la mayoría de los electrodomésticos y aparatos presentes en una vivienda común, además de mostrar flexibilidad en su funcionamiento lógico, permitiendo que su uso se extienda a las especificaciones de cada usuario, dentro de las posibilidades de los dispositivos. La subred propuesta para el apartamento en cuestión está conformada por tres tipos de dispositivos diferentes; un módulo para la detección de fugas de gas y humo, que se corresponde con el subsistema de seguridad en el automatismo de la vivienda, el cual implementa estados de alarma visual y sonora cuando existen altas concentraciones de gases inflamables o humo en la zona, además de permitir el accionamiento de un aparato o módulo externo que responda a un evento de este tipo. El segundo tipo de dispositivo corresponde a un módulo especializado en el control de luminarias, el cual implementa diferentes métodos para el accionamiento independiente de las luminarias de la vivienda, desde detección de presencia hasta accionamientos directos mediante interruptores eléctricos o haciendo uso de la interfaz web. Finalmente, se desarrolla un módulo para la medición de variables ambientales en una habitación, capaz de obtener los valores de temperatura y humedad en tiempo real y publicarlos en la interfaz web de la subred, además, este módulo es capaz de interactuar con dispositivos que utilicen la pasarela infrarroja de comunicaciones como aires acondicionados o ventiladores [28, 29]. La Fig. 4 muestra la interfaz web desarrollada para la subred doméstica, mediante la cual el usuario puede interactuar con todas las funcionalidades brindadas por los módulos diseñados, obtener las lecturas de las variables medidas y tomar acciones de control inmediato.

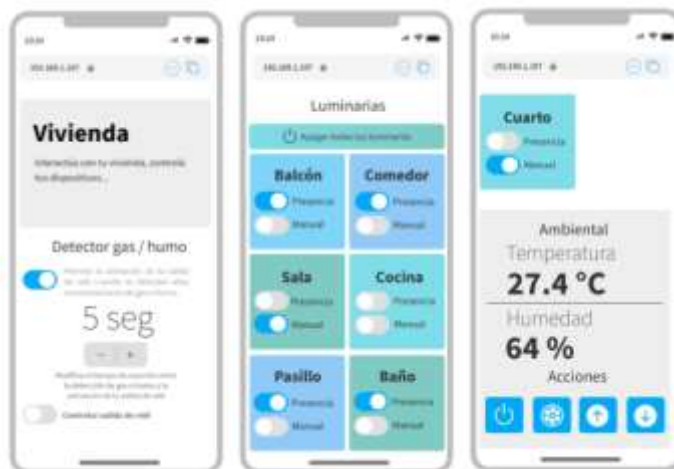


Figura 4
Interfaz web para subred doméstica

4.4.- Resultados de implementación y simulación

El experimento práctico realizado para la comprobación del funcionamiento general del sistema, se basa en la construcción de una subred formada por la conexión de tres nodos, lo cual representa el eje fundamental del sistema domótico propuesto. Los resultados obtenidos son favorables, en lo que se refiere a estabilidad, velocidad y alcance de comunicación. Los tres nodos se mantienen conectados e intercambiando información durante todo el periodo de prueba. El tiempo de reconexión a la malla cuando se reinicia o desconecta de forma manual uno de los nodos es de 10 – 20 segundos, y la subred se forma automáticamente en menos de 30 segundos cuando se inician todos los dispositivos. El enrutador inalámbrico empleado en este caso es un TP-LINK N ADSL2+ de 150Mbps, y su conexión con el nodo base es rápida y estable, incluso después de eventos de reiniciado. El acceso a internet del enrutador no se ve afectado por el sistema desarrollado, ni la comunicación

entre los nodos cuando existen conexión a internet u otro dispositivo que no pertenezca a la subred. La página web es rápidamente accesible y desde cualquier dispositivo, mostrando un alto grado de adaptabilidad en los teléfonos celulares y PC utilizados. El sistema domótico es perfectamente utilizable desde dos clientes al mismo tiempo y los datos se actualizan correctamente en tiempo real, de forma paralela, en ambos navegadores. Los bloques de circuitos más importantes y de funcionalidades más específicas de los módulos diseñados para las subredes propuestas, fueron comprobados mediante simulaciones utilizando las herramientas software LTspice XVII y Proteus 8 Professional. Las simulaciones contribuyeron a seleccionar los valores correctos de los componentes, y los resultados obtenidos representan las funcionalidades y comportamientos esperados.

4.5.- Análisis económico del sistema propuesto

Para la instalación prevista en el apartamento en cuestión; se necesitan 14 módulos, 7 módulos para control de luminarias, 4 módulos medidores de corriente, un módulo de interfaz con el metrocontador, un módulo detector de humo y gas y un módulo de variables ambientales. No se tienen en cuenta los gastos de importación, y solo se recomiendan distribuidores y fabricantes de componentes electrónicos autorizados. El valor de gastos en materiales directos total es de \$ 389.05 USD, lo que representa un promedio de \$ 27.80 USD por dispositivo implementado. En un primer momento se necesitan adquirir 457 componentes diferentes, con un costo promedio por componente de \$ 1.40 USD. La Fig. 5 relaciona los gastos, por grupos de componentes, representados en un gráfico con relación al total de gastos en materiales directos.



Figura 5
Relación de costos de materiales directos

4.5.1.- Viabilidad e impacto de la propuesta

La propuesta de sistema domótico desarrollada busca añadir valor a nuevas propuestas constructivas desarrolladas en el país, así como mejorar la calidad de las existentes; promoviendo el ahorro, confort y seguridad en la vida cotidiana de los usuarios. La propia naturaleza descentralizada, modular e independiente del sistema definido, impacta favorablemente en sus aspectos económicos, de costo de fabricación y adquisitivos. Al constituir un sistema donde cada usuario puede adquirir o seleccionar que módulos y funcionalidades necesita, sin renunciar a la futura expansión de su sistema, brindando no solo un alto grado de flexibilidad en el funcionamiento tecnológico del sistema, sino también, asegurando que sea accesible a la gran mayoría de los usuarios. Permitiendo, además, el diseño y fabricación de dispositivos de diferentes gamas, calidad y durabilidad, teniendo en cuenta las características específicas de los componentes empleados. El diseño de módulos con instalaciones y montajes sencillos, como pauta general del sistema domótico desarrollado, contribuye en gran medida a la viabilidad de su implementación en disímiles escenarios domésticos. Las tecnologías, técnicas y modelos empelados pueden incorporarse fácilmente a nuevas esferas de automatización, domótica e inmótica, como oficinas, instalaciones hoteleras, edificios o pequeños procesos industriales.

5.- CONCLUSIONES

El diseño de módulos con instalaciones y montajes sencillos, como pauta general del sistema domótico desarrollado, contribuye en gran medida a la viabilidad de su implantación en disímiles escenarios domésticos. Las tecnologías, técnicas y modelos utilizados pueden incorporarse fácilmente a nuevos ámbitos de la automatización, la domótica y la automatización de edificios, como oficinas, instalaciones hoteleras, edificios o pequeños procesos industriales. El análisis de los resultados técnicos y económicos del proyecto de investigación realizado es satisfactorio. Se verificaron correctamente las interacciones fundamentales, en cuanto a modelos de comunicación, operación e información. La dinámica de conexión convive a la perfección con el entorno tecnológico de un hogar moderno, sin perjudicarse ni verse afectado por otro tipo de conexiones a la red WLAN del enrutador. Este proyecto representa un gran aporte a la experiencia en un nuevo ámbito relacionado con el Proyecto Habitacional en Cuba.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la oportunidad y colaboración brindada por los Proyectos Nacionales de Vivienda de la CUJAE y el Proyecto para el Perfeccionamiento del proceso de la enseñanza y aprendizaje de la instrumentación en la Carrera de Ingeniería en Automática. La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba bajo el código PN223LH004-014”.

REFERENCIAS

1. Z.Y. e. al. A survey on trust management for Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014: 120-134.
2. Mestre JR, Álvarez I, Pina DM. Herramientas para el diseño de un sistema inmótico en el bloque habitacional de un hotel cinco estrellas plus. *Journal of Engineering and Technology for Industry Applications*; 2018, 4(13): 166-175.
3. Chakma, Rocky & Alam, M. & Mahtab, s.s. PLC Based Energy-Efficient Home Automation System with Smart Task Scheduling. Ponencia presentada en: IEEE Sustainable Power & Energy Conference (iSPEC). Energy Internet Research Institute, Tsinghua University; Beijing; China; 2019.
4. Marquez AF. Diseño e implementación de un prototipo de sistema domótico básico. Tesis de Maestría: Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”; 2018.
5. Froiz MI, Fernández Caramés TM, Fraga Lamas P, Castedo, L. Design, Implementation and Practical Evaluation of an IoT Home Automation System for Fog Computing Applications Based on MQTT and ZigBee-WiFi Sensor Nodes. *Sensors*. 2018; 18(8): 26-60.
6. Gunpath S, Murdan AP, Oree V. Design and implementation of a low-cost Arduinobased smart home system. In *Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*. Guangzhou; China; 2017.
7. Singh U, Ansari MA. Smart Home Automation System Using Internet of Things. In *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*. Noida; India; 2019.
8. Atmel Corporation. 8-bit AVR Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash [Datasheet]. California (USA); 2016. Disponible en <https://www.microchip.com/>
9. Ai-Thinker Technology Co. ESP-12F Wi-Fi Module V 1 [Datasheet]. Shenzhen (China); 2018. Disponible en <https://docs.ai-thinker.com/>
10. Syafa’Ah L, Minarno AE, Sumadi FDS, Rahayu DAP. ESP8266 for Control and Monitoring in Smart Home Application. In *Proceedings of the 2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE)*. Jember; Indonesia; 2019.
11. Espressif Systems Inc. ESP8266EX V 6.6 [Datasheet]. Shanghai (China); 2020.
12. TECHBASE Group Sp. z o.o. ModBerry. Symbiosis of RaspberryPi and ESP32 in one device [online]; [Accedido el 10 de diciembre de 2021]. Disponible en <https://modberry.techbase.eu/news/symbiosis-raspberrypi-esp32-one-device/>
13. Joshi J, Rajapriya V, Rahul S.R, Kumar P, Polepally S, Samineni R, Kamal Tej, DG. Performance enhancement and IoT based monitoring for smart home. In *Proceedings of the International Conference on Information Networking (ICOIN)*. Da Nang; Vietnam; 2017.

14. Soltanmohammadi E, Ghavami K, Naraghi-Pour MA. Survey of Traffic Issues in Machine-to-Machine Communications over LTE. IEEE Internet Things Journal; 2016, 3(6).
15. Kodali RK, Soratkal S. MQTT based home automation system using ESP. In Proceedings of the 2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC). Agra; India; 2000.
16. Fraga Lamas P, Castedo Ribas L, Morales-Méndez A, Camas-Albar JM. Evolving military broadband wireless communication systems: WiMAX, LTE and WLAN. In Proceedings of the International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS), Brussels; Belgium; 2016.
17. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor; [Accedido el 3 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.ti.com>
18. TMP36 Low Voltage Temperature Sensor; [Accedido el 27 de septiembre de 2022]. Disponible en <http://www.tayao.com.tw>
19. DHT11: Digital Temperature and Humidity Sensor. BME280: Humidity Sensor, barometric pressure and ambient temperature; [Accedido el 22 de septiembre de 2022]. Disponible <https://naylormechanics.com>
20. Hall Effect Base Linear Current Sensor WCS1800; [Accedido el 19 de septiembre de 2022]. Disponible en <http://www.winson.com.tw>
21. Split core current transformer SCT013; [Accedido el 17 de septiembre de 2022]. Disponible en <http://www.yhdc.com>
22. Doppler radar motion sensor RCW-0516. PIR motion detector HC-SR501; [Accedido el 9 de septiembre de 2022]. Disponible en <http://www.filipeflop.com>
23. Cadmium sulfide or light dependent resistor CDS-55LDR; [Accedido el 3 de septiembre de 2022]. Disponible en <http://www.farnell.com>
24. Digital ambient light sensor BH1750; [Accedido el 2 de septiembre de 2022]. Disponible en <http://www.adafruit.com>
25. Jabbar WA, Alsibai MH, Amran NSS, Mahayadin SK. Design and Implementation of IoT-Based Automation System for Smart Home. In Proceedings of the International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC). Rome; Italy; 2018.
26. Sri M, Silva GV, Prisma M, Andino M. Design and Analysis of DC Electrical VoltageCurrent Data Logger Device Implemented on Wind Turbine Control System. Journal of Robotic and Control (JRC); 2020, 1(3).
27. Khwanrit R. Accuracy comparison and auto-calibration algorithm of present low-cost current sensors for building energy monitoring. Tesis de Maestría: Sirindhorn International Institute of Technology Thammasat University Academic; 2017.
28. Stolojescu-Crisan C, Crisan C, Butunoi, BP. An IoT-Based Smart Home Automation System. Sensors; 2021, 21(11).
29. Huddleston C, Perrin B, Hyder K, Arnold K, Gentile R, Katz DJ, Edwards L, Eady D, Noergaard T, Ganssle J. Embedded Hardware. Know it All. Burlington (MA): Elsevier Inc.; 2018.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores, ni con ninguna institución a la que cada uno está afiliado, ni con ninguna otra institución. Las opiniones expresadas aquí son únicamente responsabilidad de los autores y no representan la posición de la Institución o las instituciones a las que están afiliados.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Luis Miguel Pérez Fernández: Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Recursos, Software, Validación -Verificación, Visualización y Redacción- borrador original.

Adriana Virginia Acosta Corzo: Curación de datos, Investigación, Recursos, Software y Validación-Verificación, Administración de proyecto.

Adrián Rodríguez Ramos: Conceptualización, Análisis formal, Metodología, Administración de proyecto, Supervisión y Redacción – revisión y edición.

Luis Manuel Rodríguez Rodríguez: Conceptualización, Administración de proyecto, Metodología y Supervisión.

AUTORES

Luis Miguel Pérez Fernández, Ingeniero en Automática. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba. Email: luismiguel2462@gmail.com. No. ORCID: 0000-0002-8011-1282. Sus intereses de investigación se orientan hacia las plataformas de código abierto.

Adriana Virginia Acosta Corzo, Ingeniera Electricista en la especialidad de “Técnica de medición de la información” (Instituto Politécnico de Leningrado” Mijaíl I. Kalinin”. Rusia.). Master en Ciencias de ingeniería. Doctora en Automática. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, (CUJAE), La Habana, Cuba. Email: adriana.virginia@automatica.cujae.edu.cu. No. ORCID 0000-0002-4810-316X. Sus intereses de investigación se orientan hacia el control predictivo no lineal dedicado a la eficiencia energética en edificios hoteleros y el perfeccionamiento de la enseñanza de la instrumentación, empleando herramientas de código abierto.

Adrián Rodríguez Ramos, Ingeniero en Automática. Máster en Modelación Matemática Aplicada a la Ingeniería. Doctorado en Ciencias Técnicas. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba. Email: adrianrr@automatica.cujae.edu.cu. No ORCID 0000-0002-0240-7491. Sus intereses de investigación se orientan hacia la inteligencia artificial y el diagnóstico de fallos en proceso industriales.

Luis Manuel Rodríguez Rodríguez, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. ETECSA, La Habana, Cuba. Email: luism.rodriguez@etecsa.cu. No. ORCID: 0000-0001-5723-4658. Sus intereses de investigación se orientan hacia la programación, simulación y optimización de procesos.



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)