

Diseño e implementación de un sistema de control domótico residencial

Design and implementation of a residential domotic control system

DOI: 10.17981/ladee.03.01.2022.3

Fecha de recibido 07/03/2022. Fecha de aceptado 12/04/2022

Alejandro Pozo Pérez

Universidad de Oriente. Santiago de Cuba (Cuba)
benitez.israel@gmail.com

Israel Benítez Pina 

Universidad de Oriente. Santiago de Cuba (Cuba)
benitez.israel@gmail.com

Para citar este artículo:

A. Pozo e I. Benítez, “Diseño e implementación de un sistema de control domótico residencial”, *LADEE*, vol. 3, no. 1, pp. 31–39, 2022. <https://doi.org/10.17981/ladee.03.01.2022.3>

Resumen— Los sistemas domóticos representan un enfoque eficiente para promover el ahorro de energía en el sector residencial. Esto es de especial importancia en Cuba, donde el sector residencial representa el 53% del consumo. No obstante, los sistemas domóticos son costosos, lo que limita su aplicación. Este trabajo desarrolló un sistema domótico de bajo costo para monitorear y controlar sistemas de confort, seguridad, y consumo de energía en una vivienda. El sistema se aplicó en una vivienda a escala, donde funcionó de forma satisfactoria. El sistema diseñado en este estudio tiene un costo equivalente al 22.2% del costo de un sistema domótico con tecnología convencional.

Palabras clave— Domótica; eficiencia energética; edificaciones; consumo de electricidad residencial

Abstract— Domotic systems are an efficient approach to promote energy efficiency in the residential sector. This is especially important in Cuba, where the residential sector accounts for 53% of the electricity consumption. However, domotic systems are costly, which is a limiting factor for their application. This study developed a low-cost domotic system for monitoring and control comfort, security, and energy consumption aspects in households. The system was implemented in a scaled household, with satisfactory results. The system designed account for a cost equivalent to 22.2% of the cost of a domotic system developed with conventional technology.

Keywords— Domotic; Energy efficiency; buildings; residential electricity consumption

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, diferentes desarrollos se han enfocado en centralizar órdenes y funciones en sistemas automáticos [1], [2], [3]. Estos desarrollos se han enfocado en evitar tareas repetitivas, enfatizando en evitar tareas repetitivas e incómodas. La domótica entonces busca, minimizando las intervenciones del usuario, armonizar el funcionamiento de equipos electrodomésticos en viviendas y edificaciones, maximizando su utilidad mediante el uso de sistemas inteligentes [4], [5], [6], [7].

En la actualidad los sistemas domóticos de alta complejidad son muy costosos, por lo que en general su aplicación se limita a residencias de lujo [8], [9], [10]. No obstante, el abaratamiento de los costos de la tecnología permitirá en el futuro próximo mayor accesibilidad a estos sistemas. Una alternativa más económica a las tecnologías tradicionales es el uso de placas Arduino [11]. En cuanto a la gestión energética, la domótica se enfoca reducir el consumo de electricidad, auxiliándose en el uso de temporizadores, sensores y elementos programables:

- *Racionalización de cargas eléctricas:* Uso de dispositivos los cuales permitan conectar o desconectar equipos de forma selectiva en función del consumo eléctrico, evitando que se interrumpa el suministro de energía por actuación de las protecciones.
- *Iluminación zonificada o en función de la luz natural:* Uso de detectores de presencia o de interruptores crepusculares.
- *Ahorro de energía:* Por medio de acumuladores de carga durante la puesta en marcha de equipos determinados en horas de tarifa reducida.
- *Climatización programada y zonificada:* En función de la ambientación interior y exterior, la ocupación de espacios, estado técnico de ventanas u otros criterios técnicos y constructivos.
- *Manejo de curvas de demandas:* Proporcionar información del consumo y el costo para las tarifas de agua, gas y electricidad.
- *Conexión y desconexión de equipos por presencia o de manera temporizada.*
- *Regulación de temperaturas por zonas.*
- *Desconexión automática equipos y sistemas cuando no se estén usando.*

Cuba es un país con recursos energéticos limitados el cual depende significativamente de la importación de energía para satisfacer la demanda nacional [12], [13]. En particular, el 98% de la energía primaria usada en la generación de electricidad son combustibles fósiles (petróleo y gas natural) [14]. Por otra parte, el sector residencial representa el 53% del consumo eléctrico nacional [14]. Por consiguiente, el desarrollo de estrategias y tecnologías de ahorro energético en el sector residencial es de especial interés en el país. Por consiguiente, este estudio se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de control domótico utilizando placas Arduino y otros dispositivos, como sensores, actuadores y visualizadores de bajo costo [9].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Las instalaciones modernas incluyen nuevas exigencias referidas al confort, la seguridad, el ahorro de energía, las telecomunicaciones, etc [15], [16].

En una vivienda domótica, los componentes fundamentales de son:

1. Sensores.
2. Controladores.
3. Actuadores.

En este caso, en la secuencia básica de funcionamiento los sensores captan la información (datos del hogar). La información captada por los sensores es posteriormente enviada a los controladores, los cuales en función de su valor deciden si es necesaria o no una actuación. En el caso en que sea necesaria una acción de control, se envía la orden a los actuadores, activando el funcionamiento del dispositivo correspondiente en el hogar [9], [11].

En este estudio se desarrolla un sistema domótico que cumpla con los siguientes requisitos:

- *Simplicidad y facilidad*: El sistema de control debe adecuarse al usuario final, con una interfaz de usuario sencilla e intuitiva aumentar el aumento el confort.
- *Diseño modular*: Adecuar la estructura física del sistema al tipo de edificación para evitar afectaciones a la estructura constructiva. Adicionalmente, el diseño debe ser fácil de ampliar para incluir nuevos servicios para satisfacer las necesidades del usuario.
- *Flexibilidad y costos moderados*: Debe prever posibles ampliaciones y modificaciones futuras, minimizando el costo y esfuerzo requeridos.
- *Integridad*: Los subsistemas deben estar integrados y con capacidad para comunicarse con otras áreas de gestión de la edificación, permitiendo así el intercambio de información y la ejecución de las tareas requeridas.

A. Sistema de control domótico

Para evaluar el desempeño del sistema domótico, se utiliza un modelo a escala de una vivienda (Fig. 1). La vivienda en este caso incluye los elementos descritos en la Tabla 1.



Fig. 1. Modelo a escala de una vivienda.
Fuente: Elaboración propia.

TABLA 1. ELEMENTOS DE LA VIVIENDA EXPERIMENTAL.

Elemento	Cantidad
Maqueta de 2 pisos y 6 secciones	1
Parcela de tierra	1
Lámina de acrílico (10 × 15 mm)	1
Manguera ($d = 6$ mm, $L = 1$ m)	1
Cisterna (2 L)	1
Base y tanque elevado (1 L)	1

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, los lazos de control se ubicaron en:

- *Control de luces interiores*: Encendido automático de las luces (ubicado en espacios intermedios entre el primer y segundo piso).
- *Control de luces exteriores*: Encendido automático de las luces (ubicado en sección izquierda de la terraza).

- *Control de temperatura:* Mantener la temperatura en un rango que garantice el confort (ubicado en los extremos del primer piso).
- *Control de gas natural:* Activar una alarma en caso de fuga de gas (ubicado en sección derecha del segundo piso).
- *Control de humedad del suelo:* Controlar la humedad en un rango usando el regadío del jardín (ubicado en la sección central de la terraza).
- *Control del nivel de agua:* Controlar el nivel en un rango usando una bomba de agua controlada por el sistema domótico (ubicado en sección derecha).

III. RESULTADOS

En los resultados se comparan los costos de un sistema domótico convencional y un sistema basado en Arduino.

A. Lazo de control de luces interiores

En este lazo (Fig. 2), cuando los sensores de movimiento detectan la presencia de una persona en una o varias áreas, el controlador envía una señal cerrando el circuito de luces interiores en el área o las áreas donde se detectó el movimiento. Este lazo se probó realizando movimientos en las áreas de la vivienda a escala, evaluando el encendido de las luces.

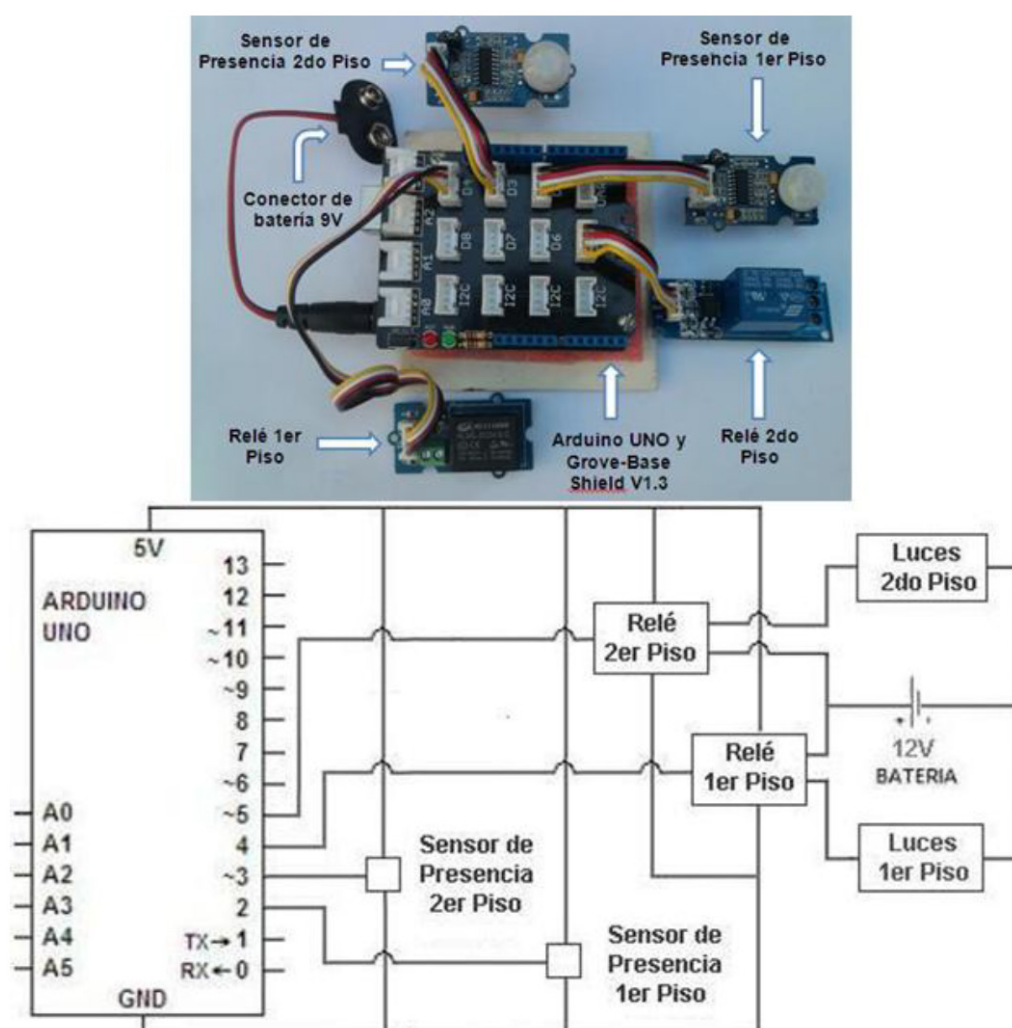


Fig. 2. Esquema eléctrico del lazo de control de movimiento para el circuito de luz interior.
Fuente: Elaboración propia.

B. Lazo de control de luces exteriores

Este lazo (Fig. 3), activa la luz exterior cuando se detecta una iluminancia inferior a los 200 lux. En ese caso el controlador emite una señal cerrando el circuito de iluminación exterior, encendiendo las luces. En caso contrario, el controlador no envía señal (si el circuito está abierto), o envía una señal abriendo el circuito (si el circuito está cerrado). Este lazo se probó tapando la luz sobre la maqueta, evaluando el encendido de la luz exterior.

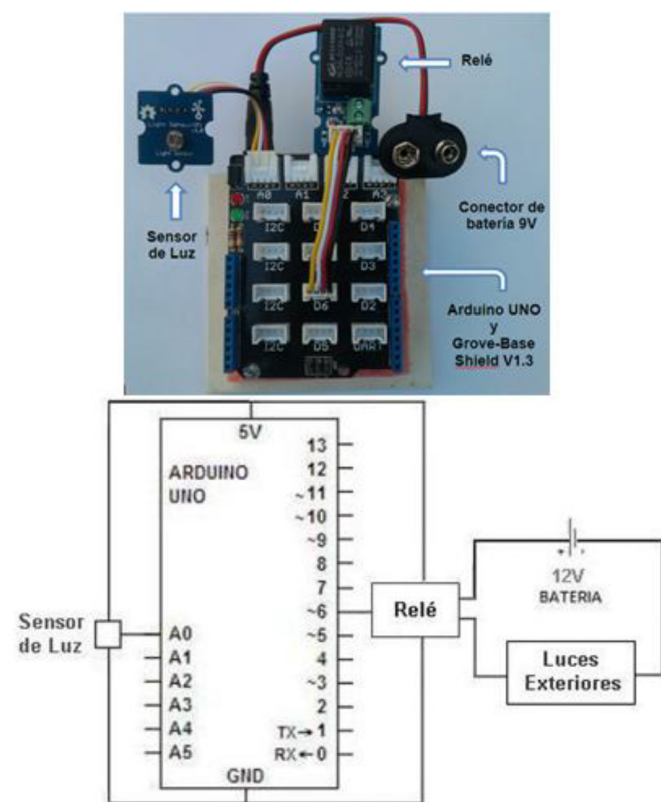


Fig. 3. Esquema eléctrico del lazo de iluminancia de luz exterior.
Fuente: Elaboración propia.

C. Lazo de control de temperatura

Este lazo (Fig. 4), busca mantener la temperatura en un rango entre 32°C y 35°C usando un sensor de temperatura analógico. Cuando se detecta una temperatura superior a la máxima establecida, el controlador envía una señal cerrando el circuito de ventilación para que el sistema comience a funcionar. Una vez que la temperatura baja al mínimo establecido, el controlador envía una señal abriendo el circuito de ventilación. Este lazo se evaluó en condiciones ambientales.

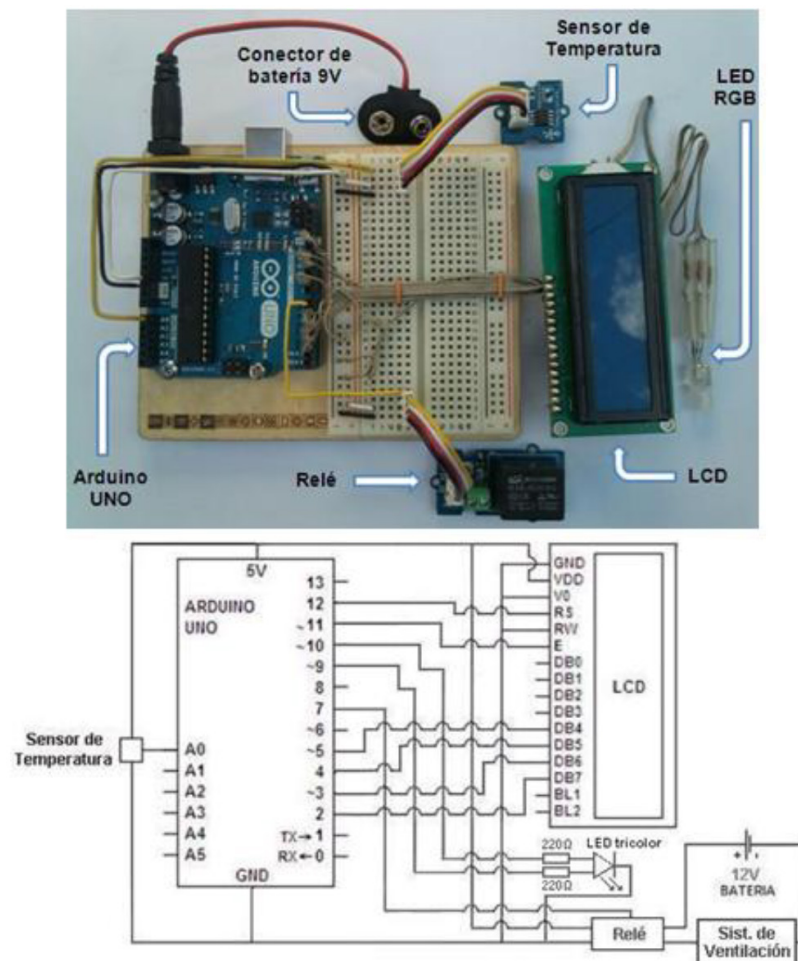


Fig. 4. Esquema eléctrico del lazo de control de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.

D. Lazo de control de gas natural

Este lazo (Fig. 5), usa un sensor de gas que detecta concentraciones de 300 ppm a 10000 ppm. En este caso, el lazo emite una alarma de alerta para valores mayores a 300 ppm, e indica en una pantalla el valor de la concentración de gas detectada. En este caso, se usó una fuente de gas natural, para simular fugas en la vivienda a escala.

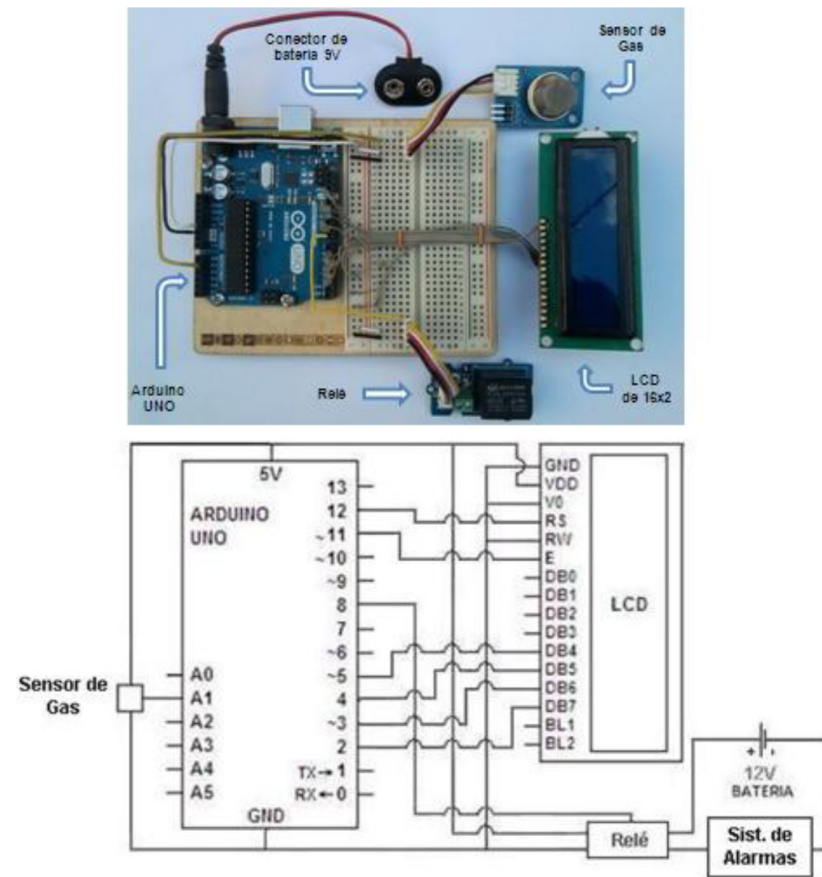


Fig. 5. Esquema eléctrico del lazo de gas natural.
Fuente: Elaboración propia.

E. Lazo de control de humedad del suelo

Este lazo (Fig. 6), controla la humedad del suelo en el jardín usando una electroválvula. En este caso, la placa Arduino convierte el voltaje recibido del sensor a un número equivalente entre 0 y 1023. El suelo húmedo se define para un valor entre 300 y 700. Cuando la humedad del suelo disminuye por debajo del límite inferior, el controlador envía una señal de control abriendo la electroválvula. El controlador envía otra señal de control para cerrar la electroválvula una vez que la humedad alcanza el límite máximo definido. Este lazo se evaluó en condiciones ambientales.

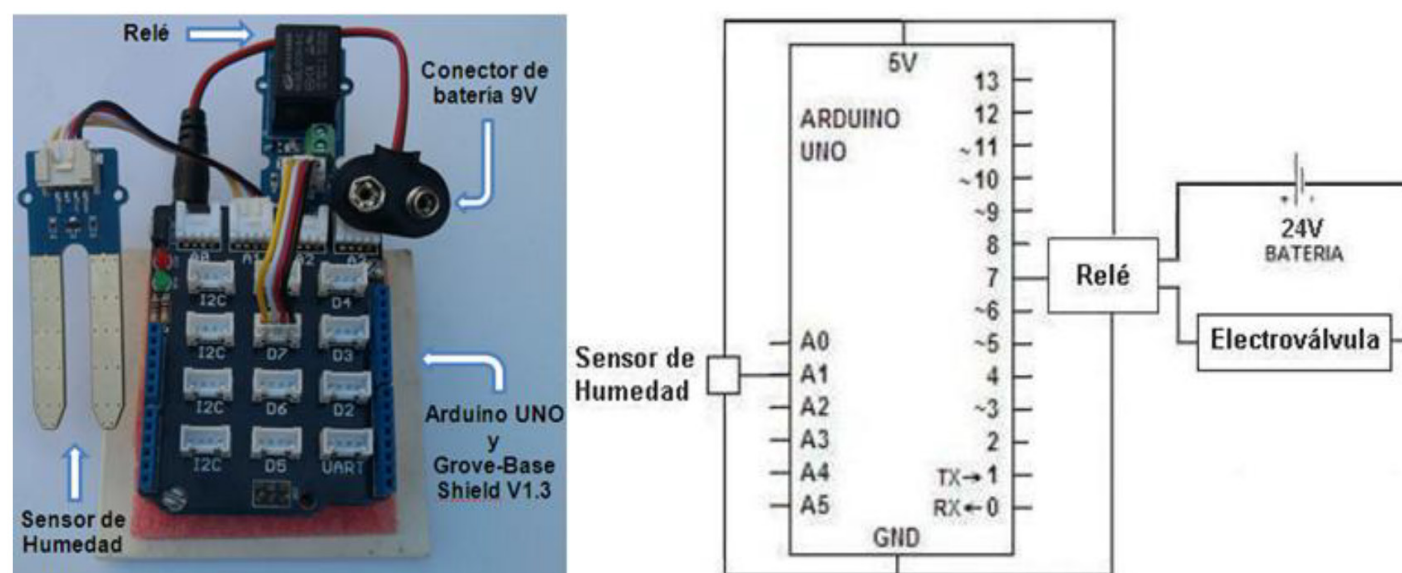


Fig. 6. Esquema eléctrico del lazo de control de humedad del suelo.
Fuente: Elaboración propia.

F. Lazo de control de nivel de agua

Este lazo (Fig. 7), controla el nivel del tanque de agua para mantenerlo en un rango usando una bomba de agua controlada por la placa Arduino UNO. El lazo cuenta con dos sensores de agua analógicos que detectan el nivel máximo y mínimo definidos en el tanque. Cuando se detecta un nivel bajo de agua, la bomba se activa, una vez que se alcanza el nivel máximo el controlador envía una señal de control interrumpiendo la alimentación de la bomba. Este lazo se evaluó abriendo la salida del tanque de agua a escala, evaluando la respuesta del sistema cuando el tanque alcanzaba el límite inferior (encendido de la bomba de agua) y cuando alcanzaba el límite superior (apagado de la bomba de agua).

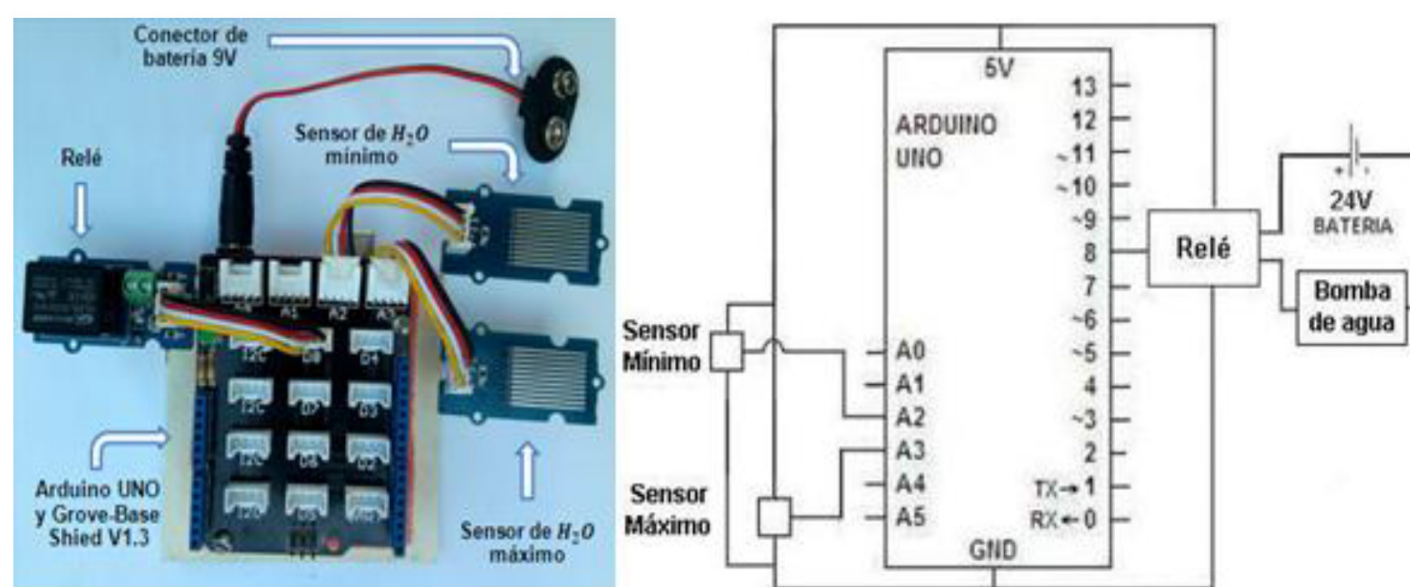


Fig. 7. Esquema eléctrico del lazo de control de nivel.
Fuente: Elaboración propia.

G. Costos económicos del sistema

Los elementos usados en el sistema domótico y sus costos se muestran en la Tabla 2. Por otra parte, la Tabla 3 muestra los costos económicos requeridos para desarrollar un sistema domótico usando tecnologías convencionales. Los resultados muestran que desarrollar el sistema domótico usando la placa Arduino requiere el 22.2% de los costos que se necesitan para desarrollar un sistema domótico con tecnología convencional.

TABLA 2. COMPONENTES DEL SISTEMA DOMÓTICO BASADO EN ARDUINO.

Elemento	Cantidad	Costo (€/unidad)	Costo total (€)
Tarjeta Arduino Uno Rev3	2	23	46
Shield Arduino Base CyL V1.3	1	21.01	21.01
Módulo LCD Serie 16x2 CyL	1	26	26
Módulo Sensor PIR CyL	2	17	34
Módulo sensor de gas y humo MQ-2 CyL	1	13	13
Módulo sensor de humedad Suelo CyL	1	11.5	11.5
Módulo sensor de temperatura CyL	1	6	6
Módulo Sensor de Agua CyL	2	6	12
Módulo Sensor de Luz CyL	1	6	6
Módulo Relé 5V CyL	6	6	36
Breadboard	1	5	5
Batería 9V	2	4.5	9
Total	-	-	225.51

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 3. COMPONENTES DEL SISTEMA DOMÓTICO CONVENCIONAL.

Elemento	Cantidad	Costo (€/unidad)	Costo total (€)
Relé Inteligente compacto de Zelio Logic 20 E/S	2	201.99	403.98
Detector de movimiento BLAUPUNKT IR-S1L	2	68.99	137.98
Detector de gas doméstico DD-4015	1	87.27	87.27
Sensor de la sonda VH400-10M de humedad del suelo	1	52.95	52.95
Sensor de Temperatura BLAUPUNKT TS-S1	1	68.99	68.99
Sensor de Agua BLAUPUNKT WS-S1	2	84.91	169.82
Sensor de luminosidad 0-10V	1	96.68	96.68
Total	-	-	1017.67

Fuente: Elaboración propia.

H. Validación del sistema

Se probaron los diferentes lazos de control bajo las condiciones definidas anteriormente. La vivienda a escala se mantuvo en funcionamiento durante 24 h para evaluar la respuesta de los diferentes lazos de control del sistema domótico. Los resultados muestran que todos los lazos funcionaron correctamente, respondiendo adecuadamente a las diferentes situaciones para las que fueron diseñados (Tabla 4). Por consiguiente, el sistema domótico diseñado.

TABLA 4. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LOS LAZOS DE CONTROL DEL SISTEMA DOMÓTICO.

Lazo de control	Comentarios
Luces interiores	Las luces interiores se encendieron cada vez que se desarrolló movimiento en cada una de las áreas de la vivienda a escala. Las dos áreas se encendieron simultáneamente cuando se realizaron movimientos simultáneos en ambas.
Luces exteriores	Las luces exteriores se encendieron cada vez que se bloque la luz exterior.
Temperatura	El sistema de ventilación se activó cada vez que el lazo medía temperaturas de 35°C, apagándose al medir temperas de 32°C.
Gas natural	La alarma de fuga se activó cada vez que se libera gas simulando una fuga.
Humedad del suelo	El lazo activó el sistema de riego al activar el sistema domótico. El sistema volvió a activarse a las 8.4 h nuevamente, cuando el suelo se había secado a una humedad inferior al límite definido.
Nivel de agua	El lazo de control activó la bomba de agua cada vez que el agua alcanzó el límite inferior en el tanque. Por otra parte, cuando el tanque alcanzaba el límite superior, la bomba se apagaba.

Fuente: Elaboración propia.

IV. CONCLUSIONES

El uso de la placa Arduino UNO permite desarrollar un sistema domótico a un costo equivalente al 22.2% comparado con un sistema convencional. El sistema diseñado, al controlar el encendido y apagado de los sistemas energéticos, permite desarrollar e implementar medidas de ahorro energético. Adicionalmente, el sistema permite garantizar condiciones de confort y de seguridad residencial.

REFERENCIAS

- [1] W. Li, T. Yigitcanlar, I. Erol & A. Liu, “Motivations, barriers and risks of smart home adoption: From systematic literature review to conceptual framework,” *Energy Res Soc Sci*, vol. 80, no. 2, pp. 102211–102211, Oct. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2021.102211>
- [2] J. Nuñez, I. F. Benítez Pina, A. Rodríguez, S. Díaz & D. Luiz, “Tools for the Implementation of a SCADA System in a Desalination Process,” *IEEE Lat Am Trans*, vol. 17, no. 11, pp. 1858–1864, Nov. 2019. <https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8986424>
- [3] J. R. Nuñez-Álvarez, I. F. Benítez-Pina & Y. Llosas-Albuérne, “Communications in Flexible Supervisor for Laboratory Research,” presented at, *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng*, vol. 844, Expotecnología, CTG, CO, 30 Oct. - 1 Nov. 2019, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012016>

- [4] G. P. R. Filho, L. A. Villas, V. P. Gonçalves, G. Pessin, A. A. F. Loureiro & J. Ueyama, “Energy-efficient smart home systems: Infrastructure and decision-making process,” *IoT*, vol. 5, no. 1, pp. 153–167, Mar. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.IOT.2018.12.004>
- [5] A. K. Singh, S. Agrawal, S. Agarwal & D. Goyal, “Low-Cost and energy-efficient smart home security and automation,” in *Computational Network Application Tools for Performance Management*, M. Pant, T. K. Sharma, S. Basterrech and C. Banerjee, Eds. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2020, pp. 95–108. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-32-9585-8_10
- [6] J. Andramuño, E. Mendoza, J. Núñez & E. Liger, “Intelligent distributed module for local control of lighting and electrical outlets in a home,” presented at *9th IC-MSQUARE*, vol. 1730, AIP Publishing, Tinos island, GR, 7-10 Sept. 2020, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1730/1/012001>
- [7] J. R. Nuñez, J. Mestre, J. J. Cabello, H. Dominguez, J. Fong, L. Peña, I. Benítez & D. De Oliveira, “Design of a Fuzzy Controller for a Hybrid Generation System,” *Expotecnología 2019*, Minciencias, CTG, CO, vol. 844, 30 Oct. - 1 Nov. 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012017>
- [8] K. Baraka, M. Ghobril, S. Malek, R. Kanj & A. Kayssi, “Low cost arduino/android-based energy-efficient home automation system with smart task scheduling,” presented at *5th CICSyN*, IEEE, MAD, ES, 5-7 Jun. 2013, pp. 296–301. <https://doi.org/10.1109/CICSYN.2013.47>
- [9] E. Mendoza, P. Fuentes, I. Benítez, D. Reina & J. Núñez, “Network of multi-hop wireless sensors for low cost and extended area home automation systems,” *RIAI*, vol. 17, pp. 412–423, Sep. 2020. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.12301>
- [10] E. Mendoza, J. Andramuño, J. Núñez & L. Córdova, “Human machine interface (HMI) based on a multi-agent system in a water purification plant,” presented at *10th IC-MSQUARE*, vol. 2090, AIP Publishing, GR (Virtual), 6-9 Sep. 2021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2090/1/012122>
- [11] E. Lledo, “Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino”, *Proyecto Final de Carrera*, UPV, VAL, ES, 2012. Disponible en <http://hdl.handle.net/10251/18228>
- [12] L. Vázquez, J. Luukkanen, H. Kaisti, M. Kähkönen & Y. Majanne, “Decomposition analysis of Cuban energy production and use: Analysis of energy transformation for sustainability,” *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 49, pp. 638–645, Sep. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.156>
- [13] T. Fletcher, “La revolución energética: A model for reducing Cuba’s dependence on Venezuelan oil,” *Int J Cuba Stud*, vol. 9, no. 1, pp. 91–116, 2017. <https://doi.org/10.13169/intejcubastud.9.1.0091>
- [14] ONEI, *Anuario Estadístico de Cuba 2020. Minería y energía*. La Habana, CU: ONEI, 2021. Disponible en <http://www.onei.gob.cu/node/16275>
- [15] A. R. Ricardo, I. F. Benítez, G. González & J. R. Nuñez, “Multi-agent system for steel manufacturing process,” *IJECE*, vol. 12, no. 3, pp. 2441–2453, Jun. 2022. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp2441-2453>
- [16] E. Mendoza, J. Andramuño, J. Núñez & I. Benítez, “Deliberative architecture for smart sensors in the filtering operation of a water purification plant,” presented at *9th IC-MSQUARE*, vol. 1730, AIP Publishing, Tinos Island, GR, 7-10 Sep. 2020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1730/1/012088>