

III Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil
AmITIC 2019
11 al 13 de septiembre de 2019
Pereira, Colombia

Sistema de Automatización de Acondicionadores de Aire y Luminarias para Edificios utilizando sensores de Bajo Costo

Automation System for Air Conditioners and Luminaires for Buildings using Low Cost Components

Jorge M. Morales G.¹, Iveth Moreno², Alexander Bernal³, José Rolando Serracín²

¹Licenciatura en Electrónica y Sistemas de Comunicación, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.

²Grupo Robo-Proc, Centro Regional de Chiriquí, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.

³Licenciatura en Desarrollo de Software, Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.

*Autor de correspondencia: jose.serracin@utp.ac.pa

RESUMEN– El término Domótica procede de la palabra francesa domotique que podría definirse como el conjunto de servicios proporcionados por sistemas tecnológicos integrados para satisfacer las necesidades básicas de seguridad, comunicación, gestión energética y confort del hombre y de su entorno más cercano. Este proyecto consiste en un sistema inteligente basado en open software/open hardware, utilizando como base un Arduino. El sistema desarrollado mejora las condiciones del entorno donde se encuentra instalado, por medio de la automatización lograda para las luminarias y los aires acondicionados. Permitiendo un entorno con más flexibilidad, escalabilidad, robustez, amigabilidad, tiempos de respuesta adecuada, configurable, alertas para seguridad, control de acceso de usuarios, y finalmente ahorro de energía. Este sistema es desarrollado con el objetivo que pueda ser implementado en edificios tanto en el servicio público como privado.

Palabras clave– Domótica, Automatización, Ahorro Energético, Arduino.

ABSTRACT– The term Domotics comes from the French word domotique that could be defined as the set of services provided by integrated technological systems to satisfy the basic needs of security, communication, energy management and comfort, of man and his closest environment. This project consists of an intelligent open software / open hardware system, using as a base platform the control card called Arduino. It is directly connected to the environment of the problem, which is capable of exhibiting a flexible, reactive, proactive and social behavior tending to meet its design objectives. This resulted in a compact system with flexibility, scalability, robustness, friendliness, adequate response times, personalized services (according to the needs of the environment), security, access control with a capacity of 3000 users, a comfortable environment and finally saving of energy. This system is developed with the aim that it can be implemented on a large scale in buildings in both public and private services.

Keywords– Automation, Energy Saving, Comfort, Safety, Class Laboratory and Low Cost.

1. Introducción

En este artículo se pretende mostrar el proceso de elaboración de un prototipo de un sistema de automatización de acondicionadores de aire y luminarias en edificios, utilizando como base componentes electrónicos de bajo costo. El prototipo propuesto para este sistema es un diseño a la medida, que se estará instalando en el laboratorio de Robótica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica del Centro Regional de Chiriquí de la Universidad Tecnológica de Panamá, y así tener control en el uso de los dispositivos eléctricos y luminarias del laboratorio.

Los sistemas de automatización han demostrado que un empleado que se sienta seguro y cómodo dentro de su edificio de trabajo es 20% más productivo que sentirse sin seguridad y comodidad [1]. Por esto, en la actualidad la seguridad, el confort, el ahorro energético y la accesibilidad son fundamentales en la búsqueda de la eficiencia y la comodidad.

Estos sistemas de automatización están compuestos de microcontroladores y sensores electrónicos encargados de operar y monitorear los equipos de aire acondicionado y la iluminación entre otras cosas más.

Los sistemas de automatización ofrecen un control inteligente de acceso a personas (estudiantes, profesores, personal administrativo, personal de aseo) en aulas, laboratorios, oficinas de instituciones educativas, centros comerciales, hoteles, bancos entre otros. [2]

El propósito del proyecto presentado es el diseño y elaboración de un sistema electrónico de automatización que contribuirá con el ahorro energético, comodidad y confort a los estudiantes y profesores cuando utilicen las aulas del edificio; mediante un control eficiente y optimizado de los aires acondicionados, luminarias, control de acceso y sensores electrónicos de bajo costo.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: En la primera sección, la introducción; la segunda sección, los antecedentes; la tercera sección es el diseño del sistema de automatización en el laboratorio de Robótica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica; la cuarta sección es la de metodología y funcionamiento; la quinta sección son los resultados; y la última sección es la de conclusiones.

2. Antecedentes

En las investigaciones que buscan posibles soluciones a los problemas de automatización en pequeña escala, se encuentra el uso de la plataforma de open hardware y control que tiene como nombre *Arduino*, y que es el fundamento del proyecto titulado: Automatización de Pequeña Escala con Open Hardware presentado en la Escuela de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico de Costa Rica [3]. Señalando que en estos sistemas existen muchas ventajas que permitirán el crecimiento de su uso a nivel mundial.

Otro trabajo similar es la tesis denominada Control de Temperatura en Instalaciones de Distribución Intermedia de Edificios Inteligentes, presentado en 2014 en la Facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México. [4]. En el mismo se plantea un diseño de sistema de automatización para el control de temperatura en las instalaciones de Distribución Intermedia, para obtener un correcto funcionamiento en los dispositivos electrónicos y de comunicación.

Cabe señalar, que algunos trabajos finales de materia sirven como referencia de automatización de edificios, primeramente, se destaca el de la materia de Taller II titulado Control De Aire Acondicionado Vía Internet, presentado en 2013 ante el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de

Mérida. En este trabajo se realizó la automatización de dos aulas mediante una red inalámbrica, con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica; y además se buscó controlar el encendido/apagado y la temperatura de los aires acondicionados, para lo que se elaboró un control remoto desde un puesto de control [5]. Otro Trabajo es presentado en la materia de Aplicaciones a Tiempo Real titulado: Domótica. Desarrollo del Sistema de Control para un Edificio Inteligente, presentado en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata en el 2013. El trabajo consistió en el estudio de un sistema domótico, específicamente en un sistema de control básico para un edificio inteligente e implementando una tarjeta programable experimental [6].

Además, la automatización de edificios incluye la gestión técnica de hoteles, ayuntamientos, bloques de pisos, museos, oficinas, bancos, etc., y por otro lado, la inmótica comprende la automatización de edificios grandes, con fines específicos y orientados a la calidad de vida y trabajo [1].

3. Diseño del Sistema de Automatización en el laboratorio de Robótica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica.

En esta sección se elabora el diseño del Sistema de Automatización utilizando la placa de Arduino y otros dispositivos acoplables, presentando el montaje del sistema por etapas y el funcionamiento de cada una de ellas. En los siguientes sub-puntos se presentan las etapas de Hardware, Software y Control Remoto IR.

3.1 Hardware del sistema de automatización

Para el circuito electrónico del panel de control se utilizó el software de diseño *Fritzing* [7]. Permitiendo elaborar el circuito impreso (*PCB*) de la placa control del sistema de automatización, que va montada encima del *Arduino Mega 2560*. Esta tarjeta está basada en el microcontrolador *Atmega 2560*, que cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida y que ejerce el papel de cerebro del sistema domótico. También es fundamental mencionar que otra de las tarjetas utilizadas es el *Arduino Uno*, la misma es una placa basada en el microcontrolador *ATmega328P*, que sirve de apoyo en diversas funciones del sistema.

En el diseño del modelo 3D del chasis o *case* del panel de acceso se utilizó el Software CAD 3D Autodesk Inventor [8], como se observa en la figura 1

y en la figura 2, se observa el chasis imprimiéndose en la impresora 3D.

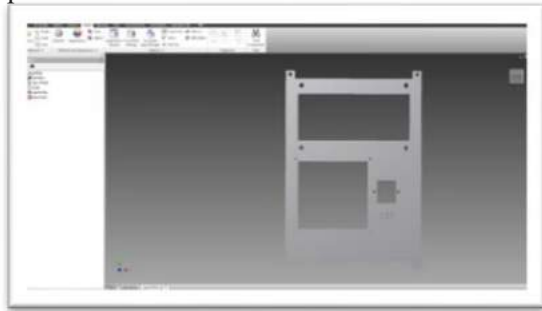


Figura 1: Diseño del modelo 3D del chasis del Panel de Acceso.



Figura 2. Diseño impreso del Chasis del Panel de Acceso.

En la figura 3, se observa el diseño del sistema luminario que está compuesto por 6 lámparas fluorescentes, teniendo en cuenta que cada lámpara contiene 6 tubos, dando un total de 36 tubos fluorescentes. Este sistema de luces está alimentado por 110 VAC protegido por un *Breaker* (20 Amp) del panel eléctrico del laboratorio. (Véase Tabla 1)

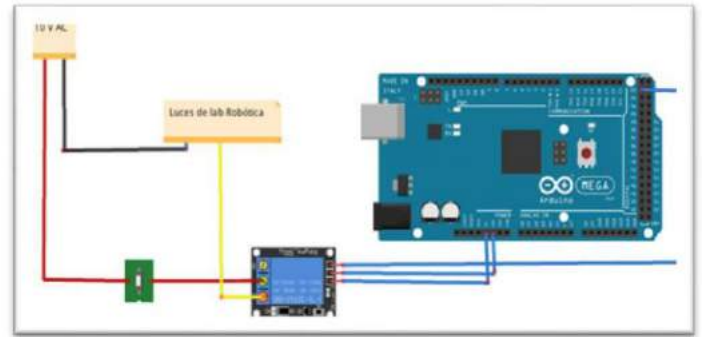


Figura 3. Circuito del sistema de control de luces del Laboratorio de Robótica.

3.2 Software del Sistema de Automatización:

El programa que realiza el control está dividido en dos códigos principales. El primero se ejecuta en el ATmega2560 y el segundo en el ATmega328P. Ambos programas ejecutan procesos para permitir las siguientes funcionalidades:

ATmega2560

1. Entrada del teclado numérico del panel externo.
2. Entrada del lector óptico de huellas.
3. Monitoreo de interruptores de seguridad de panel principal y panel externo.
4. Monitoreo de sensores de movimiento.
5. Monitoreo del estado de las luces del laboratorio.
6. Sincronización de hora y fecha del sistema.
7. Trasmisión de señales para el control de encendido, apagado y cambio de temperatura del A/C.
8. Muestra de la hora, fecha y estado del sistema (armado, desarmado, alarma activada).
9. Reconocimiento de Usuario.
10. Administración de Usuarios del sistema (creación, suspensión, borrado).
11. Encendido y apagado de luces.
12. Leds de indicación de estados (comprobación de transmisión infrarrojo) del panel interno.
13. Control externo por medio de interface para asistente de voz u otro dispositivo para luces, A/C y puerta.
14. Encendido, apagado y comprobación de sirena de seguridad.
15. Lectura del medidor de consumo eléctrico de las luces del laboratorio.

Tabla 1. Consumo del sistema de Luminarias.

Dispositivo	Cantidad	Watt
Lámparas Fluorescentes	6	90W c/u

16. Lectura y registro de eventos (armado del sistema, desarmado del sistema, activación de alarma, entrada de usuario, intento fallidos de entrada de usuario, salida de usuario, instrucciones recibida por interface, encendido de luces, apagado de luces, encendido de A/C, apagado de A/C, creación de nuevo Usuario, borrado de Usuario, suspensión de Usuario, mediciones periódica de consumo eléctrico y errores del sistema), en el dispositivo de almacenaje SD.
17. Delegación de instrucciones al microcontrolador del panel externo.

ATmega328P

1. Recibo de instrucciones del microcontrolador del panel interno.
2. Audio de tonos de panel externo.
3. Leds de panel externo.
4. Activación de cerradura eléctrica de puerta de laboratorio.

En la figura 4 se pueden observar los estados del sistema que son Inicializando, Desarmado, Armado y Alarma Activada.

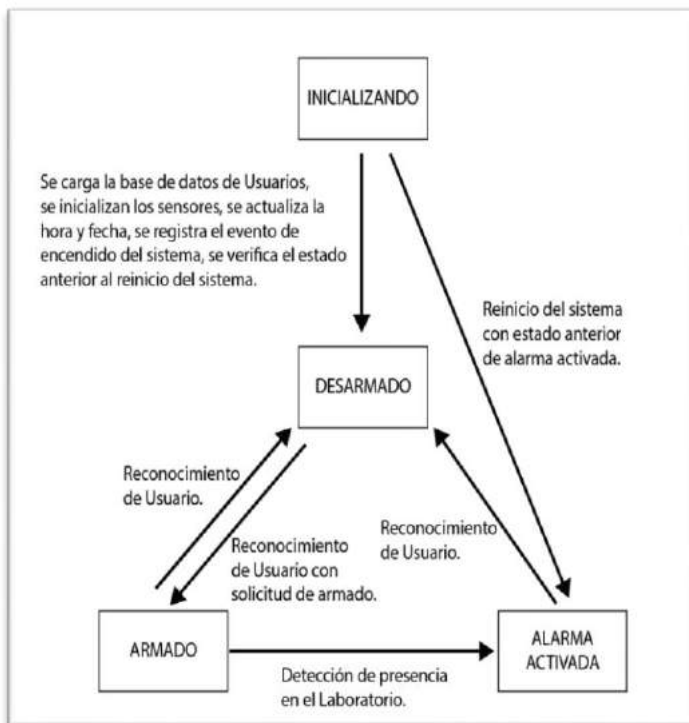


Figura 4. Estados del Sistema.

Control de Acceso/Asistencia: En esta función las personas colocan su huella digital (ver la figura 5)

3.3 Control Remoto IR – UTPCH:

El sistema de acondicionador de aire utiliza ampliamente los controles remotos IR. Con un emisor IR, la tarjeta *Arduino* puede enviar comandos compatibles con los acondicionadores de aire marca *GREE* instalados en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de Chiriquí (UTPCH). Estos comandos fueron previamente decodificados a partir del control remoto IR *GREE*. Estos comandos incluyen el encendido/apagado, la temperatura, la oscilación y dirección de flujo de aire.

Con el Control Remoto IR – UTPCH se puede controlar fácilmente un sistema A/C desde una computadora portátil, una aplicación web o incluso desde un teléfono inteligente. Es compatible con el *Arduino MEGA 2560*.

Librería Control Remoto IR – TPCHFIEGreeAC

UTPCHFIEGreeAC- Versión 1.0

Una librería para controlar el aire acondicionado central de la UTPCH en la FIE enviando comandos por medio de serial en Infra Rojo (IR) usando *Arduino*.

Esta librería es el resultado de un proceso de ingeniería inversa para la obtención del código de control usando en el aire acondicionado central marca *GREE* instalado en el edificio de la FIE en la UTP Chiriquí- (CH).

Para el envío del código se utilizó la librería *IRremote*. Fuente especificada no válida. Para la decodificación y generación del algoritmo de composición de señal se utilizó el módulo de *IR Remote IRRecvDumV2* y el software *AnalysIR*. Fuente especificada no válida.

3.3.2 Forma de utilización

Esta librería solo envía señales de IR. El diodo IR debe estar conectado al pin 3 del *Arduino Uno* o pin 9 del *Arduino Mega 2560*. Para modificar el pin se debe modificar la librería *IR Remote* de la que esta librería tiene dependencia.

La librería debe agregarse al *IDE* de Arduino de forma zipiada (ZIP). Luego debe incluir en el proyecto por medio de *Sketch-> Include Library*.

UTPCHFIEGreeAC aparecerá en la lista de librerías instaladas.

`#include<UTPCHFIEGreeAC.h>` será agregada de forma automática al inicio de Sketch.

Para crear un objeto se realiza de la siguiente forma:

`UTPCHFIEGreeAC ac;`

Los valores por default de la librería son:

AC: Apagado; Temperatura: 22 grados; Oscilación: Apagado; Velocidad de abanico: Alta.

Las funciones miembro de la librería son:

- `encender()`
- `encenderConValoresPredeterminados()`
- `apagar()`
- `cambiarTemperatura(int grados)`
- `cambiarVelocidad(int velocidad)`
- `activarOscilacion()`
- `desactivarOscilacion()`
- `estaEncendido()` [regresa un valor booleano].

Un ejemplo del uso de la librería, para encender el aire acondicionado, se codifica:

`ac.encender();`

y para cambiar la temperatura, se codifica:

`ac.cambiarTemperatura(20);`

4. Metodología de Funcionamiento

Podemos definir el proyecto en tres funcionalidades:

- Control de Acceso/Asistencia: En esta función las personas colocan su huella digital (ver la figura 5) para ingresar al laboratorio de Robótica. Este dispositivo permite al administrador (ver la figura 6) ver el historial de usuarios que han entrado (ver la figura 7), crear usuarios (ver la figura 8), ver la hora (ver la figura 9), guardar la

huella digital, y ver el consumo eléctrico del salón (ver la figura 10).

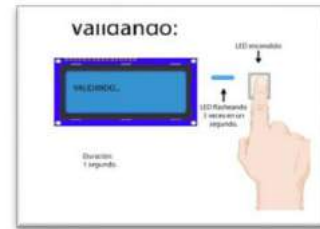


Figura 5. Validando.

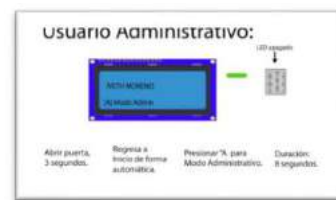


Figura 6. Usuario Administrativo.



Figura 7. Lista de Usuarios.



Figura 8. Agregar Usuario.



Figura 9. Cambiar Hora.



Figura 10. Consumo Energético.

- b. Automatización de Luminarias:** Cuando un usuario ingresa al laboratorio, las luces se encienden.

Mediante la activación de unos sensores de presencia PIR, verifica la presencia de personas en el laboratorio. Un dato interesante es que las luces solo se mantendrán encendidas cuando haya presencia de personas, y que en un tiempo configurable de inactividad o sin presencia, todas las lámparas se apagarán.

- c. Automatización de Acondicionadores de Aire:** Esta función se encarga de encender/apagar el acondicionador de aire. El usuario al colocar su huella digital e ingresar al sistema, ordena inmediatamente al microcontrolador transmitir una señal, por medio de un LED infrarrojo, al aire acondicionado. Y similar a la función de las luminarias, el sensor PIR proporciona el estado de inactividad, y los aires acondicionados se apagarán después de un tiempo configurable.

5. Resultados

Como resultados de la automatización del laboratorio de clase, se mencionan los siguientes puntos:

5.1 Confort:

Este sistema de automatización contribuye a mejorar la calidad de vida del usuario, convirtiendo el laboratorio en un lugar más confortable a través de la gestión de dispositivos. Ya que le permite al usuario relegar la función de controlar actividades como abrir, cerrar, apagar, encender, regular... los dispositivos eléctricos, la climatización, ventilación, iluminación, puertas, electricidad, etc.

5.2 Ahorro Energético: El proyecto contribuye a mejorar la calidad de vida de los usuarios, gestionando inteligentemente la iluminación, climatización, los electrodomésticos, etc., asegurando que los dispositivos se mantengan encendidos solo durante la ocupación del laboratorio, y reduciendo así, la factura de costo energético. Además, mediante la monitorización de consumos, se obtiene la información necesaria para modificar los hábitos y aumentar el ahorro y la eficiencia. (Véase Tabla 1 y Tabla 2)

Para la obtención de los datos que se presentan en la tabla 2 y la tabla 3 se utilizó un medidor. Este dispositivo electrónico se conecta en la línea caliente del sistema de iluminación y permite monitorear el consumo eléctrico en kWh.

Tabla 2. Medición de Consumo de las luminarias sin el Sistema de Automatización.

Día	Fecha	Hora fija de Lectura	Tiempo de uso diario	Watts x hora	Consumo diario (kWh)
1	11-feb	8:00 A.M	2 horas	550	1.1
2	12-feb	8:00 AM	3 horas	528	1.58
3	13-feb	8:10 AM	4 horas	517	2.07
4	14-feb	8:00 AM	3 horas	540	1.62
5	15-feb	8:00 AM	6 horas	544	3.26

Tabla 3. Medición de Consumo de las luminarias con el Sistema de Automatización.

Día	Fecha	H. de lectura	Tiempo de uso diario	Watts x hora	Consumo diario (kWh)
1	18-feb	8:00 AM	1 h 52 m	550	0.84
2	19-feb	8:00 AM	2 h 47 m	528	1.3
3	20-feb	8:10 AM	3h 53 m	517	1.83
4	21-feb	8:00 AM	2 h 55 m	541	1.4
5	22-feb	8:00 AM	5 h 57 m	544	3.03

5.3 Seguridad: El sistema implementado posee una red de sensores de detección de movimiento. En modo de sistema ARMADO, funciona como una alarma de seguridad, detectando la presencia de personas no autorizadas en el laboratorio. Este sistema funciona para personas que fueren la entrada ya sea por las ventanas o por la puerta.

En el modo de sistema DESARMADO, cuenta con un control de acceso de huella digital que activa una cerradura eléctrica de la puerta del laboratorio, inhabilitando el acceso a cualquier persona que se acerque al laboratorio sin acceso.

5.4 Resultado Final: El sistema alcanza el grado de automatización que se esperaba, permitiendo la prestación de servicios del uso del laboratorio. Entre estos servicios se incluyen:

- 1.Registro y control del consumo instantáneo de la energía de las luminarias.
- 2.La posibilidad de activar alarmas de robo en caso necesario.
- 3.La programación de ambientes pre configurados con varios dispositivos enlazados.

6. Conclusiones

Luego de haber terminado la automatización del laboratorio se concluye lo siguiente:

1. El correcto diseño del sistema de automatización optimiza y mejora la vida útil de los componentes eléctricos y electrónicos de un edificio.
2. Se realizó una amplia búsqueda y depuración de información acerca de proyectos que tuvieran afinidad con el aquí presentado, y que facilitarían la elaboración y desarrollo del sistema domótico.
3. Se utilizó ingeniería inversa al control remoto del aire acondicionado del laboratorio de robótica, obteniendo los códigos de transmisión de datos. Elaborando un control remoto IR y automatizando los aires acondicionado mediante los microcontroladores.
4. La implementación realizada comprobó que se puede construir un sistema domótico, que incluye hardware y software de bajo costo, comparado con un dispositivo construido por algunas de las empresas dedicadas a este tipo de soluciones.
5. El proyecto por su característica multidisciplinaria, permitió la aplicación de conocimientos que van desde el área electrónica, el área de eléctrica, el área de programación, el área de refrigeración, el área de diseño mecánico hasta la administración de proyectos.
6. El sistema electrónico de automatización presenta grandes beneficios en el salón de Robótica de la

Facultad de Ingeniería Eléctrica, destacándose los siguientes:

- a. Evita el mal uso y desperdicio de energía eléctrica.
 - b. Disminuye las pérdidas por generación de calor mediante el acortamiento del tiempo de encendido de las lámparas.
 - c. Proporciona un control eficiente de los aires acondicionados, luminarias, control de acceso.
 - d. Constituye un sistema compatible con los focos ahorradores de energía utilizados actualmente en el edificio.
 - e. Brinda Confort a los estudiantes y profesores cuando utilicen las aulas del edificio.
 - f. Ofrece seguridad, control de acceso de las personas y protección de los equipos del salón de robótica.
7. Para concluir, mencionaremos las diferencias entre el Sistema de Automatización de Acondicionadores de Aire y Luminarias para Edificios utilizando sensores de Bajo Costo y el proyecto [6], destacando las ventajas sobre este último:
- a. Sistema inteligente basado en open software/open hardware.
 - b. Diseño e instalación de un control de acceso biométrico.
 - c. Automatización de las luminarias y aire acondicionado y la gestión energética.
 - d. Diseño adaptado a la medida del entorno.
 - e. Facilidad de expandirse sin la necesidad involucrar gastos mayores.

Dentro de los trabajos futuros se puede sugerir:

- a. La integración de la asistente de voz Alexa, que es el servicio de voz basado en la nube de Amazon.
- b. Reemplazar los conmutadores implementados en el Sistema de Automatización, por otros de estado sólido.
- c. En caso de crear una versión comercial, se podría evaluar el uso de otros microcontroladores con toda la electrónica requerida en un PCB propio.
- d. Integrar al sistema una mejor interface que el usuario encuentre fácil de utilizar, aprender e interactiva.
- e. Rediseñar el chasis o case del panel de acceso.

7. Referencias

[Último acceso: 5 mayo 2016].

- [1] G. Morales, «La domótica como herramienta para un mejor confort, seguridad,» 1 abril 2011. [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550790007>. [Último acceso: 5 mayo 2019].
- [2] A. Nieto, «mundohvac,» junio 2011. [En línea]. Available: <https://www.mundohvacr.com.mx/2011/06/la-automatizacion-para-generar-eficiencia-energetica-y-confort/>. [Último acceso: 5 mayo 2019].
- [3] E. M. SILVESTRE, «<http://www.ptolomeo.unam.mx>,» 08 2014. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5463/Tesis.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 07 08 2016].
- [4] A. PROGRAMABLES, «<http://www.sc.ehu.es>,» 12 2001. [En línea]. Available: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMHI/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>.
- [5] L. Murrillo-Soto, «Automatización de pequeña escala con Open Hardware,» *Tecnología en Marcha*, pp. 15-23, Enero-Marzo 2015.
- [6] G. d. J. A. Hernández, *Las Telecomunicaciones y la Acústica, Tecnologías para Edificios Inteligentes Aplicadas al Auditorio de la Ex-Esime Allende, México, D.F., Diciembre 2009.*
- [7] Friends-of-Fritzing, «Fritzing,» Friends-of-Fritzing, [En línea]. Available: <http://fritzing.org/home/>. [Último acceso: 5 mayo 2019].
- [8] © 2019 Autodesk Inc., «Autodesk,» © 2019 Autodesk Inc., 2019. [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. [Último acceso: 5 mayo 2019].
- [9] E. ©. 2016., «EcubMaker,» EcubMaker © 2016. , 2016. [En línea]. Available: <http://www.ecubmaker.com/>.
- [10] «koolnova,» 28 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://koolnova.com/beneficios-de-la-domotica-en-el-hogar/>. [Último acceso: 5 mayo 2019].
- [11] K. A., *Towards smart buildings*, 1996.
- [12] F. R. y. R. C. Rasgado López, «Control de Aire Acondicionado Vía Internet,» Instituto Tecnológico de Mérida., 16 de diciembre del 2013.
- [13] J. M. H. M. J. R. Sebastián Penillas, «Domótica. Desarrollo del Sistema de Control para un Edificio Inteligente,» Universidad Tecnológica Nacional la Plata, 2013.
- [14] R. K. -. Z3T0, «github,» [En línea]. Available: <https://github.com/z3t0/Arduino-IRremote>.
- [15] analysir, «analysir,» analysir, [En línea]. Available: <https://www.analysir.com/blog/>.