

Ahorro energético y seguridad de viviendas controlado por un sistema domótico basado en hardware y software libre

Manuel Rogelio Nevárez Toledo¹
Pedro César Godoy Rosero²
Luis Alberto Herrera Izquierdo³

Autor para correspondencia: manuel.nevarez@pucese.edu.ec

¹ Coordinador del Laboratorio de Investigación Tecnologías e Innovación LITI. Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Sede Esmeraldas.

² Docente investigador. Laboratorio de Investigación Tecnologías e Innovación LITI. Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Sede Esmeraldas.

³ Colaborador del Laboratorio de Investigación Tecnologías e Innovación LITI. Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Sede Esmeraldas.

Manuscrito recibido el 14 de abril de 2014
Aprobado tras revisión 29 de junio de 2015

RESUMEN

La investigación realizada en el campo de la domótica tuvo como objetivo construir un equipo electrónico de control energético para reducir el consumo de energía en viviendas de clase media. En el proceso investigativo, se midieron las variables temperatura, nivel de iluminación y presencia de personas utilizando sensores en ambientes controlados. Los datos obtenidos permitieron realizar la programación del controlador principal para la toma de decisiones. Se utilizó el hardware y software libre (Arduino y Android), adaptando herramientas de uso común para minimizar su costo de ensamblado. El sistema integra un módulo de seguridad de la vivienda con sistema de alarma integrado al controlador principal mediante una aplicación móvil. Además, se implementó el control por comandos de voz de todos los actuadores de iluminación, climatización y seguridad orientado a personas con capacidades especiales. El prototipo construido fue instalado en el Laboratorio de Investigación, Tecnologías e Innovación (LITI) para su evaluación y diagnóstico dentro de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCE-SE). Como resultados de la investigación, se obtuvieron datos en los que se evidencia la disminución del consumo de energía eléctrica, se activaron y desactivaron las luminarias mediante comandos de voz y se probó la funcionalidad del equipo con personas de capacidades especiales.

Palabras claves: domótica, robótica, automatización, ahorro energético, seguridad.

ABSTRACT

The research performed in the field of home automation, was aimed at building electronic energy control equipment to reduce the energy consumption in middle class homes. In the research process, the following variables were measured: temperature, lighting levels and presence of people using sensors in controlled environments. The data obtained allowed the main programming controller to do the decision-making. Free Hardware and software (Arduino and Android) were used, while adapting common use tools to minimize the cost of assembly. The

system integrates a module of housing security with an alarm system integrated into the main controller through a mobile application. In addition, other features were implemented such as the voice command control of all actuators of lighting, climate control and security aimed at people with limited capabilities.

The prototype was built, was installed in the Research Laboratory, Technology and Innovation (disputed) for evaluation and diagnosis within the Pontifical Catholic University of Ecuador Emeralds Campus (PUCE-SE). As a result of the investigation, data showed that there was evidence of decline in the consumption of electrical energy, when the luminaires were activated and deactivated using voice command. Furthermore, the evidence showed the functionality of using a computer with people of special capacities.

Keywords: home automation, robotics, automation, energy saving and security.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación consiste en la implementación de un sistema domótico utilizando hardware y software libres, las funcionalidades del sistema son el ahorro energético y de seguridad domiciliaria. Con poca inversión y conocimiento de las nuevas herramientas tecnológicas se pueden diseñar dispositivos que mejoren la calidad de vida en las personas. El sistema domótico cuenta con un módulo para comandos de voz: la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2007) expresa que, con ello, personas con problemas de movilidad podrán realizar tareas cotidianas dentro de la vivienda.

Además, esta investigación tiene como objetivo reducir el consumo energético en gran parte de la iluminación en viviendas de clase media, considerando que el consumo de electricidad dentro del sector residencial se encuentra repartido en: iluminación 49%, electrodomésticos 46% y otros como computadoras, dispositivos electrónicos y pequeños electrodomésticos (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador, 2013).

Otra ventaja de la introducción de un sistema domótico se relaciona con la seguridad en las viviendas. Según la encuesta de victimización y percepción de la inseguridad del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - Inec (2011), 4 de cada 100 hogares han sido víctimas de robo a la vivienda: la implementación de sistemas domóticos podrá reducir este impacto.

Los módulos diseñados se pueden adaptar a cualquier tipo de vivienda para convertirla en domótica, la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2007) describe que "la domótica se aplica a la ciencia y a los elementos desarrollados por ella que proporcionan algún nivel de automatización o automatismo dentro de la casa" (p.16).

Sin adicionar dispositivos electrónicos y utilizando pocos recursos se brindan múltiples opciones al usuario del sistema de automatización domiciliaria, quien puede conectar hasta 8 equipos eléctricos, como luminarias, climatizadores, cerraduras eléctricas y puertas automáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se dividió en cuatro etapas, que consistieron en la adquisición de información, el diseño del prototipo, la construcción del control de potencia y el diseño de una aplicación móvil.

Adquisición de información

Se aplicaron 189 encuestas, dirigidas a los habitantes de viviendas de clase media en sectores de la zona urbana de la ciudad de Esmeraldas, para analizar las tendencias en el consumo energético y cuáles son los criterios que mantienen los habitantes respecto al consumo y eficiencia energética. Las encuestas se aplicaron en los siguientes barrios:

Barrio	Número de encuestas
Las Palmas y centro norte	48
Unidos Somos más, sector CODESA	47
Las Américas y centro sur	47
La Tolita y barrios del sur	47

Tabla 1.

Número de personas encuestadas por barrio urbano en la ciudad de Esmeraldas.

Fuente:

Manuel Nevárez, Pedro Godoy, Luis Alberto Herrera (2014)

El INEC presenta que en el cantón Esmeraldas existen 55.284 viviendas particulares (2010) y en la encuesta de estratificación del nivel socioeconómico (2011) establece que en la población del nivel B, el 98% de los hogares utilizan internet y el 26% de los jefes de hogar se desempeñan como profesionales de nivel medio, con ello se estima que nuestra población disminuye considerablemente a 14.374 viviendas.

Se eligieron estos 4 sectores ya que se concentran en viviendas de clase media ubicadas en el nivel B. Se crearon grupos de encuestadores para la obtención de la información en viviendas que cumplieran con los requerimientos del proyecto y, por tanto, se extrajo una muestra de 189 encuestados estimando la proporción de la población, aplicando la fórmula de la muestra para poblaciones infinitas, con un margen de confianza del 90%, margen de error del 6% y una probabilidad de éxito de 50%. Para el tamaño de la muestra, se identificaron los elementos poblacionales con una probabilidad equitativa y aleatoriamente, utilizando el muestreo aleatorio simple y sistemático (Namakforoosh, 2005)

Diseño del prototipo

De acuerdo a investigaciones realizadas por G-TeC (2012), los materiales utilizados para la construcción del prototipo son de uso comercial y se pueden adquirir localmente; la tecnología de control se basa en hardware Arduino y como herramienta adicional se diseñó una aplicación móvil bajo el sistema operativo Android (estas aplicaciones son comúnmente utilizadas en teléfonos inteligentes) (G-TeC, 2012).

El dispositivo controlador integró varios módulos: un microcontrolador que comanda todas las acciones secuenciales que interactúan con los sensores y un conjunto de actuadores del sistema automatizado que almacena todas las instrucciones de control, monitoreo y comunicación con dispositivos móviles. Los componentes principales son: un microcontrolador programable Arduino Mega, un módulo de 8 relés para el accionamiento de luminarias, un módulo emisor/receptor Bluetooth, un shield LCD 16x2, 6 sensores de movimiento piro eléctrico, un teclado hexadecimal y una fuente de poder dual de 5v, 12v dc.

El controlador principal contiene un Arduino Mega 2560, lleva 54 entradas/salidas digitales, 16 analógicas, memoria flash de 256 KB y velocidad de reloj de 16MHz (ARDUINO CC, 2015). Un módulo Bluetooth instalado permitió la comunicación con una aplicación en Android para el control inalámbrico y reconocimiento de voz. Relés de baja potencia conectados al Arduino sirven como acopladores con el módulo de potencia y para el control de alarmas y apertura remota de puertas. Las investigaciones de Evans (2007), indican que el sistema, además de contribuir con el ahorro energético, también adiciona características de seguridad electrónica. (Evans, 2007).

Figura 1.

Vista interior y exterior del módulo de control principal del sistema de control de ahorro energético (SCAE)

Fuente:

Manuel Nevárez, Pedro Godoy, Luis Alberto Herrera (2014)



Como se observa en la figura 1, el equipo contiene el controlador principal, módulos de relés y una tarjeta adicional para la interconexión de los sensores de movimiento. El teclado y la pantalla LCD 2x16 sirven como interfaz para el usuario, la contraseña para la activación de alarma e información del funcionamiento se muestra en la pantalla; la comunicación serial fue una ventaja para el análisis de las señales obtenidas y mostradas en un computador.

Construcción del control de potencia

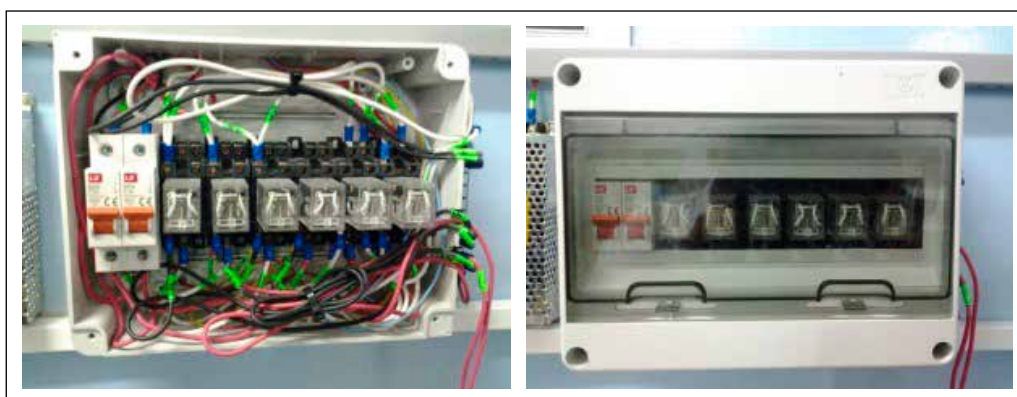
Este módulo interactúa directamente con el controlador y los dispositivos de potencia, las luminarias tienen un consumo elevado de corriente y por ello se adicionaron relés de mayor amperaje para disminuir la interferencia ocasionada por activación de luminarias y el ruido electromagnético producido por los relés. Este módulo contiene 6 relés de potencia y disyuntores de protección, ambos de 20 amperios; la conexión de estos dispositivos está diseñada en caso de fallos en el controlador principal, pasando de manera automática a modo manual, también posee un selector de modo manual y automático cuando esto se requiera.

Figura 2.

Vista interior y exterior del módulo de potencia.

Fuente:

Manuel Nevárez, Pedro Godoy, Luis Alberto Herrera (2014)



En la figura 2 se muestran los dispositivos electromecánicos de control (relé), los cuales conectan y desconectan las luminarias monitoreadas por el módulo principal, en el cual se encuentran programadas las secuencias de funcionamiento.

Software de control inalámbrico (aplicación móvil)

Se diseñó una interfaz de control inalámbrico que opera bajo el sistema operativo Android y que puede ser ejecutada en una tablet o teléfono inteligente de forma remota. Las aplicaciones de control inalámbrico según Axel Springer (2012) y Enríquez Herrador (2009) permiten desactivar los sensores de movimiento y controlar

luces y puertas de acceso a través de un módulo de voz instalado, que puede realizar las mismas acciones de modo táctil utilizando los botones.

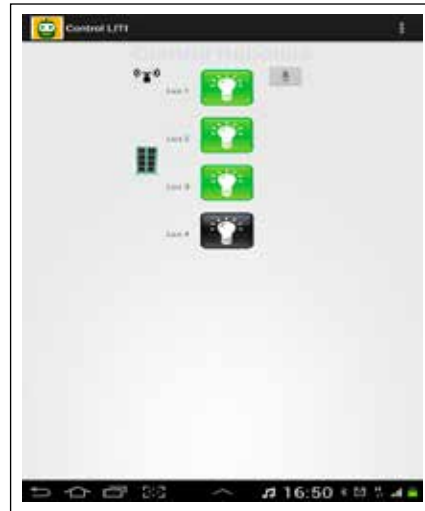


Figura 3. Aplicación en Android para el control del sistema (SCAE)

Fuente: Manuel Nevárez, Pedro Godoy, Luis Alberto Herrera (2014)

En la figura 3 se muestran cuatro botones para el control de luminarias, uno para la apertura de puertas, selectores para comandos de voz y desactivación de sensores de movimiento, el menú en pantalla sirve para la conexión inalámbrica y configuración.

Instalación

Los equipos fueron probados simulando señales inicialmente, las pruebas reales se realizaron luego de instalar el controlador y el módulo de potencia en el Laboratorio de Tecnologías e Innovación LITI-PUCE-SE; con ello se puso a punto el sistema en condiciones ambientales reales y, posteriormente, se realizaron las correcciones necesarias para su correcto funcionamiento. Esta tarea duró 28 días para su evaluación.

El laboratorio cuenta con dos áreas independientes, la primera contiene un pequeño equipo de climatización de 12000 BTU y dos luminarias de 80W; el área exterior tiene un equipo de climatización de 32000 BTU y 9 luminarias. Posteriormente se diseñó el sistema de fuerza para el control de los actuadores que permiten mayor consumo eléctrico. Sensores de movimiento (S1 a S6) y temperatura (T1 y T2) se ubicaron en sitios estratégicos del laboratorio. Los sensores de temperatura utilizados son los DS18B20, que tienen una precisión de 9 a 12 bits y contienen una identificación para ser usados en un bus de datos (explique qué es un bus de datos). Los sensores de movimiento instalados son de tipo piro eléctricos y tienen un rango de alcance de 6m y permiten regular su sensibilidad y alcance.

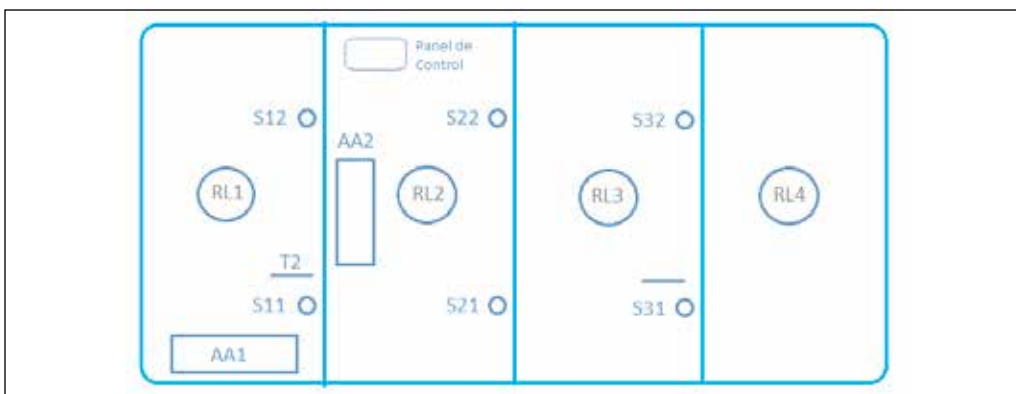


Figura 4. Ubicación de los sensores y actuadores dentro del ambiente controlado LITI.

Fuente: Manuel Nevárez, Pedro Godoy, Luis Alberto Herrera (2014)

La figura 4 presenta los dispositivos a controlar y la ubicación de los sensores. RL1 a RL4 son los relés de potencia que controlan los circuitos de iluminación IL1 a IL4 respectivamente, los sensores de movimiento S11 a S32 se ubicaron en puntos estratégicos y finalmente T1 y T2 monitorean los dos ambientes independientes.

RESULTADOS

Análisis de la encuesta

El 96% de la muestra encuestada tiene una clara definición del cambio climático y consumo eléctrico y al 93% les gustaría contar con un dispositivo que reduzca el costo de sus planillas eléctricas.

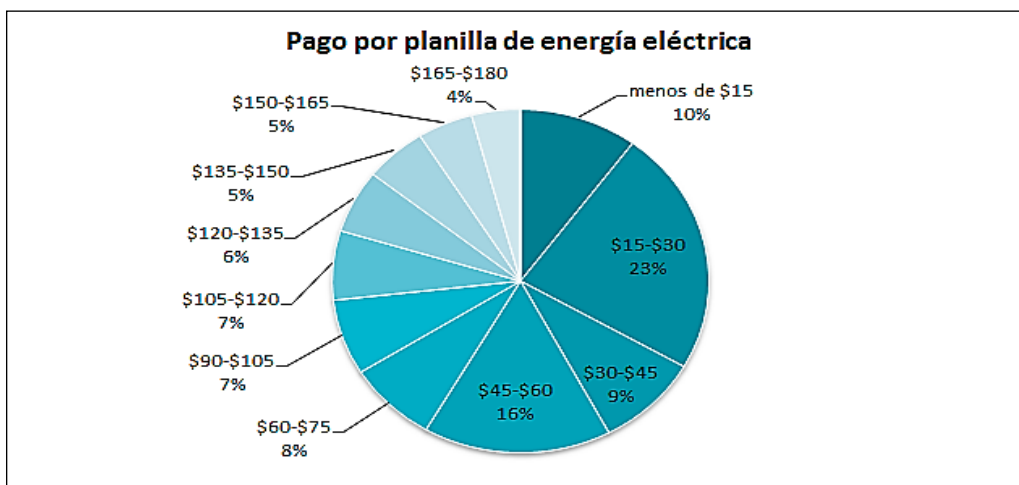


Figura 5.
Consumo eléctrico en viviendas de clase media, en dólares, por mes.
Fuente:
Encuesta (colocar el nombre de la encuesta)

La figura 5 muestra que el 23% de los encuestados consume entre 15 y 30 dólares, con ello la instalación del dispositivo podría minimizar este consumo

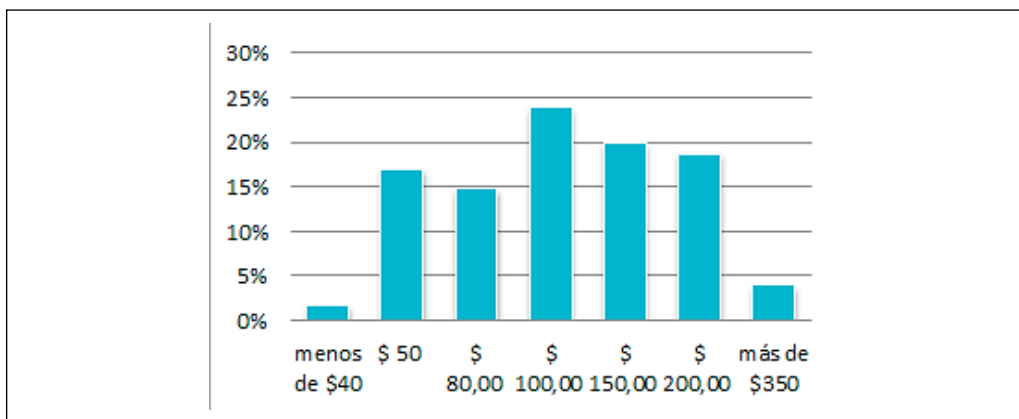


Figura 6.
Estimación del precio del dispositivo que los usuarios estarían dispuestos a cancelar.
Fuente:
Encuesta (colocar el nombre de la encuesta)

Los datos que aparecen en el gráfico 6 se tomaron como referencia para establecer el precio del dispositivo, encontrando un equilibrio entre las expectativas del usuario y los costos reales de producción e instalación. El 23% de los encuestados están dispuestos a pagar hasta 100 dólares por dispositivo.

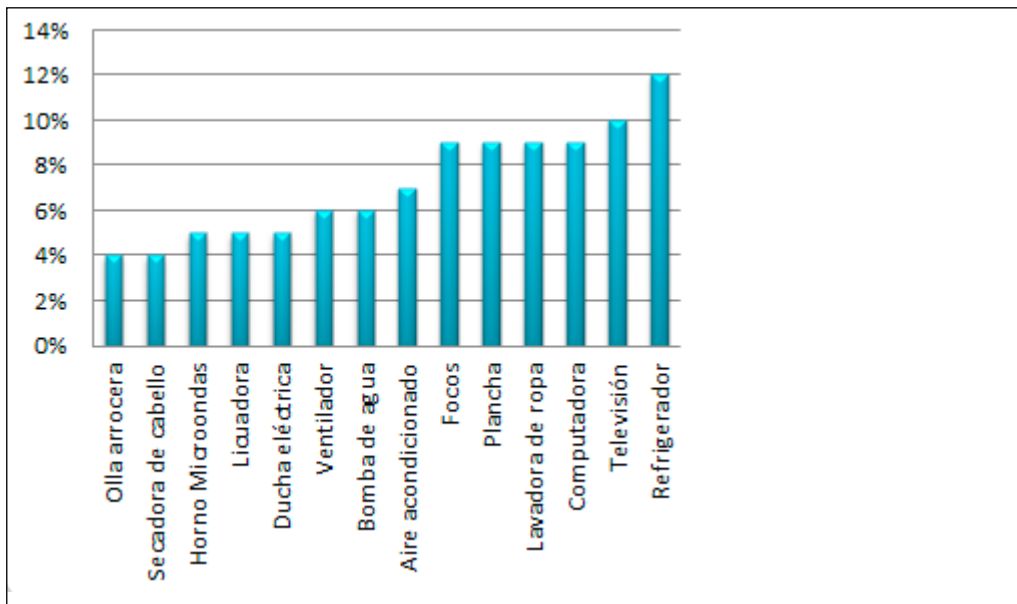


Figura 7. Estadística de aparatos con mayor consumo de energía en una vivienda.

Fuente: Encuesta encuesta sobre ahorro energético (2013)

Se puede afirmar según los datos obtenidos, mostrados en la figura 7, que las personas consideran que los artefactos eléctricos que contribuyen al consumo energético de la vivienda son: refrigeradoras (12%), televisión (10%), computadora (10%) y lavadora de ropa (10%). Con estos datos se diseñó el controlador para contribuir con el ahorro energético de la vivienda.

Diseño del controlador y adquisición de datos

El sistema de control se basó en hardware libre Arduino, que recibe las señales provenientes de los sensores de movimiento y temperatura para tomar decisiones en iluminación, climatización y control de acceso. Se adicionó un sistema de comunicación inalámbrico para el control y monitoreo de señales de forma remota, utilizando el sistema operativo Android con bluetooth, destinado para aplicaciones móviles (ARDUINO CC, 2015).

Los datos provenientes de los sensores ingresan a un computador por vía serial a través de un vector que contiene los estados de las señales; para su graficación se utilizó el software STAMPLOT, que es de licencia gratuita para educación y es una herramienta para la adquisición de señales digitales y analógicas. Este software solo es necesario para la investigación y no para el uso del dispositivo. También se obtuvieron las señales de temperatura (T1 y T2) de dos ambientes diferentes, esto permitió realizar los ajustes necesarios, ya que en ocasiones se observaron transiciones no deseadas en los estados del controlador que se solucionaron con esta adquisición de datos.

Las pruebas de comunicación inalámbrica se desarrollaron bajo el sistema operativo Android y un módulo bluetooth para Arduino, el accionamiento remoto necesitaba una opción para deshabilitar los sensores de movimiento, ya que estos responden a la presencia de personas para el accionamiento de la iluminación en forma automática. Un comando de reconocimiento de voz permitió accionar funciones similares, de esta manera personas con discapacidad podrían hacer uso de este sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existen muchos dispositivos conectados dentro de una vivienda que pueden consumir energía eléctrica innecesariamente. La iluminación y climatización son algunos de ellos; en oficinas e instituciones educativas y privadas se presenta este consumo innecesario. Las pruebas se realizaron en ambientes controlados dentro del LITI, con esto se pusieron a prueba los sensores de movimiento y temperatura, con una matriz de condiciones que ejecuta la secuencia de encendido de las luminarias. Esta implementación redujo considerablemente el consumo eléctrico del laboratorio, ya que los equipos instalados permanecen un menor tiempo encendido, solo se mantienen iluminadas las áreas de trabajo utilizadas y la climatización se apaga cuando no es necesaria. La programación de la secuencia de control se obtiene al analizar los estados de los sensores, de esto depende el encendido de las luminarias como indica la Tabla 3, mientras que la Tabla 4 indica la intersección de movimiento debajo de los sensores, permitiendo optimizar que luminarias se pueden encender simultáneamente, su funcionamiento lógico depende de varios factores, ya que el perímetro que cubre cada sensor depende de las luminarias que lo rodean, RL2, 3 y 4 representan los circuitos de iluminación.

Tabla 1.
Condiciones de encendido para iluminación de oficina (las entradas son S11 y S12, son sensores ubicados dentro de la oficina de los docentes)
Fuente:
Manuel Nevárez, Pedro Godoy, Luis Alberto Herrera (2014)

S11	S12	RL1
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabla 2.
Condiciones de encendido para luminarias en el laboratorio.
Fuente:
Manuel Nevárez, Pedro Godoy, Luis Alberto Herrera (2014)

S21	S22	S31	S32	RL2	RL3	RL4
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1
0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

La medición de temperatura no presentó problemas de corrección en su medición, ya que la lectura de los sensores DS18B20 con comunicación One Wire (protocolo de comunicación en una sola línea) permite conectar un maestro y

varios esclavos, esto permitió un envío de datos confiables y precisos, sin ninguna conversión adicional, a diferencia de los sensores LM35 que son analógicos.

Una de las aplicaciones adicionales permite el control de voz en los circuitos de iluminación, climatización y control de acceso, con ello personas con problemas en sus extremidades pueden hacer uso de esta aplicación (Axel Springer, 2012).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados el sistema domótico redujo el tiempo de uso de las luminarias y la climatización, permitió el ahorro energético y brindó seguridad. El sistema implementado tiene grandes beneficios para la sociedad, puesto que además de controlar y disminuir el consumo eléctrico, permite crear independencia en la manipulación de equipos eléctricos y electrónicos dentro de la vivienda, sobre todo a personas con discapacidades físicas, ayudándolos a desenvolverse fácilmente. Además el sistema en mención, está diseñado para implementar el control de alarmas de incendio, alertas de robo, alertas médicas, etc. El sistema modular puede modificarse dependiendo de las necesidades del usuario. La simulación de presencia en caso de ausencia de personas en la vivienda, puede contribuir a la seguridad de las zonas monitoreadas.

El hardware libre permite adaptar un módulo GSM con mensajería de texto o un punto de acceso a Ethernet que conectará la vivienda a la red a través de una aplicación web, Monk (2010) presenta en su obra proyectos interesantes que permiten acoplar nuevos elementos al controlador principal. Existen sistemas de cámaras IP que podrían utilizarse para el monitoreo, con una aplicación remota se podría controlar la vivienda en caso de ser necesario. Actualmente existen sistemas de video vigilancia a bajo costo, plug and play, fácil de instalar, estos se pueden conectar dentro de la red de la vivienda, se considera que el 99% de las viviendas encuestadas ya cuentan con este servicio, dato obtenido de la encuesta de estratificación (INEC, 2011). Hasta la fecha se ha diseñado un pequeño dispositivo que se ha probado en una vivienda de clase media.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDUINO, CC. (2015). *ARDUINO*. Obtenido de Arduino Mega: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>
- Axel, Springer. (2012). *El Gran Libro de Android*. Madrid - España: Publishing Limited.
- Enríquez Herrador, R. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*. Córdoba: I.T.I Sistemas.
- Evans, B. W. (2007). *Arduino Programming Notebook*. San Francisco: Ardumania.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2007). *La Domótica como Solución de Futuro*. Obtenido de <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/la-domotica-como-solucion-de-futuro-fenercom.pdf>
- G-TeC. (2012). *Introducción a Android*. Madrid, España: E.M.E.
- INEC. (2010). *Resultados del Censo de población y vivienda*. Obtenido de Ecuador en Cifras: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/esmeraldas.pdf>
- INEC. (2011). *Ecuador en Cifras*. Obtenido de Encuesta de Victimización y

- Percepción de Inseguridad 2011: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Victimizacion/Presentacion_principales_resultados.pdf
- INEC. (12 de 2011). *Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico NSE*. Obtenido de http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=90
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador. (2013). *Programa para la Renovación de Equipos de Consumo Energético Ineficiente*. Obtenido de Dirección de Eficiencia Energética: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-residencial/>
- Monk, S. (2010). *30 ARDUINO PROJECTS FOR THE EVIL GENIUS*. New York: Mc Graw Hill.
- Namakforoosh, M. N. (2005). *Metodología de la Investigación*. México: Limusa.
- Posso, M. (2009). *Metodología para el trabajo de grado*. Ibarra: Nina comunicaciones.