

**ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA  
EN DOMÓTICA E INMÓTICA**

**CÉSAR FABIÁN CASTELLANOS CORREA  
MANUEL ALBERTO TÉLLEZ GAMARRA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2016**

**ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA  
EN DOMÓTICA E INMÓTICA**

**CÉSAR FABIÁN CASTELLANOS CORREA  
MANUEL ALBERTO TÉLLEZ GAMARRA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Electrónico**

**Director**

**GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO  
Magister en Ingeniería Eléctrica**

**Codirector**

**RODOLFO VILLAMIZAR MEJÍA  
Doctorado en Tecnologías de la Información.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2016**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	19
1. DÓMOTICA E INMÓTICA.....	22
1.1 COMPONENTES.....	22
1.2 REDES .....	24
1.3 SISTEMAS GESTIONADOS.....	25
1.4 TOPOLOGÍAS .....	27
1.5 MEDIOS DE TRANSMISIÓN .....	31
1.6 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	37
1.7 ESTÁNDARES .....	45
2. TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS APLICADAS A LA DOMÓTICA Y LA INMÓTICA.....	47
2.1 GENERALIDADES DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA .....	48
2.1.1 ZigBee. ....	49
2.1.2 Z-wave.....	53
2.1.3 Descripción de trabajos analizados.....	59
2.2 APLICACIONES EN DOMÓTICA E INMÓTICA A PARTIR DE ZIGBEE.....	80
2.2.1 Aplicaciones en seguridad .....	80
2.2.2 Aplicaciones para uso racional de la energía .....	86
2.2.3 Ventajas y desventajas .....	94

2.2.4 Tendencias y trabajos futuros .....	95
2.3 APLICACIONES EN DOMÓTICA E INMÓTICA A PARTIR DE Z-WAVE .....	98
2.3.1 Aplicaciones en seguridad .....	98
2.3.2 Aplicaciones para uso racional de la energía .....	98
2.3.3 Ventajas y desventajas .....	101
2.3.4 Tendencias y trabajos futuros .....	102
3. ESQUEMA DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA EN DOMÓTICA.....	105
4. DISEÑO.....	112
4.1 CENTRAL DE CONTROL (NODO MAESTRO) .....	120
4.1.1 Escenas.....	120
4.1.2 Arquitectura .....	120
4.1.3 Ubicación.....	122
4.2 NODOS ESCLAVOS .....	123
4.2.1 Nodos persianas.....	123
4.2.3 Ubicación.....	125
4.4 TOPOLOGÍA.....	126
4.5. SOFTWARE .....	126
4.6 MODULO CENTRAL .....	128
4.6.1 Componentes .....	128
4.6.2 Conexiones.....	128
4.7 MODULO LUMINARIAS .....	131
4.7.1 Componentes .....	131
4.7.2 Conexiones.....	133

4.8 MODULO PERSIANAS.....	138
4.8.1 Conexiones.....	139
4.9. PRESUPUESTO.....	140
5. CONCLUSIONES .....	146
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA. ....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	174
ANEXOS .....	207

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Sistemas a gestionar. ....	26
Figura 2. Topologías físicas de red [7]. ....	28
Figura 3. Arquitectura centralizada [8]. ....	28
Figura 4. Arquitectura descentralizada [8]. ....	29
Figura 5. Arquitectura distribuida [8]. ....	29
Figura 6. Arquitectura mixta [8]. ....	30
Figura 7. Capas de ZigBee [62]. ....	49
Figura 8. Topologías soportadas por ZigBee [64]. ....	53
Figura 9. Capas de Z-wave [67]. ....	56
Figura 10. Antes y después de la inclusión de dispositivos en la red Z-wave [70].	59
Figura 11. Tendencia de aplicaciones en años .....	75
Figura 12. Tendencia total de aplicaciones. ....	75
Figura 13. Tendencias de aplicaciones generales. ....	76
Figura 14. Tendencia de uso de tecnologías inalámbricas.....	76
Figura 15. Alcance.....	77
Figura 16. Tendencia de lugares donde es aplicada la tecnología.....	77
Figura 17. Tiempo de análisis.....	78
Figura 18. Tipo de aplicación.....	78
Figura 19. Diseños.....	79
Figura 20. Medio de interacción.....	79
Figura 21. ¿Número de trabajos por país [4], [14], [20], [27], [29], [31], [34], [39], [41], [47], [54], [56], [62], [63], [70]-[162]. ....	80
Figura 22. Estructura del sistema de monitoreo de alertas tempranas [166]. ....	82
Figura 23. Rendimiento de 802.15.4 en entornos de bajo SNR [92]. ....	83

Figura 24. Rendimiento del sistema en la banda de 915 MHz y 2,4 GHz [84].	84
Figura 25. Imágenes de la implementación en el hogar [86].	85
Figura 26. Implementación del nodo de bloqueo de puerta [86].	86
Figura 27. Resultados obtenidos en un hogar con Smart Grid [79].	89
Figura 28. Estructura del SEMS y banco de prueba para el experimento [56].	90
Figura 29. Consumo total de energía durante el experimento [56].	90
Figura 30. Diferentes sensores y actuadores [86].	93
Figura 31. Banco de pruebas implementado [169].	100
Figura 32. Interacción en control de iluminación mediante gestos [169].	101
Figura 33. Historia de la evolución de hardware de Z-wave [170].	103
Figura 34. Pilares fundamentales para establecer un sistema ideal de comunicación inalámbrica [171].	106
Figura 35. Esquema de red inalámbrica en domótica.	109
Figura 36. Esquema del sistema de iluminación [174].	113
Figura 37. Automatización del sistema de iluminación [174].	114
Figura 38. Ventanal grande del aula 402 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	116
Figura 39. Ventanal pequeño del aula 402 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	116
Figura 40. Tubo solar del aula 402 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	117
Figura 41. Tubo metálico de acero inoxidable.	117
Figura 42. Dimensiones $L=60$ cms, $D=1.6$ cms, $t=0.1$ cms.	117
Figura 43. Jerarquía del sistema de iluminación.	119
Figura 44. Arquitectura del nodo maestro.	120
Figura 45. Vista exterior frontal del nodo maestro.	121
Figura 46. Vista exterior posterior del nodo maestro.	122
Figura 47. Ubicación del nodo maestro.	123
Figura 48. Arquitectura del nodo persianas.	123
Figura 49. Arquitectura del nodo luminaria.	124
Figura 50. Arquitectura del sistema	125
Figura 51. Diagrama de flujo para la escena presentaciones.	126
Figura 52. Diagrama de flujo para la escena automático.	127

Figura 53. Diagrama de conexiones modulo central. ....	129
Figura 54. Diagrama de conexión del LM2936 [176]. ....	129
Figura 55. Diagrama de conexión del microcontrolador CC2538 [177]. ....	130
Figura 56. Diagrama de conexión pulsadores. ....	130
Figura 57. Esquemático módulo central.....	131
Figura 58. Diagrama de conexiones modulo luminarias.....	133
Figura 59. Fuente de alimentación de 12 voltios [72](arriba), lista de componentes (abajo). ....	134
Figura 60. Diagrama de conexión del sensor de iluminación (izquierda), lista de componentes (derecha). ....	134
Figura 61. Diagrama sensor PIR 'NaPion' [179]. ....	135
Figura 62. Diagrama de conexión del circuito de retardo (izquierda), lista de componentes (derecha). ....	135
Figura 63. Diagrama de conexión del DAC (izquierda), lista de componentes (derecha). ....	136
Figura 64. Diagrama de conexión Lm358 (izquierda), lista de componentes (derecha). ....	137
Figura 65. Diagrama de conexión RH-012C (izquierda), lista de componentes (derecha). ....	137
Figura 66. Esquemático módulo luminaria. ....	138
Figura 67. Diagrama de conexiones módulo persianas. ....	139
Figura 68. Diagrama de conexión motor tubular. ....	140
Figura 69. Diagrama de conexión etapa de control.....	140

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ventajas y desventajas de los tipos de arquitectura [8]. .....	30
Tabla 2. Ventajas y desventajas de domótica/inmótica cableada e inalámbrica [10]. .....	32
Tabla 3. Comparativo red tradicional e inalámbrica [15]. .....	36
Tabla 4. Clases de Bluetooth [24]. .....	40
Tabla 5. Resumen tecnologías inalámbricas.....	44
Tabla 6. Resumen estándares tecnología inalámbrica.....	45
Tabla 7. Resumen características de ZigBee.....	53
Tabla 8. Resumen de características de Z-wave [66]. .....	59
Tabla 9. Resumen de trabajos en domótica con tecnología inalámbrica. AC: Control de acceso. AL: Sistemas de detección y alarma. IL: Control de iluminación. D: Control de dispositivos. INV: Investigación. INT: Medio de interacción con el usuario. ....	63
Tabla 10. Aplicaciones en seguridad ZigBee. ....	81
Tabla 11. Aplicaciones para uso racional de energía ZigBee.....	86
Tabla 12. Ventajas y desventajas ZigBee [34]. .....	94
Tabla 13. Paralelo con y sin servicio en la nube [98]. .....	96
Tabla 14. Aplicaciones en seguridad Z-wave.....	98
Tabla 15. Aplicaciones para uso racional de energía Z-wave. ....	98
Tabla 16. Ventajas y desventajas Z-wave [44].....	101
Tabla 17. Proyectos aplicables en el Edificio de la E3T. ....	110
Tabla 18. Elementos del sistema y precio.....	113
Tabla 19. Presupuesto módulo central.....	141
Tabla 20. Presupuesto módulo luminaria.....	142
Tabla 21. Presupuesto módulo persiana.....	143

Tabla 22. Presupuesto total de implementación del sistema de iluminación  
inalámbrico. .... 144

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. CONTROL CENTRAL.....	207
ANEXO B. MODULO LUMINARIAS .....	209

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA EN DOMÓTICA E INMÓTICA\*

**AUTORES:** CÉSAR FABIÁN CASTELLANOS CORREA  
MANUEL ALBERTO TELLEZ GAMARRA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Domótica; Inmótica; Comunicación inalámbrica; Tecnologías inalámbricas; ZigBee; Z-wave; Control de iluminación

### DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto de grado desarrollado en modalidad de investigación presenta el estado del arte de la comunicación inalámbrica en domótica e inmótica con el fin de estudiar la posibilidad de utilizar tecnología inalámbrica en este campo y saber cómo actualmente es la tendencia en este tópico. Se explica las generalidades de la comunicación inalámbrica y se hace un resumen de las tecnologías inalámbricas más comunes en domótica profundizando en ZigBee y Z-wave por ser desarrolladas para ser aplicadas en esta área. Se emplea una tabla para establecer una caracterización de las tecnologías en las temáticas de monitorización de presencia y de variables eléctricas, control de accesos, iluminación, climatización, entre otras, clasificándolas en aplicaciones en seguridad y en el uso racional de energía. Tal identificación es realizada por tipo de espacio, ya sea residencial, de edificación o industrial, para facilitar la búsqueda de estrategias que sean potencialmente aplicables en espacios específicos de la E3T. Finalmente, se realiza un diseño de un sistema de comunicación inalámbrica para la automatización de un sistema híbrido (natural + artificial) de iluminación. Tal diseño se realiza para un espacio específico de la E3T donde posteriormente pueda ser implementado a fin de que se permita experimentar el uso de comunicación inalámbrica y hacer un estudio del mismo.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Germán Alfonso Osma Pinto, Candidato a Doctor.

## ABSTRACT

**TITLE:** ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF WIRELESS COMMUNICATION IN HOME AND BUILDING AUTOMATION<sup>\*</sup>

**AUTHORS:** CESAR FABIAN CASTELLANOS CORREA,  
MANUEL ALBERTO TELLEZ GAMARRA<sup>\*\*</sup> .

**KEYWORDS:** Home automation; Building automation; Wireless communication; Wireless technology; ZigBee; Z-wave; Lighting control.

### DESCRIPTION:

In this document we introduce the state of the art about wireless communication applied in home and building automation. This study is addressed to rational use of energy applications and trends of wireless technology for middle term. An overview of wireless communication is described and a summary is done about the most common wireless technologies used in home automation. A characterization of technologies is done according to type of space (residential or industrial building) and several applications found in scientific publications, such as presence monitoring, power variables, HVAC (heating, ventilating and air conditioning), access, lighting and devices control like household appliances, among others, to facilitate the search for strategies that can be potentially applicable to specific areas of the E3T. Nowadays, ZigBee and Z-wave are the most important protocols for home automation on worldwide, because of they have exclusive developments for this area. This document also describes the status of home automation in Colombia. Findings indicate that wireless communication may contribute to sustainability by means of automation solution addressed to rational use of energy, with applications such as hybrid lighting system, hybrid climatization system and time control of specific equipment. Last, we design a wireless communication system for automation of a hybrid lighting system (natural + artificial). This design is made for a specific space of the E3T, where can be implemented later.

---

<sup>\*</sup> Degree work.

<sup>\*\*</sup> Physico-mechanical Engineering Faculty. School of Electrical Engineering. Supervisor: German Alfonso Osma Pinto, PhD Candidate.

## PROLOGO

Este documento presenta una revisión de literatura sobre la aplicabilidad de la comunicación inalámbrica en la domótica. Para ello, se realizó un análisis de publicaciones seleccionadas de diversas fuentes bibliográficas como las bases de datos IEEE y ELSEVIER, artículos recientemente publicados en revistas nacionales e internacionales, libros y manuales de fabricantes, entre otros.

La comunicación inalámbrica posee numerosas ventajas. Principalmente, el confort que ofrece la movilidad, escalabilidad, portabilidad, versatilidad, el ahorro energético, mayor disponibilidad de alimentación por baterías o energía natural y el bajo coste de instalación hace que la red inalámbrica sea una solución atractiva para la automatización de hogares frente a algunas desventajas como menor velocidad de transmisión, menor estabilidad, vulnerabilidad y existencia de interferencias, las cuales se pueden percibir como retos a superar que contrasta con las limitaciones que atribuyen las desventajas de una red cableada.

Las potenciales aplicaciones de la comunicación inalámbrica en la domótica se pueden dividir en dos grandes elementos: seguridad y uso racional de energía. El primero corresponde a todo lo relacionado con CCTV (Circuito cerrado de televisión), control de acceso y sistemas de detección de alertas y alarmas. El segundo, al control de HVAC (*heating, ventilating and air conditioning*), de iluminación y de dispositivos (electrodomésticos).

Se caracterizan los casos de aplicación de la comunicación inalámbrica en la domótica mediante la Tabla 9. La misma recopila los documentos leídos y los clasifica por distintos aspectos tales como año, país, aplicación, alcance, lugar,

tiempo de análisis, tecnología inalámbrica usada y demás. Esto ha permitido la elaboración de hitos pertinentes a los resultados obtenidos.

La domótica contó con un gran avance como lo fue la creación del protocolo ZigBee, el cual establece una comunicación sin cables y a distancias considerables convirtiéndose en un reto para los fabricantes de tecnología en garantizar dispositivos totalmente inalámbricos ya que se busca que sean del menor consumo posible para poder extender la vida útil de las baterías. Un sistema domótico basado en el protocolo de comunicación ZigBee puede llegar a ser más práctico debido a las ventajas que puede ofrecer respecto al costo de instalación, bajo consumo, puesta en marcha, entre otras.

En la actualidad, el uso masivo de *Smartphone* o el desarrollo de otros dispositivos portátiles como relojes inteligentes (medios de interacción entre el usuario y el entorno), permite la constante evolución de la domótica y aumenta el confort. Para destacar, se viene desarrollando la tecnología *cloud computing* por medio de la cual se puede gestionar un sistema domótico a través de la Internet, donde se instala todos los servicios del hogar al alcance de sus usuarios.

Al final se plantea el diseño de un sistema inalámbrico de control de iluminación con el fin de proponer una metodología para una futura implementación de esta tecnología en la E3T.

## INTRODUCCIÓN

La introducción de redes inalámbricas en la industria ha deparado en el desarrollo de nuevas aplicaciones y en una mayor eficiencia de otras ya existentes. El mercado tecnológico se ha incrementado en los últimos años; y por lo tanto, era cuestión de tiempo despertar el interés de aquellos enfocados en la automatización de hogares y edificios como una posible solución para mejorar sus servicios. Dichas aplicaciones van desde el campo de la domótica hasta la automatización industrial.

Sin embargo, ¿es realmente la comunicación inalámbrica la respuesta?, ¿qué ventajas puede tener frente a la comunicación cableada? ¿Cuál estándar inalámbrico es el apropiado? ¿Se ajusta esta tecnología a las exigencias del mundo actual? ¿Favorece al medio ambiente? ¿Cómo se vislumbra el futuro de la comunicación inalámbrica en domótica e inmótica?

Las anteriores preguntas buscan alternativas para lograr la maximización del aprovechamiento de los recursos y mejoramiento de la comodidad, es por esto que la comunidad E3T desea estar al tanto de los últimos avances tecnológicos y analizar su aplicabilidad en la administración de los recursos (agua, electricidad, etc...), controlando la accesibilidad de aulas de clase y oficinas, y aumentando de forma considerable el confort y la seguridad, de manera que se utilicen los espacios proporcionados por la E3T para una posible experimentación en la automatización y control de edificaciones.

En el marco del este proyecto se da el primer paso para el logro de ese gran objetivo. Ese paso comienza con el análisis de información existente establecida a partir de investigaciones, estudios y consultas con expertos. Los alcances de este

proyecto específico se limitan a la aplicación de tecnología inalámbrica en la inmótica/domótica.

Los esfuerzos del Grupo GISEL se propenden por estudiar el Edificio de Ingeniería Eléctrica desde la óptica de edificación inteligente y con ello analizar la automatización de hogares y edificios. Con este gran espacio de investigación se tienen recursos y conocimientos iniciales para estudiar con suficiente este campo.

Este proyecto apoya esa gran iniciativa, aportando el conocimiento específico en el uso de las tecnologías inalámbricas y sus potenciales aplicaciones en el ámbito de la domótica e inmótica, vistas como una de las áreas que facilitan los procesos de automatización y operación de mecanismos electrónicos. Este campo ha logrado la convergencia de diferentes tecnologías al interior de los edificios u hogares. Permite al usuario controlar variables tales como climatización, iluminancia o seguridad, con el fin de contribuir al mejoramiento del estilo de vida de las personas.

Por otra parte, no pueden obviarse las consecuencias que genera el consumo de bienes y servicios a nivel global, por lo que cabe destacar que la comunicación inalámbrica en la domótica se presenta como una estrategia para contribuir a la sostenibilidad constituyendo distintas soluciones que disminuyan el impacto que produce el consumo de energía y a la vez crear conciencia sobre el uso adecuado de los recursos.

Este estudio es un estado del arte que muestra las diferentes tecnologías inalámbricas disponibles para la domótica/inmótica actual y sus respectivas aplicaciones en diversos campos, principalmente en seguridad y uso racional de la energía.

Lo anterior se presenta en cuatro capítulos o secciones. La sección I busca contextualizar al lector en las generalidades de la domótica/inmótica, sus componentes y su funcionamiento, así como en su evolución, los protocolos que se han usado a través del tiempo como infraestructura del sistema, reúne las características de la comunicación inalámbrica y establece un comparativo entre las tecnologías más conocidas.

En la sección II se realiza una caracterización de las aplicaciones de la comunicación inalámbrica en domótica e inmótica. Se procede a realizar la identificación de aplicaciones de potencial uso en las instalaciones de la E3T en las temáticas de monitorización de presencia y de variables eléctricas y climáticas, control de iluminación y climatización y control de accesos, entre otros. Estas aplicaciones se encierran en seguridad y uso racional de energía. Este capítulo se apoya en la consulta de bibliografía técnica en las bases de datos del IEEE y de ELSEVIER, que contienen publicaciones especializadas a partir de la experimentación e investigación en el campo, para identificar los posibles parámetros que puedan influir en la aplicación de esta tecnología en espacios específicos de la E3T.

La sección III presenta el esquema de la comunicación inalámbrica aplicada a la domótica, las utilidades del mismo y el impacto de dichas utilidades sobre el entorno y demás. Todo esto como anticipación al diseño para la potencial aplicación de la comunicación inalámbrica en un servicio de automatización de iluminación híbrida (artificial y natural) de un espacio específico de la E3T.

La sección IV abarca el diseño del control de iluminación para el aprovechamiento de la luz natural basado en comunicación inalámbrica. Tal diseño se realiza para un espacio específico de la E3T donde después pueda ser implementado. Dicha tarea hará parte de un trabajo posterior.

## 1. DÓMOTICA E INMÓTICA

La palabra domótica debe su origen al latín “*Domus*”, que significa "casa", y “*tica*” (de automática, palabra en griego), que funciona por sí sola [1].

La domótica se define como la gestión técnica y automática de la vivienda; es por tanto, la integración que busca gestionar a través de sistemas electrónicos diversas instalaciones que puedan existir en una casa, como la instalación eléctrica, de climatización, de audiovisuales, de seguridad, etc. Se incluye un sistema de interacción que brinde información al usuario de su comportamiento, de su funcionalidad, y de forma sencilla ofrezca el control de las mismas, y a su vez el máximo aprovechamiento de los servicios del sistema. Gracias a esto se puede obtener un ahorro notable de energía y una eficaz gestión técnica de la vivienda, una buena comunicación con los exteriores y un alto nivel de seguridad [2].

El mismo concepto pero aplicado a edificios es conocido como inmótica. Sin embargo, hoy día, un gran número de fabricantes de producto utilizan el término domótica para cualquier tipología de edificio [2].

### 1.1 COMPONENTES

Los componentes básicos que conforman un sistema domótico son los sensores, los acondicionadores de señal, la unidad de control, las interfaces y los actuadores [2].

**Sensores:** Dispositivos encargados de captar cualquier cambio físico dentro del edificio y transmitirla al sistema. A partir de ellos se generan los datos para procesar, analizar y tomar decisiones. Éstos son: de temperatura, humedad, presencia, iluminación, humo, gas, incendio, intrusión, consumo, etc. [1].

**Acondicionadores de señal:** Elementos del sistema que sirven como un puente comunicativo entre los sensores y el sistema. Esto quiere decir, que procesan o traducen las señales para que tanto el sensor como el sistema no tengan problema al momento de transmitirlas entre sí. Como ejemplo se encuentra el adaptador o amplificador, que como su nombre lo indica, adapta o amplifica la señal de salida del sensor para que sea registrada por el sistema [1].

**Unidad de control:** Unidad de inteligencia del sistema cuya función radica en gestionar la información que se recibe de los sensores y enviar las órdenes necesarias a los actuadores con el fin de resolver los problemas [1].

**Actuadores:** Son aquellos que reciben una orden por parte del sistema y ejecutan la acción, la cual puede ser de: encendido/apagado, subida/bajada, apertura/cierre, etc. [1].

**Interfaces:** Poseen la misma función de un acondicionador de señal, solo que en este caso se conecta el sistema con los actuadores. No siempre se maneja el mismo tipo de señal entre el actuador y la unidad de control, es allí donde son necesarios estos elementos que se ubican como etapas de potencia [1]. Las interfaces también se refieren a los dispositivos (*PC o Smartphone*) en que se muestra la información del sistema para los usuarios y donde los mismos pueden interactuar con el sistema.

Se busca que un sistema domótico sea capaz de cumplir cualquier necesidad y función que el usuario solicite, además debe ser de fácil manejo y robusto para no

tener que capacitar intensivamente a los usuarios para usar una nueva tecnología. Para que un sistema domótico tenga éxito hay ciertas características generales que debe cumplir como integración, facilidad de uso, control remoto, fiabilidad y actualización [3].

Los principales tipos de dispositivos o actuadores son [4]:

- Sensores de luz, temperatura, movimiento, apertura...
- Termostatos y actuadores para calefacción, aire acondicionado y calderas
- Interruptores para controlar puntos de luz, persianas e intensidades
- Enchufes para control de encendido y consumo energético
- Sistemas de control de riego automático.

Es importante considerar el exterior de una edificación como un conjunto de redes que faciliten la comunicación a distancia con otros individuos, y que a la vez proporcionen un medio de acceso remoto al propio edificio. Se hace referencia a las redes de acceso [5].

## 1.2 REDES

El interior del hogar se concibe como un conjunto de redes domésticas, integradas por dispositivos o componentes básicos que conforman un sistema domótico, mencionados anteriormente; entonces desde el punto de vista funcional, se distinguen tres redes o subsistemas [5]:

**Red de datos:** Para el envío y recepción de mensajes entre ordenadores, periféricos y demás recursos informáticos.

**Red multimedia o de entretenimiento:** Para el soporte de reproductores de audio y vídeo y demás plataformas interactivas.

**Red de control:** Para el control y monitorización de sensores, actuadores y cualquier tipo de electrodoméstico.

Para enlazar el interior y el exterior se sitúa un medio físico de transmisión, llamado pasarela residencial o interfaz domótica. Aquella facilita la comunicación entre los dispositivos ubicados en el interior y permite el diálogo de éstos con cualquier otro equipo exterior conectado a la red de comunicaciones adecuada [5].

Al momento de definir una red de comunicaciones se debe identificar el tipo de información que gestiona. Según su contenido se puede distinguir dos tipos: la referida a la señal o servicio que cada dispositivo proporciona (audio, texto, vídeo, etc.) y la que concierne al control de los dispositivos (encendido, apagado, control de intensidad, etc.). De esa manera se define la topología, el soporte físico y los protocolos de acceso y comunicación de la red [5].

Por otra parte, se debe tener en cuenta que la característica principal debe ser la interoperabilidad [6]. Esto es importante porque permite la integración de todos los elementos del sistema mediante el uso de un protocolo compartido y la definición de un conjunto común de interfaces de acceso.

### **1.3 SISTEMAS GESTIONADOS**

Al pensar en domótica se cree que está direccionado sólo al confort (simple comodidad). Al ponerse en el lugar de una persona con discapacidad física o una persona de edad avanzada se puede comprobar que no: gracias a la domótica podrá valerse por ella misma a la hora de abrir/cerrar puertas, ventanas, persianas, encender/apagar las luces, etc. [2].

Para controlar el hogar hay que tener en cuenta la seguridad y el impacto en cuanto al ahorro financiero y de recursos naturales. Los sistemas a gestionar son básicamente cuatro: confort, seguridad, comunicaciones y energía, como lo indica la Fig. 1 [2].

**Figura 1. Sistemas a gestionar.**

<p>1. Confort. Acciones que se llevan a cabo para mejorar la comodidad en el hogar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Automatización de todos los distintos sistemas/instalaciones/equipos.</li> <li>•Regulación de la iluminación.</li> <li>•Gestión multimedia y del ocio electrónicos.</li> </ul>
<p>2. Seguridad. Encargada de proteger los bienes y aportar a la seguridad personal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Detección de incendio, de fugas de gas, de escapes de agua, y con acceso a cámaras IP.</li> <li>•Alerta médica. Tele-asistencia.</li> <li>•Cerramiento de persianas.</li> </ul>
<p>3. Comunicaciones. Sistemas o infraestructuras de comunicaciones que posee el hogar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Ubicuidad en el control tanto externo como interno, control remoto desde Internet, PC, mandos inalámbricos como un teléfono celular.</li> <li>•Transmisión de alarmas.</li> </ul>
<p>4. Energía. Gestión eficiente de los sistemas del hogar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Climatización: programación y zonificación</li> <li>•Racionalización de cargas eléctricas.</li> <li>•Uso de energías renovables .</li> </ul>

Los cuatro aspectos se resumen en los siguientes servicios [3]:

- Incremento de la comunicación interna y externa (dentro y fuera de la casa)
- Posibilidad de tele-asistencia y monitorización de la salud del individuo
- Ahorro de energía por el consumo inteligente del sistema
- Ahorro de tiempo y dinero por la gestión remota de los equipos y electrodomésticos
- Opción de realizar teletrabajo (la oficina en casa con las últimas tecnologías)
- Mejor y mayor acceso a la cultura (online, televisión, etc.)
- Mayor seguridad en el hogar
- Automatización y control de la vivienda
- Múltiples posibilidades en relación al ocio y tiempo libre
- Gestiones online con la administración pública
- Programaciones diarias.

## 1.4 TOPOLOGÍAS

Como lo ilustra la Fig. 2 existen diversas estructuras topológicas para el diseño físico de redes (bus, estrella, árbol, anillo, malla). Se llama soporte al medio físico que se empleará para la alimentación de los equipos o para la información (señal y control) que éstos intercambien [5]. A continuación se presentan diversos tipos de redes [7].

**Red en bus:** Es aquella donde todos los elementos del sistema tienen la estructura de controladores (es multipunto), y están conectados a una red troncal.

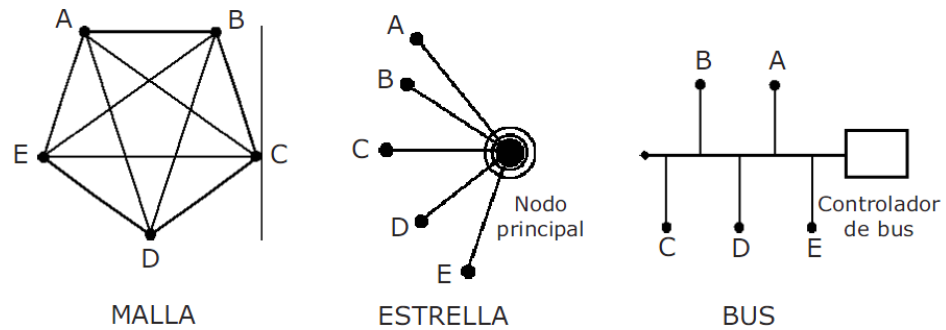
**Red de estrella:** Conexión donde existe un único controlador por el cual pasa toda la información.

**Red en árbol:** Es una derivación de la red de estrella. Solo que del controlador central se desprenden controladores secundarios en la topología.

**Red de anillo:** Cada controlador está conectado a otros dos y así sucesivamente formando un anillo.

**Red en malla:** Cada dispositivo tiene un enlace punto a punto con cualquier otro dispositivo.

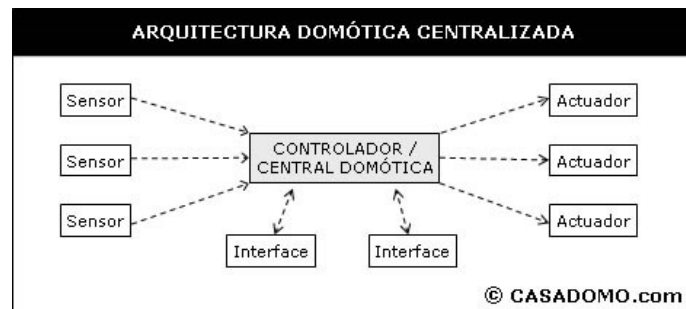
**Figura 2. Topologías físicas de red [7].**



En las viviendas inteligentes existen cuatro tipos de arquitecturas que son esenciales a la hora de ubicar los distintos dispositivos dentro del hogar, tal como Soto y Velásquez [8] presentan.

**Arquitectura centralizada:** Es aquella donde se construye una red de estrella, en la cual un controlador central recibe información de los sensores y envía datos a los actuadores. Todos los dispositivos están directamente conectados con él, esto quiere decir, que si la central falla, por ende todo el sistema también colapsará. Es un tipo de arquitectura versátil pero poco fiable. En la Fig. 3 se muestra dicha arquitectura.

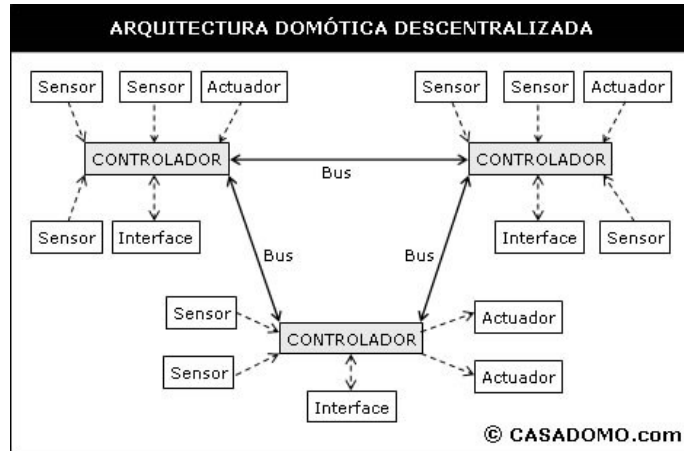
**Figura 3. Arquitectura centralizada [8].**



**Arquitectura descentralizada:** Es la que posee diferentes controladores independientes, los cuales cuentan con sus propios sensores y actuadores. Cada

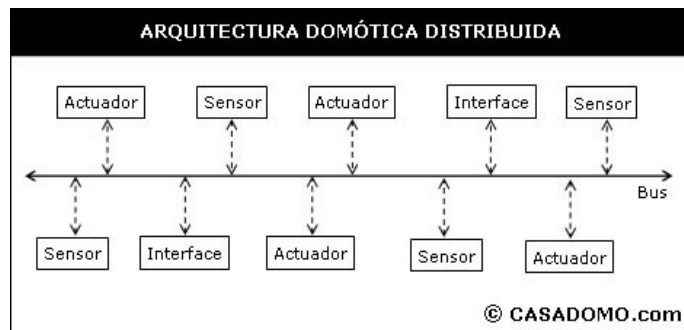
controlador se comunica por una red en bus con cada uno de los demás controladores como lo indica la Fig. 4.

**Figura 4. Arquitectura descentralizada [8].**



**Arquitectura distribuida:** Es la que tanto los sensores como los actuadores funcionan como controladores capaces de transmitir información dentro del sistema. Entonces si un dispositivo falla, no afectará la función de los demás. La Fig. 5 muestra este tipo de arquitectura.

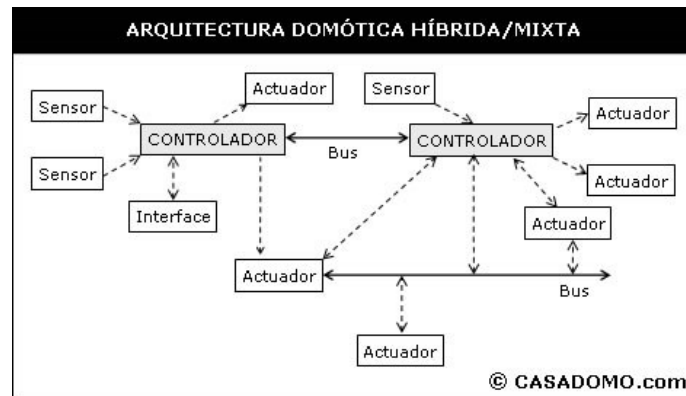
**Figura 5. Arquitectura distribuida [8].**



**Arquitectura mixta:** En este tipo de arquitectura se combinan las tres arquitecturas vistas como lo muestra la Fig. 6. La comunicación con todos los

dispositivos, ya sean, sensores, actuadores, interfaces y controladores se realiza por medio de una red en bus.

**Figura 6. Arquitectura mixta [8].**



En la Tabla 1 se organizan algunas ventajas y desventajas de cada tipo de arquitectura.

**Tabla 1. Ventajas y desventajas de los tipos de arquitectura [8].**

Tipos de arquitectura	Ventajas	Desventajas
CENTRALIZADA	Equipos más económicos, puesto que el procesamiento de los dispositivos se ve reducido debido a que el control lo lleva a cabo la central.	Gran cantidad de cableado. Centralización de funciones (falla la central, falla todo).
DESCENTRALIZADA	Sistemas robustos al fallo. Fácil diseño de instalaciones. Gran facilidad de uso.	Dependiendo del sistema empleado puede tener una mala relación punto controlado – precio.
DISTRIBUIDA	Posibilidad de usar dispositivos de distintos fabricantes que utilicen el mismo protocolo de comunicaciones. Posibilidad de aumentar la longitud de la red.	Costoso ya que los controladores requieren de elementos adicionales para comunicarse con el sistema. La poca reducción de

Tipos de arquitectura	Ventajas	Desventajas
	Reparte el flujo de información por todo el sistema.	cableado.
MIXTA	Es una mezcla de las dos arquitecturas anteriores. Adopta las ventajas de las mismas.	Es una mezcla de las dos arquitecturas anteriores. Adopta las desventajas de las mismas.

## 1.5 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Un medio de transmisión es el soporte físico por donde se transportan los datos de comunicaciones; se pueden resumir básicamente en dos [9]:

- Cableado estructurado
- Inalámbrico

Para no saturar una construcción con cables, nacen tres alternativas tecnológicas para lo que se conoce como BHN (*Broadband Home Networks*) [9].

- Tecnologías alambradas
- Tecnologías sobre líneas eléctricas
- Tecnologías inalámbricas

En los últimos años, las redes de tecnología inalámbrica han ganado gran impulso, recibiendo atención por parte de la industria y organizaciones académicas. Una red domótica inalámbrica comprende varios tipos de dispositivos integrados que reducen costos de instalación cableada [9].

Por consiguiente, la Tabla 2 es elaborada, la cual aborda las ventajas y desventajas entre la domótica e inmótica cableada y la inalámbrica.

**Tabla 2. Ventajas y desventajas de domótica/inmótica cableada e inalámbrica [10].**

Tipo	Ventajas	Desventajas
Cableada	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Alta velocidad de transmisión.</li> <li>○ Mayor seguridad.</li> <li>○ Mayor estabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Los costos de instalación son elevados.</li> <li>○ Los componentes del cableado pueden ser de difícil acceso para el usuario.</li> <li>○ Los cables pueden causar diferencia de potencial eléctrico.</li> <li>○ Modificar la conexión resulta complicado.</li> <li>○ Sus aplicaciones son limitadas.</li> </ul>
Inalámbrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Los costos de instalación son reducidos.</li> <li>○ Los elementos de este sistema permiten ser ubicados donde el cableado no es apropiado ya sea por razones de estética, seguridad o energía.</li> <li>○ La nueva telefonía móvil se adapta más fácil a estas redes.</li> <li>○ La ubicación física exacta de un dispositivo ya no es crucial para una conexión, siempre y cuando el dispositivo esté al alcance de la red.</li> <li>○ Este sistema tiene la capacidad de reconfigurar y ampliar la red con facilidad.</li> <li>○ Este medio es una solución compatible para los sistemas híbridos.</li> <li>○ Este sistema es un</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Existencia de interferencias especialmente en la banda con licencia libre ISM.</li> <li>○ Las baterías de los nodos tienen que ser cargadas o cambiadas usualmente.</li> <li>○ Un enlace inalámbrico tiene características mucho menos predecibles.</li> <li>○ La calidad del canal es variable en el tiempo.</li> <li>○ Es un sistema sencillo de ser vulnerado.</li> <li>○ La señal puede ser debilitada debido a obstrucciones.</li> <li>○ Es más probable encontrar un canal interferido.</li> </ul>

Tipo	Ventajas	Desventajas
	atractivo para automatizar edificios, donde se necesitan muchos dispositivos por cubrir y controlar, debido a su extensa área. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Versatilidad.</li> <li>○ Escalabilidad.</li> <li>○ Movilidad.</li> <li>○ Sus nodos consumen menor energía.</li> </ul>	

Las redes cableadas e inalámbricas son muy comunes en el hogar así como en el lugar de trabajo. La tecnología ha sido creada para almacenar, transmitir y recibir datos a través de las redes. Estas últimas no solo se han venido utilizando para compartir información o almacenar gran cantidad de datos para su posterior análisis sino que también ha permitido abrir un enfoque hacia la regulación energética.

Se encuentran muchas diferencias entre el medio cableado e inalámbrico. La principal es que la primera usa cables y la segunda usa radiofrecuencias para transmitir información.

En la domótica, el medio de transmisión cableado dispone de menos ventajas respecto a las del inalámbrico. Se puede decir que si la domótica también busca el confort y un ahorro energético, entonces se hace necesario usar un medio de comunicación inalámbrico ya que son cómodos. A su vez consumen menor energía debido al tamaño reducido de sus nodos, los cuales son alimentados por baterías o energía natural; en sistemas como ZigBee, estos nodos se duermen cuando no se está transmitiendo o recibiendo información.

Se aprecian varias desventajas en el medio inalámbrico pero a su vez se pueden ver como retos a superar del mismo, lo que no sucede con las desventajas del medio cableado.

Tal como lo menciona Li [11], el hallazgo de numerosos estudios avala al medio inalámbrico como aquel que puede usar la energía eficientemente y resalta el dominio de las redes de sensores inalámbricos por su bajo consumo y costo pese a los problemas de conectividad, los cuales siguen siendo desafíos por mejorar.

Aunque se trabajan en diferentes métodos para superar los inconvenientes o las desventajas de las redes inalámbricas, Li [11] propone trabajar los dos sistemas en conjunto: cableado e inalámbrico. Los sensores detectan cambios inalámbricamente y trabajan junto a un coordinador, el cual transmite la información a la estación de administración en forma cableada. De acuerdo con los resultados experimentales, el impacto de la interferencia inalámbrica de la red de control del hogar es mitigado considerablemente además de ser un sistema altamente escalable y puede ser aplicado a edificaciones inteligentes.

El uso de redes inalámbricas se ha incrementado en el hogar para controlar los servicios energéticos ya que las mismas monitorean y controlan los dispositivos domésticos.

Withanage [12] la considera como una interfaz de red inteligente (*Smart Grid*) debido a que aparte de monitorear la energía y controlar los dispositivos, al sistema también se le puede incorporar sensores de movimiento o sensores de temperatura, etc., que proporcione seguridad, detección de alarmas entre otros beneficios para los miembros del hogar.

En una red de área local hay diferentes componentes que interactúan para suministrar una amplia gama de capacidad. Según Huq [13], los componentes básicos de una red de área local son los siguientes:

1. Puerta de enlace que conecta uno o más fuera de los servicios de información de la red de área local.
2. El punto de acceso de red o nodos que forman la propia red por cable o inalámbrica.
3. El sistema operativo de red y software de gestión de red.
4. Los criterios de valoración tales como termostatos, medidores, en los dispositivos de visualización en el hogar y electrodomésticos.

Como lo indica Suryadevara [14], el Gobierno de Japón ha tenido una iniciativa en ayudar a la creación de casas inteligentes con el uso de redes inalámbricas que mejoren la eficiencia y la regulación energética. Asimismo, se espera que Estados Unidos cuente con 65 millones de hogares inteligentes para el presente año, lo que demuestra un claro crecimiento en el mercado de las mencionadas redes.

Con el fin de establecer un comparativo entre el enfoque de la red doméstica tradicional y la red doméstica inalámbrica, la Tabla 3 presenta un análisis por actividad.

**Tabla 3. Comparativo red tradicional e inalámbrica [15].**

<b>Actividad/Categoría</b>	<b>Red tradicional (cableado)</b>	<b>Red inalámbrica</b>
Movilidad	Limitada por la necesidad de usar cables para la conexión.	Se puede acceder desde cualquier lugar a la red dentro de un rango específico.
Compartir información	Menor comodidad pero mayor rapidez.	Mayor comodidad pero menor rapidez.
Comodidad	Aceptable para la red tradicional aunque poco conveniente.	Gestiona un sistema de confort el hecho de no contar con cableado.
Seguridad	Una red de difícil acceso para ajenos.	La información es sencilla de ser vulnerada.
Ajuste	Se requiere romper paredes y modificar la construcción.	Sencillez a la hora de agregar dispositivos o extender la red.
Alimentación	Solo una opción: cableada.	Dispone de tres opciones: Cableada, batería o aprovechamiento de energía natural.

Estas redes juegan un papel muy importante para controlar los electrodomésticos, usar eficientemente la energía eléctrica y proveer seguridad al hogar. El éxito de la red inteligente depende en gran medida en conocer el campo de aplicación y la identificación de los usuarios. Como se pudo verificar en la tabla comparativa, la red inalámbrica toma ventaja respecto a la red tradicional si se piensa en construir una red inteligente, por esta razón se procede a presentar las tecnologías inalámbricas usadas en la actualidad.

## 1.6 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

El medio de transmisión inalámbrico comprende varios tipos de dispositivos integrados que reducen costos de instalación cableada [3]. Aun así, una de las serias limitaciones que presenta tal tecnología corresponde a la atenuación debido a que las ondas se debilitan cuando encuentran obstáculos en su camino. Aquel es un fenómeno al que no se puede escapar y se debe tener en cuenta para un correcto diseño de cualquier clase de WAN (*Wireless Area Networks*) [9].

Otro de los objetivos en el desarrollo de las tecnologías inalámbricas es disminuir el consumo de energía de sus dispositivos, buscando así la prolongación de la vida útil de la fuente de alimentación (batería).

La comunicación inalámbrica ofrece la ventaja en el ahorro de cableado además de evitar una invasión o destrucción de la infraestructura. También ofrece una mayor flexibilidad frente a una comunicación cableada, en el diseño de un sistema domótico o en su modificación ya que se pueden integrar, reemplazar o cambiar de lugar de manera sencilla nuevos elementos al sistema.

Las características a tener en cuenta para que un sistema inalámbrico funcione, según Ravenscraft [16] son:

- **Software:** Independientemente del control del sistema se necesita un software para ejecutar el sistema. Se puede obtener de forma gratuita, ya sea mediante la compra de dispositivos o el uso de software de código abierto; sin embargo, algunas soluciones ofrecen paquetes de suscripción que pueden ir hasta 99 dólares por año.
- **Un transceptor / coordinador:** Si el software de control maestro no puede hablar con sus periféricos, los comandos son inútiles. Un dispositivo transceptor o coordinador es una caja (o conjunto de dispositivos) que emite comandos

inalámbricos a su red. Dispositivos como el Veralite (180 USD) son unidades simples y autónomas que incluso vienen con algún tipo de software.

- Sensores, interruptores y periféricos: Algo tiene que llevar a cabo las órdenes. Dependiendo de lo que desee automatizar, puede que tenga que instalar interruptores de pared, reemplazar una cerradura de la puerta, o hacer otras tareas de mantenimiento ligero. Los dispositivos periféricos pueden ser tan baratos como 40 a 50 USD por unidad, pero pueden llegar tan costosos como unos pocos cientos de dólares.

En este apartado se presentan las tecnologías inalámbricas más populares que se utilizan para la domótica e inmótica. Cabe resaltar que dicha gestión involucra redes WPAN (*Wireless Personal Area Networks*) y WLAN (*Wireless Local Area Networks*) [17] por su corto rango de transmisión ya que no se necesita mucha área para cubrir.

### **Wi-Fi (802.11b)**

Wi-Fi es una de las tecnologías más populares que se utiliza en las redes del hogar [13], [15]. La misma opera en la banda libre ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2.4 GHz y su método de codificación de canal es el Espectro Ensanchado por Secuencia Directa<sup>1</sup>. Este sistema envía datos sobre redes computacionales que utilizan ondas de radio y es compatible con Ethernet <sup>2</sup> [3], [9].

---

<sup>1</sup> El espectro ensanchado por secuencia directa es una técnica de codificación que utiliza un código de pseudoruido para "modular" digitalmente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal.

<sup>2</sup> Ethernet es el protocolo de red por cable más rápido con velocidades de conexión de 10 a 100 Mbps o superiores.

Su velocidad de transmisión es muy alta y va desde 11 Mbps hasta 300 Mbps. Su mayor inconveniente a parte de la vulnerabilidad es su exagerado consumo de potencia [15], lo cual complica su uso en aplicaciones domóticas. Debido a esto, Wi-Fi es una tecnología que necesita implementarse con otras para suplir los requerimientos de la domótica [18]–[20].

### **Ultrawideband**

Esta tecnología de baja potencia es una multiplataforma para entrada/salida de datos en serie a gran velocidad (100-500 Mbps) a distancias no mayores de 10 m que suele utilizarse para la interconexión de dispositivos digitales como cámaras digitales y videocámaras a computadoras [9].

UWB utiliza un pulso muy corto (10-1000 ps), muchas veces a través de un amplio rango de frecuencias, ya que éstas intrínsecamente ocupan una gran cantidad de ancho de banda. Estas frecuencias son tan altas que pueden ser transmitidas directamente, sin la necesidad de ser moduladas previamente como ocurre en sistemas convencionales de radio como AM o FM, telefonía celular y Wi-Fi [9].

A pesar de verse una tecnología bastante atractiva por su bajo consumo y costo [21] no ha sido consolidada como una solución aceptada globalmente. La misma ha sido rechazada por el estándar IEEE 802.15.3a<sup>3</sup>. Lo anterior puede explicarse por tener un mínimo alcance de transmisión, así como fallas en su rendimiento que intentan ser mejoradas [22].

### **Bluetooth (802.15.1)**

---

<sup>3</sup> IEEE 802.15.3a fue un intento de proporcionar una mejora a la capa PHY de *Ultrawideband* para obtener mayor velocidad para aplicaciones que implican imágenes y multimedia.

Esta propuesta de especificación de radiofrecuencia transmite datos de punto a multipunto con la posibilidad de hacerlo a través de objetos sólidos no metálicos. Bluetooth nació como una solución para la sustitución de cable y opera en la banda de frecuencias libre (ISM) de 2.4 GHz. El Espectro Ensanchado por Secuencia Directa Híbrida y Saltos en Frecuencia<sup>4</sup> es su técnica de comunicación, la cual emplea para minimizar la interferencia potencial [23].

Reynolds [24] define esta tecnología en diferentes rangos de acción o clases. Para cada una se establece una potencia máxima de transmisión y un aproximado rango de cobertura. Su utilidad se percibe en dispositivos de bajo consumo. La Tabla 4 muestra la definición.

**Tabla 4. Clases de Bluetooth [24].**

<b>Clase</b>	<b>Potencia máxima (miliWatts)</b>	<b>Rango (metros)</b>
1	100	100
2	2.5	10
3	1	1

Bluetooth es un estándar ampliamente utilizado [25], [26], sobre todo en automatización del hogar [27], [28] y se espera que en el 2016 cuente con red mallada, así como una mayor velocidad de transmisión y alcance[29], [30]; pero a su vez dependiente del uso de otras tecnologías para cubrir algunas aplicaciones tales como HVAC o control de iluminación [31]–[33]. Además el consumo de referencia es más alto en comparación de otras tecnologías inalámbricas como Zigbee y Z-wave, y sus módulos algo más costosos [34]. Por estas razones no se profundiza en esta tecnología.

---

<sup>4</sup> La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamada *dwell time* e inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

## **Telefonía celular GSM (*Global System for Mobile Communications*)**

La globalización, la evolución de las necesidades y los beneficios que ofrecen las redes inalámbricas han contribuido al desarrollo de aplicaciones que facilitan el acceso a ella, tal es el caso de los teléfonos celulares que ya actúan como sistemas embebidos facilitándole al usuario el acceso a la red [35].

El sistema global para las comunicaciones móviles es un sistema estándar de telefonía móvil digital. GSM trabaja en diferentes bandas de frecuencia, en Sudamérica lo hace entre 824 MHz a 849 MHz. Su ilimitado alcance y su alto nivel de seguridad además de su bajo consumo la transforman en una tecnología apta para la domótica [36].

Esta tecnología se ha usado para controlar aparatos electrodomésticos, la iluminación o sistemas de seguridad a través de servicio de mensajes cortos (SMS) [37]. Aunque en la mayoría de literatura, GSM es un módulo más de tecnologías inalámbricas como ZigBee o Wi-Fi y actúa como una interfaz de comunicación entre el usuario y el hogar automatizado [38].

Uno de los mayores logros de esta tecnología es el servicio de detección de alarmas pero necesita incrementar el sistema de escalabilidad y de ajustes, así como de contar con módulos para extender su red [39].

El hecho de que GSM sea una tecnología que requiere integrarse con otra tecnología para realizar un diseño domótico completo y que en la mayoría de casos actué como una interfaz de comunicación hace que pierda credibilidad en su uso [40], [41].

## **NFC (*Near field communication*)**

NFC es una tecnología de comunicación inalámbrica, de corto alcance (20 cm) y alta frecuencia (13.56 MHz) que permite el intercambio de datos entre dispositivos móviles [42]. Su usual tasa de transferencia de 424 kbps hace que su enfoque se de en la comunicación instantánea: identificación y validación de equipos o personas [43].

Al igual que Bluetooth, algunos *Smartphone* incluyen este tipo de tecnología. Debido a su mínimo alcance no es tan interesante para el uso en domótica.

## **EnOcean<sup>5</sup>**

EnOcean es una tecnología inalámbrica de radiofrecuencia y de captación de energía, quiere decir que trabaja sin baterías, lo cual lo hace interesante para el uso eficiente de la energía. Esto se logra por medio de conversores de micro energía junto con electrónica de muy bajo consumo [12], [44]. Se pensó inicialmente para gestionar edificios [45] y es una de las tecnologías más nuevas en la automatización del hogar. Sus paquetes de datos son transmitidos a 120 kbps [15].

Los primeros diseños de sus dispositivos usaban generadores piezoeléctricos pero más tarde fueron sustituidos por fuentes de energía electromagnética debido al uso de energía solar o diferencia de temperatura para la alimentación de los mismos, consiguiendo disminuir el costo [12], [15].

Aunque es una tecnología de muy bajo consumo ideal para el control de iluminación [46] no se ha estandarizado. Esto se convierte en un problema por la

---

<sup>5</sup> Nombre de empresa alemana que trabaja en tecnologías *Wireless* y de captación de energía, usada principalmente en sistemas automáticos en edificios.

falta de fiabilidad en su funcionamiento, lo que hace que exista literatura analizando su rendimiento [47] porque por el hecho de permitirse sensores e interruptores libres de batería para automatizar edificios se cuestionan alternativas que consumen por lo menos 500 W por 60 plantas en dispositivos de automatización [44]. Tal consumo energético no es atractivo.

## **Z-wave**

Z-wave es una tecnología inalámbrica *Smart Home* de red mallada donde cada módulo está capacitado para enviar y recibir comandos de control mediante radiofrecuencias entre 868 MHz y 908 MHz. Esta libertad de conectividad significa que se puede comenzar con el componente más básico e ir agregando más dispositivos con facilidad permitiendo sistemas personalizados de energía y seguridad. Su bajo consumo de potencia se establece en los 10 mW [44].

Z-wave no es un estándar abierto. Por tal razón, existe cierta complejidad en su estudio y desarrollo de software.

## **ZigBee**

ZigBee es el nombre que recibe la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica abierta basada en IEEE 802.15.4 y su uso se da mediante radios digitales de bajo consumo. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías [3], [44]. Función que la posiciona como una de las tecnologías más usadas en el campo de la domótica.

ZigBee opera en diferentes bandas de frecuencia: 868 MHz, 902-982 MHz y en la banda ISM 2.4 GHz y transfiere datos hasta de 250 kbps [48]. Aunque sea de bajo consumo, sus dispositivos pueden transmitir datos a larga distancia debido a la red

mallada que se construye entre ellos [44]. Una característica que la hace interesante para el mercado domótico.

La mayoría de literatura [18], [20], [33], [49]–[59] la avala como una de las tecnologías más usadas para la automatización del hogar y gestión de edificios cubriendo los requerimientos de la domótica.

Las principales características de las tecnologías presentadas se encuentran en la Tabla 5.

**Tabla 5. Resumen tecnologías inalámbricas.**

<b>Tecnologías</b>	<b>Tasa de transferencia [Mbps]</b>	<b>Potencia de salida [mW]</b>	<b>Alcance [m]</b>	<b>Medio frecuencia [GHz]</b>
<b>Bluetooth</b> [60]	1-2	100	100	2.4
<b>GSM</b> [36]	2	100	-	0.824-0.849
<b>Ultrawideband</b> [9]	100-500	1	10	3,1-10,6
<b>ZigBee</b> [9]	0.02-0.25	1	100	0.868, 0.902-0.982, 2.4
<b>IEEE 802.11b (Wi-Fi)</b> [9]	1, 2, 5.5 y 11	200	100	2,4
<b>Z-wave</b> [9]	0.0096-0.1	10	30	0.868,0.908
<b>NFC</b> [42]	0.106 – 0.848	1	0.2	0.01356
<b>EnOcean</b> [12]	0.12	10	300	0.315-0.8683

Actualmente, las tecnologías ZigBee y Z-wave están fuertemente orientadas a consolidar su lugar dentro mercado de la domótica. Ambas son tecnologías que han sido diseñadas con ese propósito: automatizar el hogar. Su bajo consumo de potencia, su bajo coste, su alta escalabilidad respecto a las demás tecnologías la hacen ideales para trabajar en este campo.

## 1.7 ESTÁNDARES

Los estándares son el conjunto de recomendaciones y normas que las empresas deberían seguir para conseguir que sus productos puedan interactuar con los dispositivos de otras empresas, así como funcionar en las mismas redes en las que operen [3].

De acuerdo a lo anterior, existen dos tipos de estándares: abiertos y cerrados. Los primeros se refieren a protocolos definidos entre distintas compañías para unificar criterios y cualquier fabricante puede desarrollar aplicaciones y productos que lleven implícito el protocolo de fabricación como en el caso de ZigBee. Los segundos son protocolos particulares de una marca y solo pueden ser usados por ella limitando el desarrollo de la misma. Z-wave puede ser un ejemplo de estándar cerrado.

En la Tabla 6 se exponen los estándares más usados en domótica.

**Tabla 6. Resumen estándares tecnología inalámbrica.**

<b>Estándar</b>	<b>Sigla</b>	<b>Definición</b>
Open Services Gateway Initiative	OSGi	Plataforma de sistemas y servicios para el lenguaje de programación Java. Define las especificaciones abiertas de software que permiten diseñar plataformas compatibles que puedan proporcionar múltiples servicios [3]
Universal Plug and Play	UPnP	Conjunto de protocolos de red cuyo objetivo es simplificar la implementación de redes en el hogar. Es una arquitectura abierta y distribuida de software que permite el intercambio de información a los dispositivos conectados a una red [3].
Local Operating Network	LonWorks	Plataforma de red específicamente creada para atender a las necesidades de

<b>Estándar</b>	<b>Sigla</b>	<b>Definición</b>
		aplicaciones de control. La plataforma se basa en un protocolo creado para los dispositivos de red a través de los medios de comunicación, tales como par trenzado, líneas eléctricas, fibra óptica y de RF. Se utiliza para la automatización de diversas funciones dentro de los edificios, tales como la iluminación y HVAC [3].
KNX	KNX	Protocolo estandarizado (EN 50090, ISO/IEC 14543) de comunicaciones de red basado en OSI para edificios inteligentes. Sucesora y convergencia de tres estándares previos: EHS, BatiBUS, y EIB [3].
X10	X10	Estándar de comunicación entre dispositivos electrónicos usado en la automatización de del hogar. Hace uso de las corrientes portadoras (cableado eléctrico convencional) para señalización y control, aunque también se define un protocolo de transporte basado en radio [3].
ZigBee	ZigBee	Basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN) [48].
Z-wave	Z-wave	Protocolo de comunicación inalámbrico diseñado para la automatización del hogar, específicamente para aplicaciones de control remoto en entornos residenciales [61].

Como se aprecia en la tabla anterior, existe una dualidad de ZigBee y Z-wave como tecnología inalámbrica y como estándar de comunicación en la domótica. Esto se debe a que dos protocolos son las dos únicas tecnologías completamente inalámbricas. Los demás basan sus redes sobre líneas eléctricas o cableadas.

## **2. TECNOLÓGICAS INALÁMBRICAS APLICADAS A LA DOMÓTICA Y LA INMÓTICA**

En el numeral 2.6 se ha presentado las tecnologías inalámbricas que se han usado en la domótica e inmótica a lo largo de los últimos años. Por otra parte, se puede verificar en este documento que unas tecnologías han sido más usadas que otras por diferentes razones explicadas anteriormente.

De tal forma como se concluyó en dicho numeral, ZigBee y Z-wave son tecnologías que han sido creadas con el fin de automatizar hogares y se están extendiendo a edificaciones y a nivel industrial. Al ser ZigBee un estándar abierto toma una amplia ventaja respecto a Z-wave en el desarrollo de aplicaciones tal como lo demuestran la literatura consultada.

Sin embargo, Z-wave cuenta con más de mil dispositivos y a pesar de ser un estándar cerrado ha sido una tecnología aceptada en el mercado de la domótica debido a la fiabilidad que genera su topología de red mallada.

Por estas razones se profundiza en ambas. Se describe todo lo que tiene que ver con su funcionamiento, módulos, ventajas y desventajas de cada una disponiendo así de suficiente información para realizar un análisis de aplicabilidad en la escuela E3T.

## **2.1 GENERALIDADES DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA**

La comunicación inalámbrica es el área con mayor crecimiento en la industria de las comunicaciones. Dicho campo ha despertado el interés en la población. Un claro ejemplo de esto es la presencia y desarrollo del sistema celular.

Este medio se convierte en una solución compatible para sistemas híbridos y complementan o reemplazan aquellos que se comunican mediante líneas eléctricas debido a sus características tales como versatilidad, escalabilidad, movilidad, comodidad, adaptabilidad, economía, entre otras vistas anteriormente en la Tabla 2.

Hoy en día existen muchas aplicaciones que incluye la comunicación inalámbrica, las cuales se basan en los sensores y actuadores de los diferentes sistemas de control como lo son el monitoreo del medio ambiente, de seguridad tanto residencial como personal y de los recursos del hogar [48].

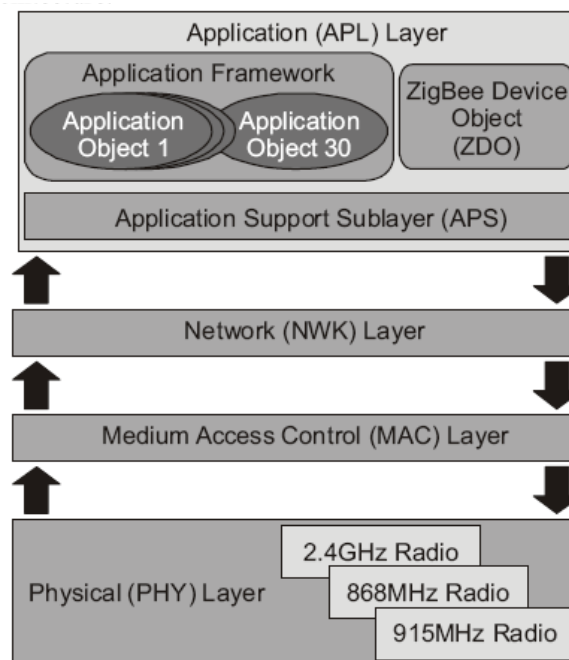
Disponer de tecnología inalámbrica genera la capacidad de usar sus componentes en lugares donde el cableado no sea apropiado, ya sea por razones estéticas o de seguridad. En un ambiente industrial, este último aspecto es prioritario debido a que un cableado extenso puede causar diferencias de potencial eléctrico, el cual puede ser inofensivo para los dispositivos de red y usuarios, pero de riesgo en entornos donde se interactúe con gases o elementos que puedan ocasionar explosiones tales como minas, yacimientos, depósitos, pozos, entre otras excavaciones [10].

Esta parte del documento se centra en describir las tecnologías inalámbricas más significantes en la automatización del hogar, las cuales son ZigBee y Z-wave.

**2.1.1 ZigBee.** ZigBee es un estándar que define un conjunto de protocolos para el armado de redes inalámbricas de corta distancia (100 m) y baja velocidad de datos (250 kbps.) [62]. Las bandas de 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz son utilizadas por esta tecnología para su operación [48].

Esta organización sin ánimo de lucro nace en el año 2002. Desarrolla un protocolo que adopta al estándar IEEE 802.15.4 para sus dos primeras capas, es decir la capa física (PHY) y la subcapa de acceso al medio (MAC) y agrega la capa de red y de aplicación [48]. La pila completa es mostrada en la Fig. 7.

**Figura 7. Capas de ZigBee [62].**



Este estándar fue desarrollado por la Alianza ZigBee, que cuenta con más de 250 compañías desde fabricantes de semiconductores y desarrolladores de software hasta constructores de equipos OEMs (*Original Equipment Manufacturer*) e instaladores, con el objetivo de auspiciar el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo costo. Se destacan empresas como Invensys,

Honeywell, Mitsubishi, Motorola y Philips que trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de domótica, automatización de edificios, control industrial, periféricos de PC, juguetería, sensores médicos, etc. [3], [34].

La idea del estándar se basa en el Teléfono Inalámbrico Digital Mejorado (*Digital Enhanced Cordless Telephone*, DECT) [3], que es un equivalente al estándar de los teléfonos celulares GSM, el cual transporta voz y datos por separado.

El desarrollo de la tecnología se centra en la sencillez y el bajo costo [13]. El nodo ZigBee más completo requiere en teoría cerca del 10% del hardware de un nodo Bluetooth o WiFi típico; esta cifra baja al 2% para los nodos más sencillos. No obstante, el tamaño del código en sí es bastante mayor y se acerca al 50% del tamaño del código de Bluetooth [3], [34], [48].

Esta tecnología es ampliamente adoptada y utiliza el cifrado AES-128 bits para el propósito de seguridad [13], [63].

Además, la *ZigBee Alliance* también deja disponible para su acceso la *ZigBee Cluster Library*, ofreciendo de este modo a los ingenieros y demás integradores bloques de construcción para aplicaciones con necesidades de automatización residencial, reduciendo de este modo las labores de desarrollo y permitiendo implementaciones más precisas [3].

ZigBee usa la DSSS (Secuencia Directa De Espectro Ensanchado) en la banda 2.4 GHz. En las bandas de 868 MHz y 900 MHz también se utiliza la secuencia directa de espectro ensanchado pero con modulación de fase binaria [3]. La transferencia de datos de hasta 250 kbps puede ser transmitido en la banda de 2.4 GHz (16 canales), hasta 40 kbps en 915 Mhz (10 canales) y a 20 kbps en la de

868 MHz (un solo canal). La frecuencia central de cada canal puede calcularse como se muestra en la ecuación (1) [13], [34] :

$$F_c = 2405 + 5 \cdot (k - 11) \text{MHz}, \quad \text{para } k = 11, 12, \dots, 26 \quad (1)$$

Según Beaskoetxea Gartzia [3], una red *ZigBee* puede ser formada teóricamente por hasta 255 nodos, los cuales tienen el transceptor dormido la mayor parte del tiempo, con el fin de reducir el consumo energético. De esta manera la batería de un transceptor *ZigBee* puede durar dos años aproximadamente [19]. El rango de transmisión varía entre los 10 y 100 m para topologías punto a punto, pero puede ser ilimitado si se forma una red mallada [13]. La potencia de salida suele ser de 1 mW [34].

Los módulos *ZigBee* disponen de una antena integrada, control de frecuencia y una pequeña batería, haciéndolos una solución viable y económica [3]. Las radios utilizan un espectro de dispersión de secuencia directa. Se utiliza BPSK en los dos rangos menores de frecuencia, así como un QPSK ortogonal que transmite dos bits por símbolo en la banda de 2,4 GHz [34].

Se definen tres tipos de dispositivos ZigBee según su papel en la red [3]:

-Coordinador ZigBee (*ZigBee Coordinator*, ZC): El tipo de dispositivo más completo, el más sofisticado. Debe existir uno por red. Sus funciones son encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.

-Router ZigBee (*ZigBee Router*, ZR): Este nodo interconecta dispositivos separados en la topología de la red.

-Dispositivo final (*ZigBee End Device*, ZED): Este tipo posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con otros nodos pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. Este tipo de dispositivo es el que se mantiene más tiempo dormido.

De acuerdo a su funcionalidad, los dispositivos *ZigBee* pueden ser divididos como sigue [34], [62].

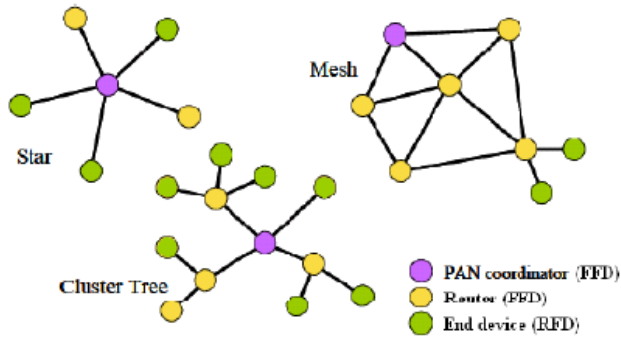
-Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): Este tipo de dispositivo es conocido como nodo activo debido a que realiza todas las operaciones puede trabajar como Coordinador o Router. Este mismo puede ser usado en dispositivos de red que actúan de interfaz con los usuarios.

-Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD) o nodo pasivo. Esta clase no realiza todas las operaciones, tiene capacidad y funcionalidad limitadas, con el fin de obtener un bajo costo y una gran simplicidad. Básicamente, éstos son los sensores/actuadores de la red.

*ZigBee* respalda tres tipos de topologías [64]: estrella, mallado y árbol. Cada una obtiene sus propias ventajas y es apropiada para ser aplicada en diferentes situaciones. La simplicidad de la red en estrella alarga la vida útil de la batería, entre tanto la fiabilidad y la escalabilidad de la red en malla [13] proporciona más de una ruta a través de la red.

La red tipo árbol combina las dos topología estrella/malla para obtener una combinación de sus beneficios. La Fig. 8 ilustra lo anterior.

**Figura 8. Topologías soportadas por ZigBee [64].**



En resumen, la Tabla 7 muestra las especificaciones de ZigBee [3], [13], [34], [48], [62], [64], [65].

**Tabla 7. Resumen características de ZigBee.**

<b>Técnica de modulación</b>	DSSS
<b>Velocidad de transmisión</b>	20 – 250 kbps
<b>Alcance</b>	100 m
<b>Bandas de frecuencia</b>	868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz
<b>Topologías</b>	Estrella, mallado y punto a punto.
<b>Acceso al medio</b>	CSMA/CA
<b>Espacio de direcciones</b>	64 bits
<b>Número de nodos</b>	255
<b>Potencia de salida</b>	1 mW
<b>Número de canales</b>	16

**2.1.2 Z-wave.** Z-wave es un protocolo inalámbrico diseñado por la organización *Z-wave Alliance* para la automatización y seguridad del hogar [12], [13], [15]. Esta

tecnología utiliza ondas de radiofrecuencia (RF) por debajo de 1 GHz, 908.42 MHz para Estados Unidos y 868.42 MHz para Europa [12], [66].

*Z-Wave Alliance* es un grupo conformado por más de 250 empresas, incluyendo algunos grandes nombres como Honeywell, DSC, LG, Somfy, Zyxel, D-Link, Danfoss o Belkin. Z-Wave ha sido desarrollado por una compañía danesa llamada Zen-Sys que fue adquirida por Sigma Designs en 2008 [13], [15]. A partir del 2014, cuenta con más de 1.100 diferentes dispositivos compatibles [12], ya que brinda una amplia gama de opciones cuando se trata de la automatización de sistemas tales como: iluminación [15], climatización y seguridad, entre otros, en cuanto a la domótica inalámbrica se refiere [66].

*Z-wave* se ha extendido debido al gran número de empresas que componen esta comunidad aunque no es un protocolo abierto, como lo es ZigBee, y está disponible solo para clientes Zensys [13].

La *Z-Wave Alliance* afirma que el hecho de trabajar a 900 MHz (banda sin licencia para Australia, Israel y Estados Unidos [13]) proporciona un rendimiento superior por dos motivos: menos interferencias [15] (por funcionar a baja frecuencia) y mayor penetración de las ondas en paredes, pisos y muebles (al tener mayor longitud de onda) [66].

Generalmente, en la red Wi-Fi, a medida que aumentamos el número de dispositivos conectados a la misma, también aumentamos las interferencias y colisiones, cosa que reduce la velocidad de la red y las comunicaciones. En una red Z-Wave pasa exactamente lo contrario, es decir, entre más dispositivos sean agregados a la red, ésta se hace más robusta [66].

Su topología de red está basada en las redes tipo malla, en la cual cada dispositivo es un nodo de la red. Esto permite servir de intermediario entre otros

nodos para el enrutamiento de los paquetes que se envíen. Si un dispositivo falla, la red mallada se reestructura, creando instantáneamente una nueva ruta de transmisión [66]. Esto ofrece una buena fiabilidad y estabilidad en la red.

Por lo general, el alcance de cada elemento Z-wave es de 30 m, pero existe la posibilidad de extender dicho alcance debido a que estos dispositivos actúan también como repetidores de señal. Este proceso es llamado salto (*hopping* en inglés) y se puede realizar utilizando solo 4 dispositivos ya que después el protocolo termina la señal (*hop kill*) [12]. Se puede decir que 100 m corresponde a un alcance aproximado de referencia. Su típica velocidad de transferencia de datos es de 40 kbps.

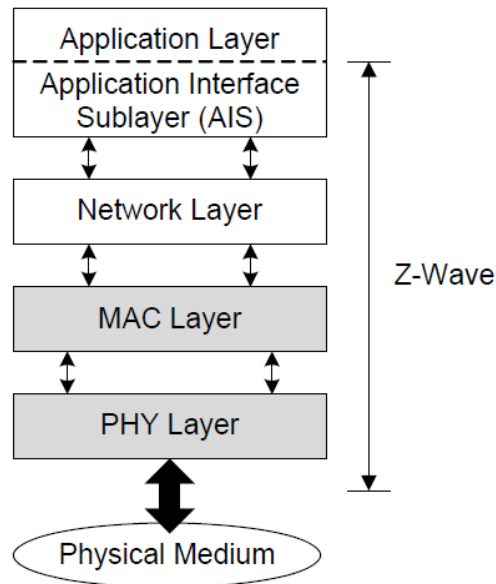
El funcionamiento del sistema Z-Wave consiste en enviar la señal mediante unas rutas marcadas. Si en la ruta de paso de ondas de radio se encuentra un obstáculo y la señal no puede llegar al dispositivo al que la orden está destinada, el sistema Z-Wave busca “nueva ruta” a dicho dispositivo. Todo esto asegura la infalibilidad de este sistema [61].

Esta tecnología es optimizada para comandos de baja sobrecarga tales como encender-apagar (interruptores de luz o aparatos) o bajar-subir (control de termostato o volumen), con la posibilidad de computar datos sobre el dispositivo en la red [13].

La arquitectura Z-wave se define en términos de capas. Cada capa es responsable de una parte de la operación y ofrece servicios a las capas superiores. Una entidad de datos proporciona un servicio de transmisión de datos y una entidad de gestión ofrece otros servicios relacionados con la capa real. Las entidades de datos y de gestión definen los vínculos lógicos entre las capas [67].

El modelo de capas (PHY / MAC) ha sido ratificado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como el estándar internacional (G.9959). El mismo es administrado por la Z-Wave Alliance, que sirve como la Organización de Desarrollo de Normas (SDO) para Z-Wave. La Fig. 9 muestra estas capas [67].

**Figura 9. Capas de Z-wave [67].**



El protocolo consta de 4 capas, la capa PHY que controla los medios de comunicación de RF, la capa MAC que controla la transmisión y recepción de tramas, la capa de red que controla el encaminamiento de tramas en la red, y finalmente la capa de aplicación controla la carga útil en las tramas transmitidas y recibidas [67].

Todo el protocolo Z-Wave está localizado en un pequeño chip, fabricado por la compañía Zensys. El chip básico Z-Wave incorpora: procesador, memoria flash, emisor y receptor de radio [61].

La red Z-wave puede iniciar con un solo producto controlable y su controlador. Los demás dispositivos pueden ser añadidos en cualquier momento, al igual que varios controladores [66].

En cuanto al consumo de energía, también dispone de una aplicación que monitoriza el consumo y los costos de ello de todos los dispositivos Z-Wave conectados en la misma red. Es capaz de detectar consumos anormalmente excesivos y avisar al usuario para que lo ajuste si fuera necesario [68].

El protocolo Z-Wave tiene dos tipos básicos de dispositivos:

- Dispositivos de control.
- Nodos esclavos.

Los dispositivos de control son los nodos de una red que inician comandos de control y envía los comandos a otros nodos, y los nodos esclavos son los nodos que responden a dichos comandos y ejecutan las órdenes. También los nodos esclavos pueden enviar comandos hacia otros nodos, lo cual hace posible que el controlador se comunique con los nodos que se encuentran lejos de las ondas de radio [69].

**-Controlador** [69]: Dispositivo que tiene una tabla de enrutamiento completa y por lo tanto es capaz de comunicarse con todos los nodos de la red Z-Wave. La función del mismo depende del tiempo de ingreso a la red Z-Wave. En caso de que el controlador se utiliza para crear una nueva red Z-Wave se convierte automáticamente en el controlador primario. El controlador primario es el controlador "maestro" en la red Z-Wave y sólo puede haber uno en cada red. Sólo los controladores primarios tienen la capacidad de incluir/excluir nodos de la red y por lo tanto siempre tienen la última topología de la red.

Los controladores agregados a la red utilizando el controlador primario se llaman controladores secundarios y no tienen la capacidad de incluir/excluir nodos de la red. Los mismos se dividen en dos:

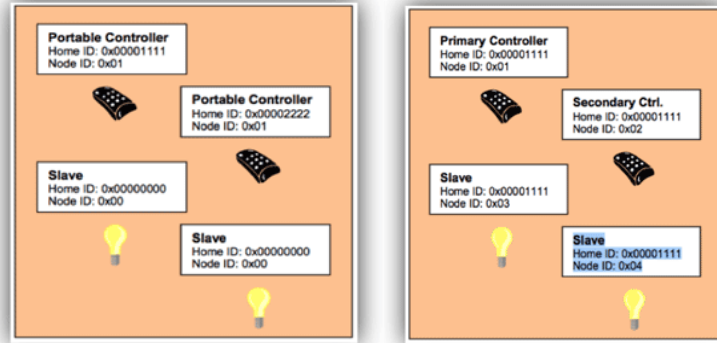
-Controlador portátil: Es aquel que está diseñado para cambiar de posición en la red Z-Wave. El controlador portátil utiliza una serie de mecanismos para estimar la ubicación actual y por este medio el cálculo de la ruta más rápida a través de la red. Un ejemplo de un controlador portátil podría ser un control remoto [69].

-Controlador estático: Es aquel que no debe cambiar de posición en la red y debe estar encendido todo el tiempo. Por lo tanto, los dispositivos que funcionan con baterías no están diseñados como unidades estáticas. Este controlador tiene la ventaja de que los esclavos de enrutamiento pueden enviarle mensajes de estado no solicitados, y también saber su ubicación en la red. Un controlador estático será típicamente un controlador secundario en una red Z-Wave. Un ejemplo de un controlador estático podría ser una puerta de enlace de Internet que supervisa un sistema Z-Wave [66], [69].

**-Nodos esclavos:** Nodos en una red Z-Wave que recibe órdenes y lleva a cabo una acción basada en el comando. Los nodos esclavos no pueden enviar información directamente a otros esclavos o controladores a menos que se les pida hacerlo. Un ejemplo de un nodo esclavo podría ser un regulador de iluminación, el cual varíe el brillo de luz [69].

Cada red Z-Wave se identifica mediante un ID de red y cada dispositivo se identifica además por una ID de nodo [12], [66]. El ID de red (Home ID) es la identificación común de todos los nodos que pertenezcan a una red Z-Wave lógico. El ID de red se asigna a cada dispositivo por el controlador primario cuando el dispositivo está "incluido" en la red como se muestra en la Fig. 10. Los nodos con diferentes ID de red no pueden comunicarse entre sí [66], [70].

**Figura 10. Antes y después de la inclusión de dispositivos en la red Z-wave [70].**



El ID de nodo es la dirección de un único nodo en la red. El ID de nodo tiene una longitud de 1 byte (8 bits). No se le permite tener dos nodos con ID de nodo idéntico en una red [66], [70]. Las características de Z-wave se pueden resumir en la Tabla 8.

**Tabla 8. Resumen de características de Z-wave [66].**

<b>Tipo de modulación</b>	GFSK
<b>Velocidad de transmisión</b>	9.6 - 100 kbps
<b>Alcance</b>	100 m
<b>Bandas de frecuencia</b>	868.42 MHz
<b>Topologías</b>	Mallado
<b>Potencia de salida</b>	1 mW
<b>Número de nodos</b>	232

**2.1.3 Descripción de trabajos analizados** En la actualidad, han surgido numerosas aplicaciones que se soportan en la red, las cuales permiten la configuración y consulta en línea de variables, parámetros y datos. Entre estas aplicaciones se encuentra el control de iluminación, de calefacción, ventilación y

control de aire acondicionado (HVAC), seguridad y el uso racional de energía, las cuales se han consolidado debido al uso de medios de transporte de información como las redes de área local [35].

Pensando en temas como el confort y el ahorro de energía, se trabaja en la construcción de sistemas de automatización y control para las aplicaciones anteriormente nombradas para garantizar una mayor y mejor utilización de los recursos naturales y así brindar un ambiente más agradable. Es importante observar que dicho control permite la ubicación de sensores inalámbricos y que los ejemplos incluyen un gran número de lugares y campos de acción como lo pueden ser hospitales, casas, fábricas, oficinas, etc. [8].

Por estas razones, se elaboró la Tabla 9 que recopila y describe los trabajos o *papers* analizados durante esta investigación. La misma se centra en caracterizar cada artículo relacionado con el uso de la tecnología inalámbrica en domótica/inmótica.

Como es sabido, la domótica gestiona cuatro aplicaciones: energía, seguridad, confort y comunicaciones. Las anteriores se han resumido de forma global por dos: Seguridad y uso racional de energía (URE). La seguridad compone todo lo que tiene que ver con aplicaciones como circuito cerrado de televisión (CCTV), control de acceso y sistemas de detección y alarmas. La URE comprende HVAC, control de iluminación y de electrodomésticos si se trata de domótica o dispositivos cualesquiera si se trata de inmótica. Así se cubren las aplicaciones domóticas justificando que cuando se trabaja en este campo y de esta forma inalámbrica sin duda hay comunicaciones y confort.

Respecto al área de iluminación, Assaf dijo [8], [71]: “Los sistemas de control automático de iluminación aparecen, como una alternativa al control manual, que es realizado por el usuario según su criterio; el control automático se ejecuta

según un patrón previamente establecido, orientado al ahorro energético, logrando así un nivel de iluminancia estable dentro de la habitación, con una mezcla de luz natural y artificial, logrando una alta eficiencia luminosa y brindando una ambiente agradable”.

Por otro lado, la seguridad no solo consiste en evitar riesgos y accidentes domésticos sino también en cuidar y proteger la propiedad de los intrusos. En este ámbito se encuentran los siguientes ejemplos para resaltar [8]:

- Detección de incendios.
- Alumbrado automático de zonas de riesgo.
- Posibilidad de conectarse a centrales receptoras de alarmas.
- Detectores de fugas de gas o de agua.

En el otro enfoque que se da, el cual se refiere a la seguridad hacia los bienes, podemos encontrar sistemas como circuito cerrado de televisión y vigilancia perimetral [8].

Desde años anteriores se ha trabajado sobre la aplicabilidad de sistemas inalámbricos en domótica, la mayoría de ellos con algo en común: hacer uso eficiente de la energía para preservar el medio ambiente y poder minimizar costos. De tal manera, se ha explorado, analizado, diseñado, implementado y evaluado diversos métodos y/o procedimientos con el fin de obtener un sistema óptimo que garantice tanto la funcionalidad como la reducción de consumo energético.

En la Tabla 9 se hace una revisión de diferentes *papers*, los cuales presentan su característica propia dentro de este campo y desarrollan su plan centrados en controlar y automatizar ya sea una casa o un edificio mediante la tecnología inalámbrica que mejor se haya adaptado a sus consideraciones.

En dicha tabla se ha dispuesto una clasificación de acuerdo a la información que se ha extraído de cada trabajo y sus respectivos resultados gráficos son presentados y permiten visualizar diferentes tendencias de la tecnología inalámbrica aplicada a la domótica.

Cada trabajo es categorizado por su año de publicación, el país donde fue publicado, las aplicaciones de domótica que fueron tratadas, la tecnología inalámbrica utilizada, su alcance, su lugar de aplicación, la cual puede ser un caso de funcionamiento permanente o simplemente un experimento. De igual manera se tienen en cuenta su tiempo de análisis o monitorización, el medio de interacción del usuario con la aplicación y si ha sido o no un hallazgo principal que indique que es una opción interesante de ser replicada.

Cabe resaltar que hay trabajos donde involucran a más de una tecnología o donde se trabaja en más de una aplicación, es por eso que aparecen más datos estadísticos en las tendencias que la misma cantidad de artículos como es el caso de la Fig.11.

**Tabla 9. Resumen de trabajos en domótica con tecnología inalámbrica. AC: Control de acceso. AL: Sistemas de detección y alarma. IL: Control de iluminación. D: Control de dispositivos. INV: Investigación. INT: Medio de interacción con el usuario.**

Ref.	Año	País	Aplicaciones						INV	Tecnologías Inalámbricas								Alcance	Lugar	Tiempo de análisis (Hs)	Caso	Hallazgo ppal.	INT	
			Seguridad			Energía				Zig-Bee	IR	Wi-Fi	RF	Blue-tooth	Z-wave	GSM	Otra							
			CCTV	AC	AL	HVAC	IL	D																
[4]	2013	Estados Unidos							X										Análisis	Residencial	7	Experimento		Interfaz
[14]	2015	Nueva Zelanda						X		X									Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[15]	2014	India							X	X		X	X			X			Análisis	Residencial Edificación Industrial				
[17]	2011	Malasia							X	X						X			Análisis	Residencial				
[72]	2007	Peru					X			X									Diseño e implementación	Industrial		Experimento		
[18]	2013	China					X			X						X			Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[19]	2013	Vietnam			X	X	X	X		X		X							Diseño e implementación	Edificación		Experimento		Interfaz
[20]	2009	Inglaterra			X	X	X			X		X							Diseño e implementación	Residencial	9	Experimento		Interfaz
[27]	2014	Canadá			X								X						Diseño y análisis	Residencial	1	Experimento		Interfaz
[31]	2011	China					X			X	X		X		X				Diseño e implementación	Residencial	2	Experimento		Interfaz

Ref.	Año	País	Aplicaciones						INV	Tecnologías Inalámbricas								Alcance	Lugar	Tiempo de análisis (Hs)	Caso	Hallazgo ppal.	INT
			Seguridad			Energía				Zig-Bee	IR	Wi-Fi	RF	Blue-tooth	Z-wave	GSM	Otra						
			CCTV	AC	AL	HVAC	IL	D															
[32]	2007	Taiwán				X	X	X					X		X		Diseño e implementación	Residencial		Experimento	X	Interfaz	
[33]	2014	Estados Unidos		X			X		X				X				Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[36]	2015	India		X			X	X			X				X		Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[37]	2013	Malasia			X		X	X							X		Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[38]	2014	Canadá				X	X								X		Diseño y análisis	Residencial	1000	Experimento		Interfaz	
[39]	2012	Malasia		X	X	X	X	X							X		Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[40]	2006	Turquía	X	X	X	X	X				X	X			X		Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[41]	2009	Italia				X			X		X				X		Diseño e implementación	Edificación		Experimento		Interfaz	
[43]	2014	Corea del Sur						X					X		X		Diseño e implementación	Residencial	1	Experimento		Interfaz	
[49]	2014	India						X	X								Análisis	Industrial					
[50]	2014	India					X		X								Diseño	Residencial		Experimento		Interfaz	
[51]	2012	Corea del Sur			X	X	X	X	X	X							Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[52]	2011	Taiwán			X			X	X								Diseño e	Edificación		Experimento		Interfaz	



Ref.	Año	País	Aplicaciones						INV	Tecnologías Inalámbricas								Alcance	Lugar	Tiempo de análisis (Hs)	Caso	Hallazgo ppal.	INT		
			Seguridad			Energía				Zig-Bee	IR	Wi-Fi	RF	Blue-tooth	Z-wave	GSM	Otra								
			CCTV	AC	AL	HVAC	IL	D																	
[79]	2012	Alemania							X	X				X		X	Análisis	Residencial							
[80]	2012	Colombia				X	X	X		X							Diseño e Implementación	Residencial		Experimento					Interfaz
[81]	2011	China							X	X	X						Análisis	Edificación	21	Experimento					Interfaz
[82]	2012	Irán				X	X	X	X	X							Análisis	Residencial	23	Experimento					Interfaz
[83]	2012	Italia				X	X								X	Implementación	Residencial		Funcionamiento permanente	X				Interfaz	
[84]	2013	Estados Unidos							X	X							Análisis	Industrial							
[85]	2010	Corea del Sur			X	X	X			X							Diseño	Residencial		Experimento					Interfaz
[86]	2008	Corea del sur	X	X	X	X	X	X			X	X	X			X	Diseño e implementación	Residencial		Experimento					Interfaz
[87]	2013	Italia					X			X							Diseño e implementación	Industrial	3000	Funcionamiento permanente	X				Interfaz
[88]	2012	Estados Unidos					X	X		X							Diseño	Residencial		Experimento	X				Interfaz
[89]	2005	Turquía					X					X					Diseño e implementación	Residencial		Experimento					Interfaz
[90]	2013	Austria					X			X							Diseño e implementación	Edificación		Experimento					Interfaz
[91]	2007	China				X	X								X		Diseño e implementación	Residencial	24	Experimento					Interfaz
[92]	2013	Taiwán		X						X		X	X	X			Diseño e implementación	Residencial		Experimento					Interfaz

Ref.	Año	País	Aplicaciones						INV	Tecnologías Inalámbricas								Alcance	Lugar	Tiempo de análisis (Hs)	Caso	Hallazgo ppal.	INT
			Seguridad			Energía				Zig-Bee	IR	Wi-Fi	RF	Blue-tooth	Z-wave	GSM	Otra						
			CCTV	AC	AL	HVAC	IL	D															
[93]	2013	Portugal						X									Diseño e implementación	Edificación Residencial		Experimento	X	Interfaz	
[94]	2013	Holanda				X	X	X	X		X						Diseño	Residencial		Experimento		Interfaz	
[95]	2008	China						X									Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[96]	2011	Corea del Sur					X	X	X	X							Diseño e implementación	Residencial	24	Experimento		Interfaz	
[97]	2013	Vietnam				X	X	X	X								Diseño e implementación	Residencial	23	Experimento		Interfaz	
[98]	2012	Italia				X	X	X	X								Diseño	Edificación		Experimento		Interfaz	
[99]	2013	Corea del Sur						X	X								Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[100]	2014	Emiratos Árabes Unidos						X	X								Análisis	Residencial Edificación Industrial					
[101]	2015	Portugal						X	X								Diseño	Edificación	6	Experimento	X		
[102]	2012	Estados Unidos						X	X								Análisis	Edificación					
[103]	2014	Colombia			X			X	X								Diseño e implementación	Industrial		Experimento		Interfaz	
[104]	2015	Alemania					X	X	X								Análisis	Edificación					
[105]	2011	Portugal						X					X				Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz	
[106]	2007	Grecia						X							X		Implementación	Edificación	96	Experimento		Nulo	
[107]	2015	Malasia						X	X								Diseño y	Industrial	4	Experimento		Interfaz	



Ref.	Año	País	Aplicaciones						INV	Tecnologías Inalámbricas								Alcance	Lugar	Tiempo de análisis (Hs)	Caso	Hallazgo ppal.	INT
			Seguridad			Energía				Zig-Bee	IR	Wi-Fi	RF	Blue-tooth	Z-wave	GSM	Otra						
			CCTV	AC	AL	HVAC	IL	D															
[121]	2013	España							X	X		X						Análisis	Residencial	1	Experimento		Interfaz
[122]	2014	China							X			X						Diseño y análisis	Residencial	1	Experimento		Nulo
[123]	2011	India					X	X							X			Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[124]	2010	India						X							X			Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[125]	2014	Australia		X		X	X	X				X		X				Diseño y análisis	Residencial		Experimento		Interfaz
[126]	2015	India						X	X									Análisis	Residencial	1	Experimento		Interfaz
[127]	2014	India				X	X	X				X						Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[128]	2009	Singapur		X	X		X	X		X								Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[129]	2014	Uruguay		X								X	X					Diseño y análisis	Residencial		Experimento		Interfaz
[130]	2014	China	X		X	X		X							X			Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[131]	2014	Indonesia					X	X						X				Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[132]	2013	Chipre			X	X	X	X				X						Diseño y análisis	Residencial		Experimento		Interfaz
[133]	2013	Estados Unidos			X		X					X						Diseño e implementación	Residencial		Experimento	X	Interfaz
[134]	2013	Bangladés			X			X				X						Diseño e	Residencial		Funcionamiento		Interfaz

Ref.	Año	País	Aplicaciones						INV	Tecnologías Inalámbricas								Alcance	Lugar	Tiempo de análisis (Hs)	Caso	Hallazgo ppal.	INT
			Seguridad			Energía				Zig-Bee	IR	Wi-Fi	RF	Blue-tooth	Z-wave	GSM	Otra						
			CCTV	AC	AL	HVAC	IL	D															
																		implementación			permanente		
[135]	2013	India				X	X	X		X								Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[136]	2013	China						X		X					X			Diseño	Residencial		Experimento		Interfaz
[137]	2012	India	X	X	X		X			X					X			Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[138]	2011	Corea del Sur		X	X		X	X		X					X			Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[139]	2012	China							X	X								Análisis	Residencial				
[140]	2013	Túnez							X	X								Análisis	Residencial		Experimento		Interfaz
[141]	2011	China					X	X		X								Diseño	Residencial		Experimento		Interfaz
[142]	2012	China				X	X	X		X					X			Diseño e implementación	Residencial		Experimento		Interfaz
[143]	2009	Gales	X	X	X		X	X			X	X						Diseño e implementación	Residencial	1	Experimento		Interfaz
[144]	2013	China	X	X	X		X	X		X	X	X				X		Diseño	Residencial		Experimento		Interfaz
[145]	2006	Taiwán		X		X						X			X			Diseño e implementación	Residencial	1	Experimento		Interfaz
[146]	2013	China	X		X		X	X				X						Diseño	Residencial		Experimento		Interfaz
[147]	2013	China			X	X	X					X	X					Diseño	Residencial		Experimento		Interfaz
[148]	2010	Malasia						X		X					X			Diseño	Residencial	1	Experimento		Interfaz
[149]	2015	Italia					X			X								Diseño e implementación	Edificación	4382	Funcionamiento permanente	X	Interfaz
[150]	2014	Indonesia					X		X	X								Análisis	Industrial		Experimento		Interfaz
[151]	2015	Singapur							X	X		X							Residencial		Experimento		Interfaz

Ref.	Año	País	Aplicaciones						INV	Tecnologías Inalámbricas								Alcance	Lugar	Tiempo de análisis (Hs)	Caso	Hallazgo ppal.	INT	
			Seguridad			Energía				Zig-Bee	IR	Wi-Fi	RF	Blue-tooth	Z-wave	GSM	Otra							
			CCTV	AC	AL	HVAC	IL	D																
																		Diseño y análisis	Edificación Industrial					
[152]	2015	Estados Unidos					X	X	X									Diseño y análisis	Residencial		Experimento			Interfaz
[153]	2014	Emiratos Árabes Unidos		X		X	X	X										Diseño e implementación	Residencial		Funcionamiento permanente	X		Interfaz
[154]	2014	Taiwán			X	X	X	X	X									Diseño e implementación	Residencial	24	Experimento	X		Interfaz
[155]	2014	Canadá						X	X									Análisis	Residencial	5	Experimento			
[156]	2014	Estados Unidos						X		X								Diseño e implementación	Residencial Edificación	2	Funcionamiento permanente	X		Interfaz
[157]	2015	Estados Unidos				X	X	X		X								Diseño e implementación	Residencial		Experimento			Interfaz
[158]	2015	India			X					X								Diseño e implementación	Edificación		Experimento	X		Interfaz
[159]	2015	Estados Unidos		X						X								Diseño y análisis	Industrial	100	Experimento	X		
[160]	2015	China		X									X					Diseño e implementación	Residencial	25	Experimento	X		Interfaz
[161]	2015	España					X			X								Diseño e implementación	Edificación	72	Funcionamiento permanente	X		Interfaz
[162]	2014	India		X			X	X		X								Diseño e implementación	Residencial Edificación		Experimento			Interfaz

Ref.	Año	País	Aplicaciones						INV	Tecnologías Inalámbricas								Alcance	Lugar	Tiempo de análisis (Hs)	Caso	Hallazgo ppal.	INT
			Seguridad			Energía				Zig-Bee	IR	Wi-Fi	RF	Blue-tooth	Z-wave	GSM	Otra						
			CCTV	AC	AL	HVAC	IL	D															
[163]	2014	Indonesia			X				X	X		X						Diseño e implementación	Residencial Edificación Industrial	12	Experimento		Interfaz
[164]	2014	Portugal		X				X										Diseño e implementación	Residencial	1	Funcionamiento permanente	X	Interfaz
[165]	2015	China				X	X	X			X	X		X				Diseño e implementación	Residencial		Funcionamiento permanente	X	Interfaz

En la Fig. 11 se aprecia que en los últimos diez años la domótica ha crecido de forma continua. Se ha estado trabajando en cada una de sus aplicaciones, obteniendo mayor cabida el control de iluminación o de dispositivos (Fig. 12), lo que significa un alto interés en el uso racional de energía (URE) tal como lo muestra la Fig. 13. Se prevé que en el presente año así como en los próximos se mantenga esta tendencia, basta con observar la Fig. 11 para darse cuenta que al finalizar el periodo 2014-2015 se hará mayor uso de tecnología inalámbrica en la domótica que en un tiempo anterior.

ZigBee ha sido la tecnología inalámbrica más usada en la domótica, lo demuestra la Fig. 14 con un 43%, seguida por Wi-Fi con un 17%. Su uso se puede explicar en gran parte por ser protocolos basados en estándares de IEEE. GSM (11%) es importante debido al uso masivo de Smartphone como interfaz y se usa como un módulo complementario de las demás tecnologías.

A pesar que Z-wave es una de las tecnologías más usadas para la automatización del hogar no es un protocolo abierto, como si lo es ZigBee, lo que dificulta su aparición en análisis o diseños en los papers relegándolo al último puesto con un 4%. La presencia de IR (6%) se da mayormente por el uso de sensores de movimiento PIR. En contraste a Wi-Fi y Bluetooth, ZigBee consume menor potencia, característica propicia para usarse en domótica, sumado esto a su fácil integración debido a la posibilidad de crear nodos con pocos recursos electrónicos.

El diseño y la implementación es el alcance más común en los documentos con un 61%, los análisis o estudios ocupan el segundo lugar con un 17%. El 13% corresponde a sólo diseño y un 9% al diseño con su respectivo análisis. Lo anterior se puede apreciar en la Fig. 15. y comprende una alta aplicabilidad de tecnología inalámbrica en domótica/inmótica.

En la Fig. 16 se observa que el lugar donde más se interesa automatizar inalámbricamente es en el hogar con un 71%, seguido por la gestión en edificios con un 19% y relegando a la industria en un 10%. Esto demuestra la importancia de los hogares inteligentes en la actualidad.

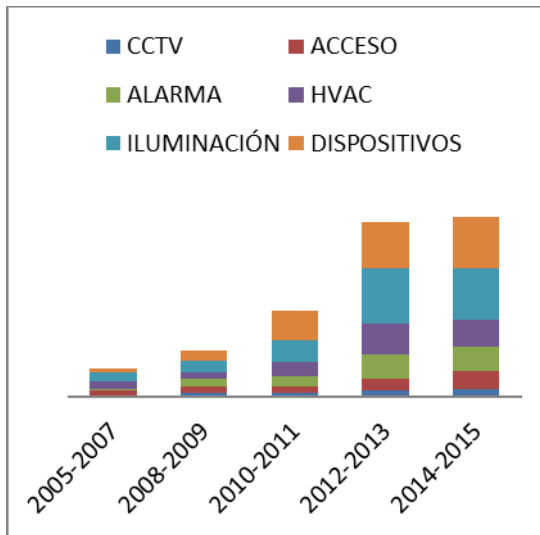
Algunos documentos indicaban el tiempo de análisis o monitorización del diseño implementado o evaluado. En promedio invertían una hora en los análisis, aunque había análisis que se hacían por un día, un mes o inclusive un año como se muestra en la Fig. 17.

El 91% de las aplicaciones corresponden a experimentos y solo el 9% a un caso de funcionamiento permanente tal como lo indica la Fig. 18. El 15% son hallazgos principales, los cuales indican que son opciones interesantes de ser replicadas. El 85% pertenece a diseños habituales en domótica. La Fig. 19 permite entender que todavía hay mucho por explorar. Sin duda, la domótica es un mercado rentable por lo que se tiene y se espera en el futuro.

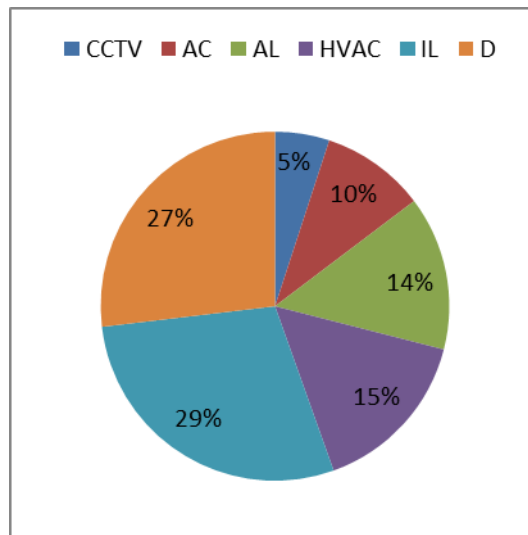
En la Fig. 20 se percibe que el medio de interacción del usuario con la aplicación más usado es por interfaz, es decir, por PC, Smartphone o tabletas con un 97%. Este resultado se debe al masivo uso de dichos dispositivos inalámbricos.

Según la información mostrada en la Fig. 21, el mayor aporte de investigaciones se ha dado en la región asiática; donde la India, Corea del Sur y China son los países más interesados en esta área. Por otro lado, Estados Unidos ha fomentado el uso racional de energía a partir de aplicaciones inalámbricas, al igual que países europeos como Italia, Portugal, España y Alemania, entre otros. Colombia ha desarrollado algunos trabajos relacionados con este campo.

**Figura 11. Tendencia de aplicaciones en años**



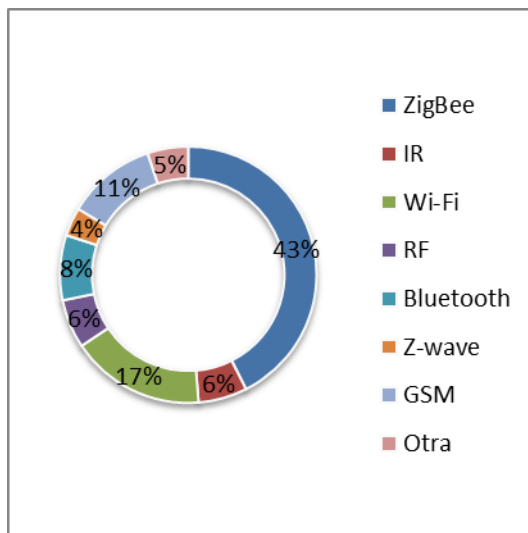
**Figura 12. Tendencia total de aplicaciones.**



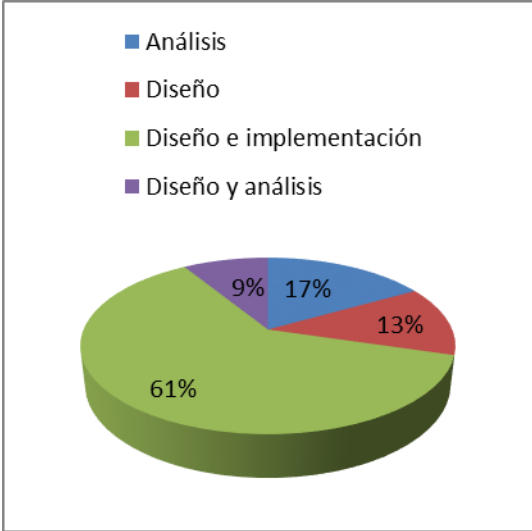
**Figura 13. Tendencias de aplicaciones generales.**



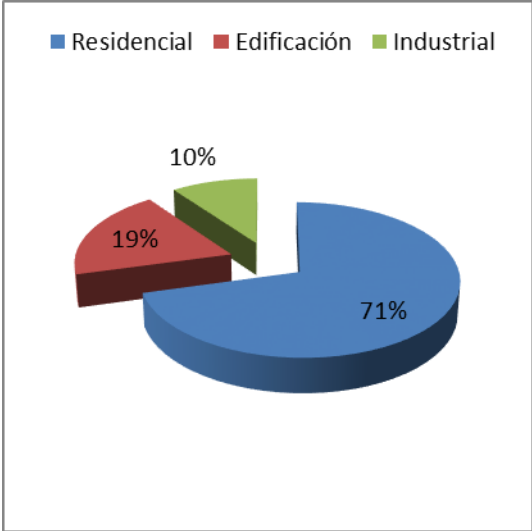
**Figura 14. Tendencia de uso de tecnologías inalámbricas.**



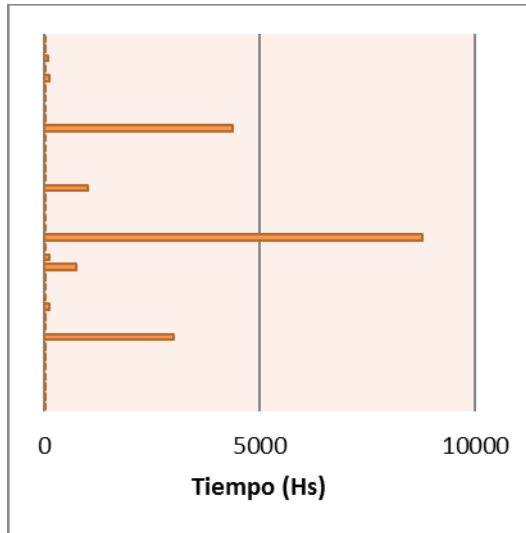
**Figura 15. Alcance**



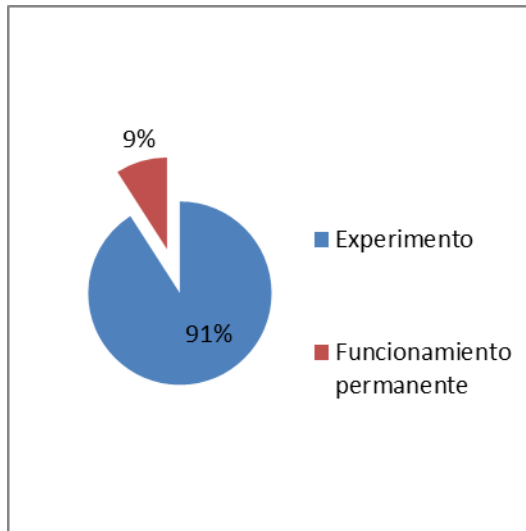
**Figura 16. Tendencia de lugares donde es aplicada la tecnología.**



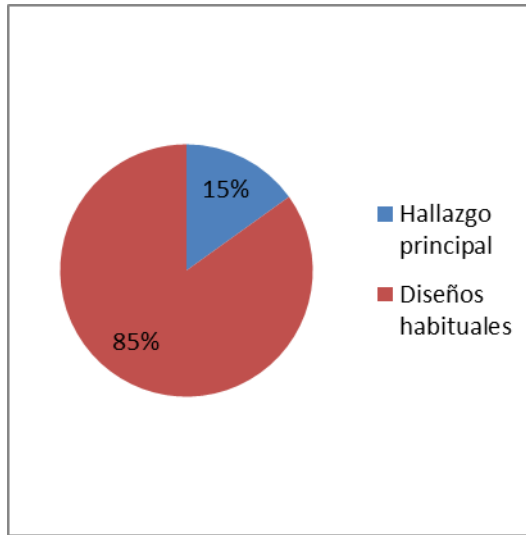
**Figura 17. Tiempo de análisis**



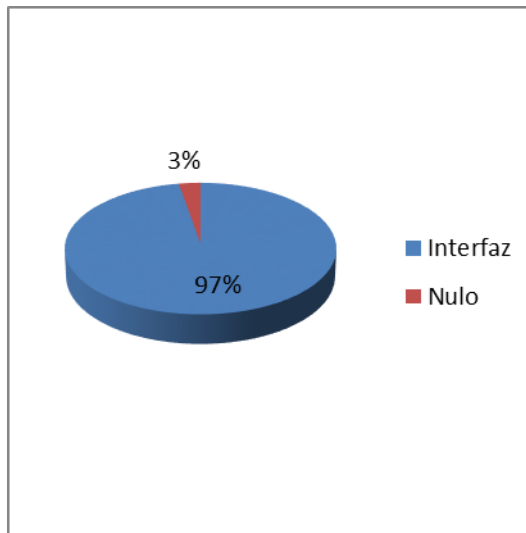
**Figura 18. Tipo de aplicación.**



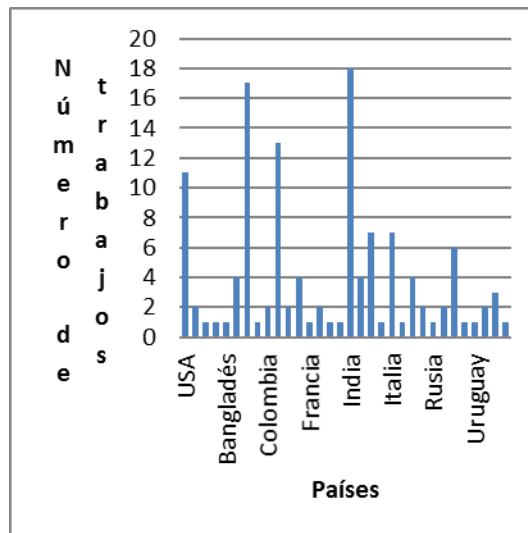
**Figura 19. Diseños.**



**Figura 20. Medio de interacción.**



**Figura 21. ¿Número de trabajos por país [4], [14], [20], [27], [29], [31], [34], [39], [41], [47], [54], [56], [62], [63], [70]-[162].**



## 2.2 APLICACIONES EN DOMÓTICA E INMÓTICA A PARTIR DE ZIGBEE

Según la información recopilada sobre los artículos en la Tabla 10, ZigBee es la tecnología más usada en domótica e inmótica debido al uso eficiente de energía con sus dispositivos que emplean el modo de espera cuando el sistema no se encuentra en operación minimizando el consumo energético. Su velocidad de datos también es importante y es la más alta respecto a las demás tecnologías, esta propiedad llama la atención para ser aplicada no solo en el uso racional de energía sino también en seguridad.

**2.2.1 Aplicaciones en seguridad** Es una de las aplicaciones más usadas de ZigBee junto con la del uso racional de energía, ya que es muy fácil la instalación de dispositivos y la modificación de posición de los mismos. Se distinguen sensores de movimiento, de rotura de cristales, apertura de puertas y ventanas [48]. En la Tabla 10 se muestra una breve descripción de algunos diseños e implementaciones de este tipo de aplicación usando el protocolo ZigBee.

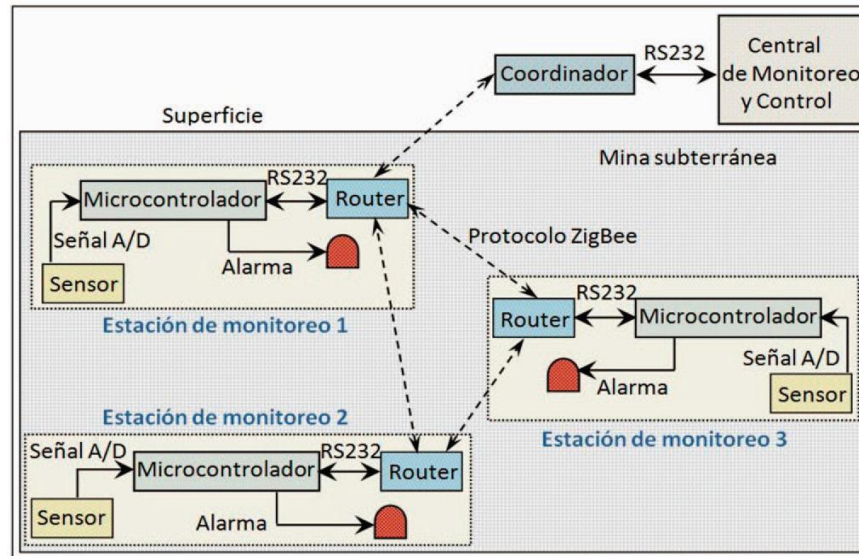
**Tabla 10. Aplicaciones en seguridad ZigBee.**

Ref.	Característica	País	Año
[78]	En este trabajo se diseña un sistema de sensor-actuador para la rápida detección de gases y el aislamiento inmediato de la fuente donde proviene la fuga de gas.	Italia	2014
[166]	En este trabajo se implementa una red de sensores para el monitoreo y control de alertas tempranas en minas subterráneas en Colombia.	Colombia	2013
[84]	Esta investigación estudia el desempeño de los sistemas ZigBee para el monitoreo de componentes en subestaciones eléctricas de alta tensión en EE.UU.	EE.UU.	2013
[80]	Se implementa un dispositivo de reconocimiento de voz humana mediante el uso de DSP (Procesador Digital de Señales) con LCP (Codificación Lineal Predictiva) dentro de un sistema domótico a través de radios ZigBeePro.	Colombia	2012
[92]	Se propone un método de hardware que integra ZigBee y Wi-Fi por medio del controlador arduino para mejorar de forma efectiva un sistema de control de acceso usando la escritura a mano como tecnología de reconocimiento para confirmar la identidad.	Taiwán	2013
[52]	Se propone un sistema con mecanismos de protección para mejorar las funciones de los sistemas de distribución tradicionales	Taiwán	2011
[103]	En este trabajo se presenta un sistema de detección para atmosferas explosivas en minas subterráneas de carbón.	Colombia	2014
[112]	En este informe se implementa un sistema de bajo costo de detección y alerta de fuego (FADS).	Malasia	2014

El sistema de alertas tempranas basado en ZigBee que propone Acero [166] ofrece flexibilidad y confiabilidad en la implementación de una red de sensores, como se aprecia en la Fig. 22. Se prevé que el cambio constante de la infraestructura en minas subterráneas de carbón aumenta las posibilidades de que se presenten accidentes, la mayoría generados por la alta concentración de gases combustibles. Por ello, esta red está orientada al monitoreo de atmosferas

explosivas, permitiendo ejecutar una acción preventiva de forma inmediata a través de semáforos informativos ubicados dentro de la mina.

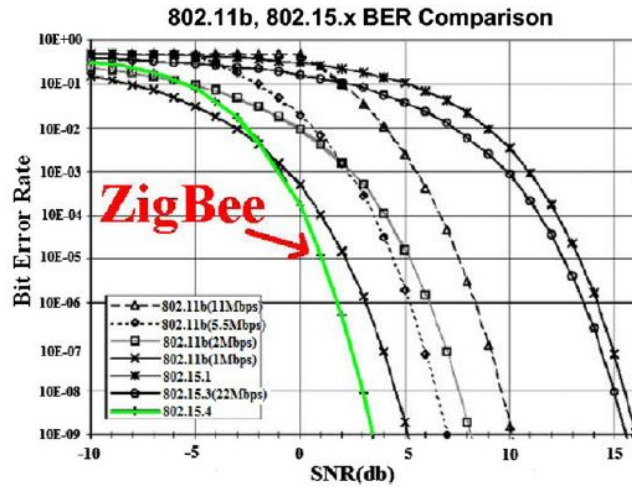
**Figura 22. Estructura del sistema de monitoreo de alertas tempranas [166].**



La fidelización del sistema mejorará significativamente las condiciones de trabajo en diferentes entornos. Esta solución puede implementarse en técnicas que impliquen el reconocimiento de voz como ayuda automática para niños con déficit motriz, adultos de tercera edad que requieran asistencia automática o personas que por alguna enfermedad no puedan efectuar labores comunes que pueden ser suplidas por sistemas electrónicos que controlen por su voz [80].

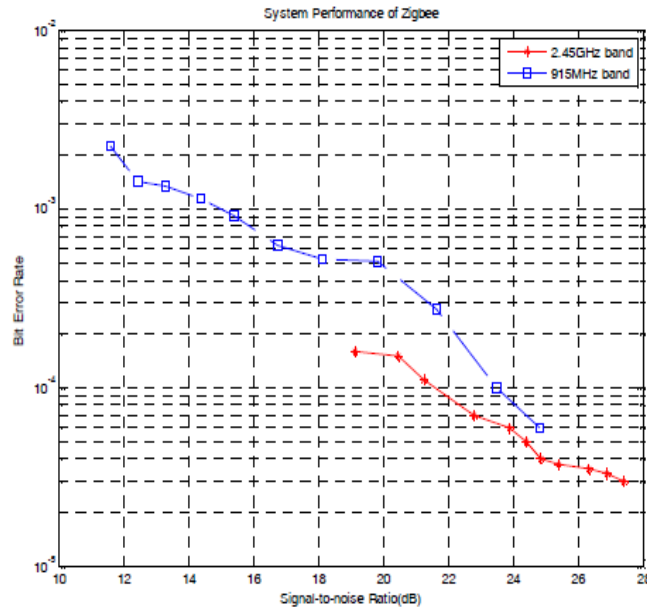
De acuerdo con Lian [92], la red anti ruido ZigBee es la mejor tecnología de redes inalámbrica tal como lo indica la Fig. 23, donde se muestra la comparación del ruido de una red ZigBee con otras redes inalámbricas.

Figura 23. Rendimiento de 802.15.4 en entornos de bajo SNR [92].



La investigación realizada por Meng [84] evidenció la ventaja de operar a 2,4 GHz sobre 915 MHz en entornos de RF como se demuestra en la Fig. 24. Sin embargo, este trabajo también apunta a la posible utilización de la banda de 915 MHz para la detección de fallo o cierre de equipo de alta tensión (es decir, una alta BER puede indicar un fallo dieléctrico de un equipo en estrecha proximidad con el nodo sensor) permitiendo al mismo tiempo la recolección de los datos de telemetría concurrente por los nodos sensores no afectados.

Figura 24. Rendimiento del sistema en la banda de 915 MHz y 2,4 GHz [84].



Las funciones de los sensores/actuadores en esta aplicación son las siguientes:

- Detección de gases: Analiza la cantidad de gas en el ambiente para evitar una explosión.
- Bloqueo de válvulas de gases: El actuador realiza la acción al recibir la información de una gran cantidad de gas en el ambiente.
- Detectando movimiento humano: Sensores PIR registran los movimientos de posible intrusos.
- Cámaras: Las cámaras son activadas por sensores de movimientos los cuales activan las cámaras para que tomen una foto enviándolas al servidor web y enviando un mensaje de advertencia via GSM al teléfono móvil [86].

Cabe mencionar los servicios que prestan en seguridad estos dispositivos ZigBee, como se muestra en la Fig. 25 [86]:

Figura 25. Imágenes de la implementación en el hogar [86].



**Servicio de bloqueo de puerta RFID:** cuenta con una tarjeta y un lector RFID ubicados cerca a una puerta, de acuerdo a la identificación de la persona el sistema de control decidirá si abrir o no la cerradura.

**Detección de crímenes:** detectores de movimiento y cámara de grabación son implementadas para detectar posible intrusos cuando los habitantes no se encuentran, enviando información e imágenes vía internet.

**Nodo de bloqueo de puerta:** para mejorar la seguridad del hogar se puede implementar un acceso por contraseña el cual después de tres intentos fallidos enviara un mensaje de advertencia al usuario GSM, además se implementa la función de bloqueo automático [86]. (Fig. 26)

**Figura 26. Implementación del nodo de bloqueo de puerta [86].**



**2.2.2 Aplicaciones para uso racional de la energía** La necesidad de disminuir el consumo energético de los nodos para alargar el tiempo de vida de las baterías durante tanto tiempo como para que puedan ser considerados una opción adecuada en aquellos escenarios en los que la sustitución de dispositivos debe evitarse en la medida de lo posible permite desarrollar aplicaciones relacionadas con la gestión de la energía. La mayoría relacionados con el control de luminarias. En la Tabla 11 se presenta una breve descripción de varios estudios centrados en el desarrollo y la aplicación de ZigBee para uso racional de energía.

**Tabla 11. Aplicaciones para uso racional de energía ZigBee.**

Ref.	Característica	País	Año
[85]	En este trabajo se desarrolló un nodo inteligente con capacidad de sensado (temperatura, humedad y luminosidad), procesamiento y enrutamiento.	Corea del Sur	2010
[86]	En este proyecto se propone el diseño un sistema de automatización de un hogar, basado en una red de sensores y actuadores inalámbricos, este sistema es capaz de recopilar información para ejecutar acciones de control de manera eficiente.	Corea del Sur	2008
[18]	Se diseñó un sistema inteligente de control de iluminación. Está compuesto principalmente por una aplicación Android/iOs, una compuerta, bombillas led y un servidor web, lo cual permite controlar la iluminación a	China	2013

Ref.	Característica	País	Año
	través de comandos táctiles.		
[59]	Se propone un sistema de control de iluminación de calles el cual está basado en un transmisor y receptor ZigBee.	Italia	2012
[50]	Se hace un control de iluminación LED mediante ZigBee.	India	2014
[167]	Se hace un barrido de algunas de las aplicaciones en las cuales los dispositivos ZigBee pueden incrementar la eficiencia y/o reducir costo.	Estados Unidos	2008
[56]	Se desarrolla la estructura SEMS, la cual consiste en un microcontrolador de 8 bits de bajo consumo, un circuito integrado medidor de energía, un módulo de comunicación ZigBee, relé de potencia y una pantalla LCD. Su función es visualizar el consumo de energía en tiempo real y su acumulado.	Corea del Sur	2013
[94]	Se presenta un HEM ( <i>Home Energy Management</i> ) que tiene como objetivos ser de bajo costo, permitirle al usuario tomar decisiones, informarle al usuario respecto al consumo de energía del hogar	Holanda	2013
[95]	Se presenta el diseño e implementación de un sistema de tomacorrientes controlables de forma inalámbrica para una red domótica.	China	2008
[96]	Se propone un HEMS (Sistemas de gestión de energía residencial) basado en la comunicación ZigBee y controles remotos infrarrojos.	Corea del Sur	2011
[98]	Se presenta el diseño de un sistema de administración de energía en edificios basado en el <i>cloud computing</i> . Los componentes principales del sistema consisten en una entidad monitora de energía (PME), una entidad de información del ambiente (EIE), cada una de ellas utilizando una interfaz ZigBee.	Italia	2012
[53]	En este trabajo se presenta un nuevo protocolo de enrutamiento DMPR para mejorar el rendimiento de las redes de sensores ZigBee en el sistema de control de energía dispuesto en un hogar que ofrece servicios inteligentes para los usuarios.	Corea del Sur	2010
[99]	En este artículo se presentan cinco casos de desarrollos e implementaciones de sistemas de pantallas en el hogar	Corea del Sur	2013

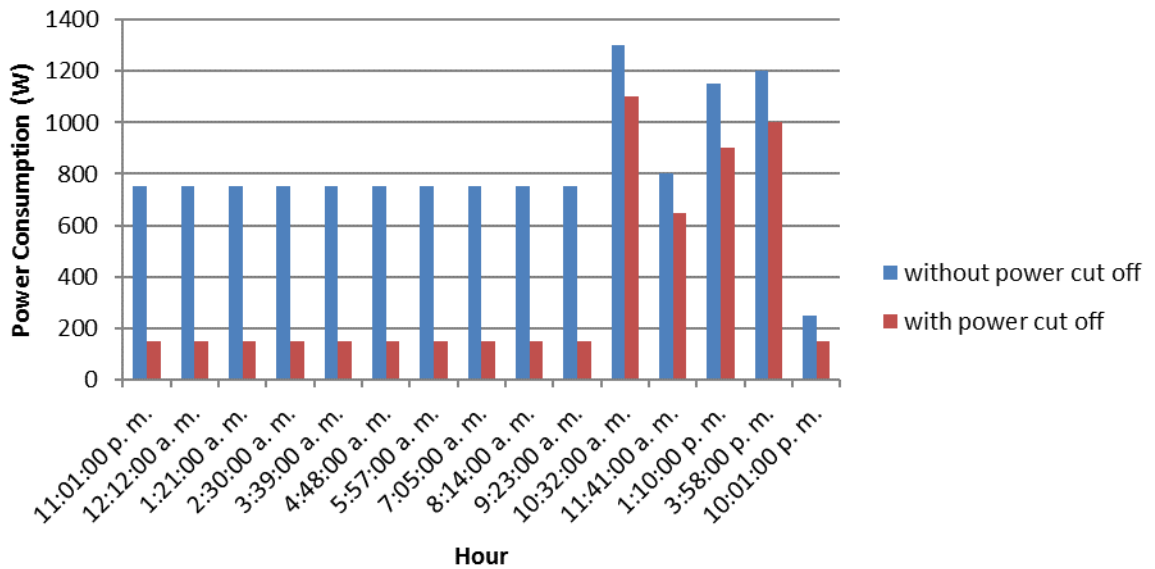
Ref.	Característica	País	Año
	(IHD) para la monitorización y reducción de energía en áreas residenciales.		
[101]	En este informe se presenta una solución para controlar el consumo de energía en los nodos ZigBee utilizando una bobina toroidal del transformador de corriente de núcleo dividido (SCCT).	Portugal	2015
[54]	Este documento propone el diseño de un sistema de control de energía en el hogar (HEMS) mediante módulos ZigBee para el monitoreo de la generación y consumo energético, respectivamente.	Corea del Sur	2014
[14]	En este trabajo se presenta el diseño e implementación de diferentes mecanismos de control de los aparatos eléctricos de uso doméstico.	Nueva Zelanda	2014
[107]	Este artículo propone una función de <i>cross-layer</i> , la cual permite interactuar con las capas del modelo de la red de sensores inalámbricos móviles IEEE 802.15.4 (MWSNs) con el fin de mejorar el rendimiento y consumo energético del sistema.	Malasia	2014
[111]	Este informe estudia el concepto de <i>Smart metering</i> o medición inteligente (AMI) en hogares automatizados (HAN) mediante el uso de la tecnología inalámbrica ZigBee con el fin de maximizar el manejo eficiente de la energía.	India	2011
[113]	En este artículo se presenta el diseño de un sistema de hogar inteligente. Se describe su hardware y software y se hace énfasis en la interoperabilidad, versatilidad y capacidad del sistema.	Canadá	2014

En lo que al uso racional de energía compete se están usando sensores inalámbricos para disminuir el consumo de energía en un hogar, basándose en un modelo de red eléctrica inteligente (*Smart Grid*). Uno de los factores más importantes que se tiene en cuenta es el consumo de energía en estado de reposo de los dispositivos.

Para reducir el consumo de energía Langhammer [79] plantea dos estrategias: la primera, mediante detectores de presencia llevar a stand-by los dispositivos que no se estén utilizando y la segunda estrategia consiste en cortar la energía en las horas en las cuales no se encuentre nadie en el recinto.

Los resultados se observan en la Fig. 27. De color azul la primer estrategia y de color rojo, la segunda. Esta imagen demuestra que la primera estrategia consume mayor energía que la segunda. Así que para reducir de manera considerable el consumo energético es mejor optar por cortar la energía cuando no haya presencia de personas en el recinto.

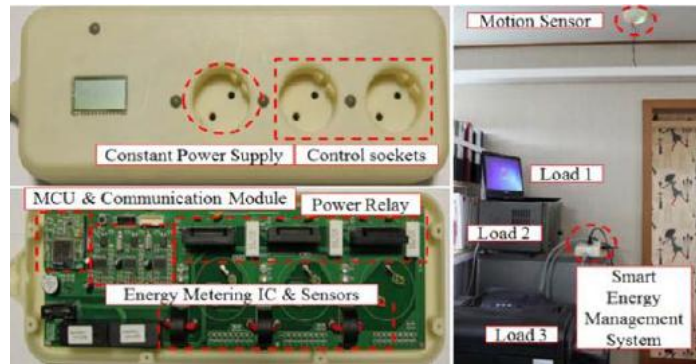
**Figura 27. Resultados obtenidos en un hogar con Smart Grid [79].**



Park [56] evidencia en su trabajo la reducción de consumo de potencia. Para probar el sistema se utilizaron tres dispositivos electrónicos: una fotocopiadora, un microondas y un computador como se muestra en la Fig. 28; el computador está conectado al primer tomacorriente, el cual suministra energía constantemente, la fotocopiadora, que tienen un alto consumo de energía en *standby* y el microondas,

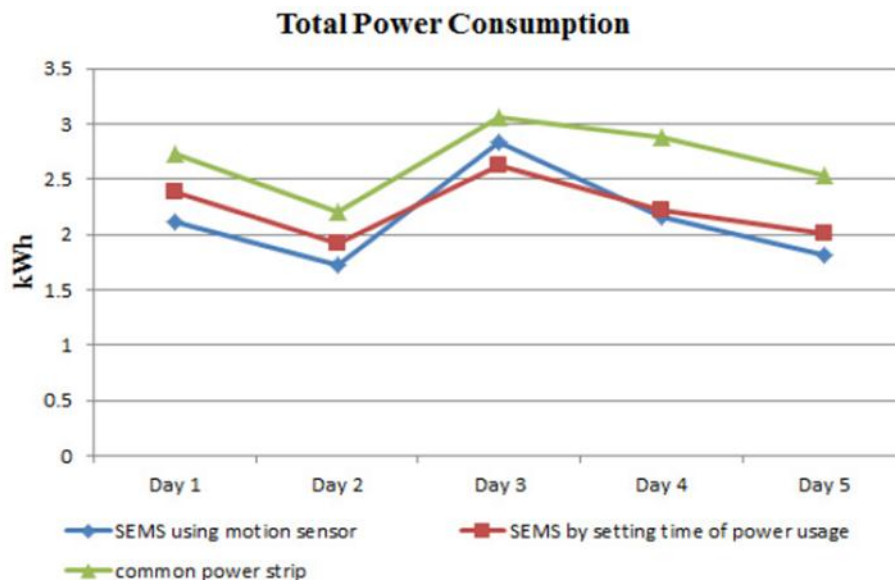
que tiene un tiempo en *standby* superior a su tiempo en uso, los mismos fueron conectados al segundo y tercer tomacorriente respectivamente.

**Figura 28. Estructura del SEMS y banco de prueba para el experimento [56].**



Como se puede observar, con el uso de los tomacorrientes desarrollados se reduce el consumo de energía en comparación con un tomacorriente común, tal cual como lo demuestra la Fig. 29.

**Figura 29. Consumo total de energía durante el experimento [56].**



El sistema HEM desarrollado por Keyson [94] se puso a prueba en tres diferentes locaciones ubicadas en Alemania, Reino Unido y Holanda; durante las pruebas se destacan las siguientes características:

- ZigBee no es un estándar técnico, por lo tanto hay múltiples implementaciones llamadas perfiles de aplicación.
- La base de ZigBee está construida en lo más alto del estándar IEEE 802.15.4 que define la capa física y la capa de control de acceso de la pila del protocolo inalámbrico.
- Los módulos XBee serie 1 pueden ser usados en una red ZigBee punto a punto o estrella, y los módulos XBee serie 2 pueden ser usados además en una red tipo malla.
- Una red tipo estrella son más fáciles de coordinar, pero la distancia al coordinador central no puede ser muy grande, debido a que no puede haber un router que entregue el mensaje.
- Una de las razones para usar ZigBee es evitar el uso de WiFi debido a su alto consumo de energía, pero deshacerse de WiFi no es tan fácil debido a que usando 3G el tiempo de respuesta aumenta de 3 a 5 segundos para controlar una bombilla dentro del hogar, lugar donde uno esperaría una respuesta inmediata, por lo tanto es necesario el uso de un punto de acceso WiFi para mejorar los tiempos de respuesta.

El sistema HEMS propuesto por Han [96] está equipado con luminarias dimerizables, tomacorrientes y una central ZigBee. La luminaria dimerizable y el tomacorriente, incluyen una función para medir el consumo de potencia y la capacidad de la comunicación ZigBee, la central está conectada a las luminarias dimerizables y a los tomacorrientes. El servidor local se comunica con la central a través de la red ZigBee, de esa manera es capaz de controlar y monitorear las luminarias y los tomacorrientes.

Cuando un dispositivo es conectado a un tomacorriente, el usuario lo puede registrar en la interfaz de usuario del HEMS del servidor local asignándole el número del tomacorriente. En el HEMS del servidor local se puede observar el uso de energía por horas, diario, y mensual de cada dispositivo además de poder observar el consumo de los dispositivos en tiempo real. El usuario puede acceder al HEMS a través de internet y controlar los dispositivos conectados. Cuando el usuario cambia un dispositivo de un tomacorriente a otro es necesario cambiar la asignación del dispositivo, eso se puede realizar gracias a la interfaz de usuario del HEMS [96].

En cuanto a Suh [86] se pueden extraer los siguientes componentes, los cuales son comunes de un sistema de automatización del hogar.

*Componente de sensado:* Diseñado para recibir y solicitar los datos del sensado, aquel está encargado de administrar los nodos genericos de sensores, la Fig. 30 los muestra.

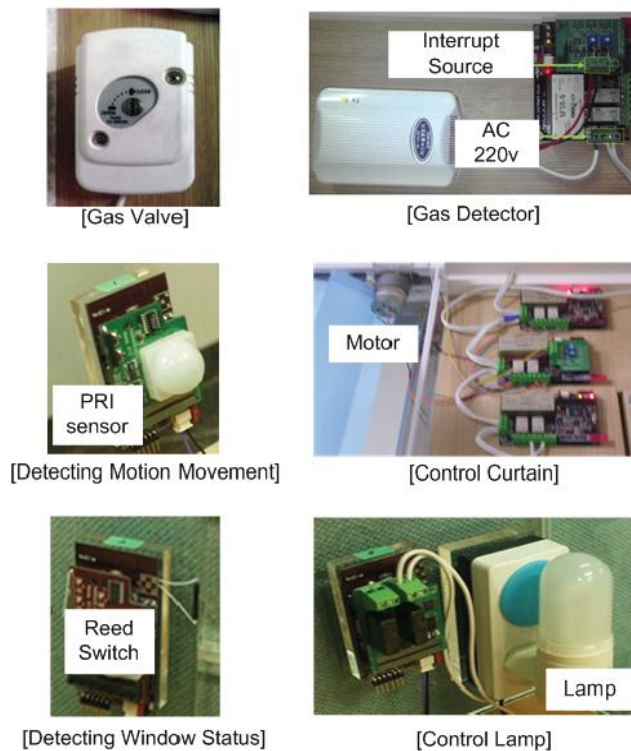
*Componente de decisión:* Los servicios del hogar son seleccionados apropiadamente, basados en la informacion proporcionada por el componente de sensado.

*Componente de control:* Controla los nodos de los actuadores, ejecutando la solicitud realizada por el componente de servicio, todas las tareas relacionadas con controlar los dispositivos del hogar son manejadas por este componente.

*Componentes adicionales de comunicación:* El sistema requiere varias tecnologías de comunicacion para poder interactuar con el internet, los mobiles celulares y las laptops, las cuales son administradas por eset componente.

*Componentes de servicio:* servicio de automatización del hogar encargado de controlar los aires acondicionados, los purificadores de aire y los movimientos de las cortinas de acuerdo con el clima, servicio de seguridad del hogar detecta posibles crímenes y evita explosiones de gas, y la administración del hogar via internet.

**Figura 30. Diferentes sensores y actuadores [86].**



Particularmente, Leung [64] estudia tres alternativas para la conexión de una red inalámbrica ZigBee, las cuales consisten en, un repetidor ZigBee, una compuerta ZigBee/wifi y un enfoque híbrido.

*Alternativa del repetidor ZigBee:* El objetivo de esta alternativa es preservar la integridad de la señal y extender la distancia por la cual los datos pueden viajar de forma segura. El repetidor ZigBee actúa como un router en una red ZigBee y los

paquetes son enviados a través de una topología enmallada o árbol, dependiendo de la organización de la edificación se necesitaran uno o más repetidores.

*Alternativa Compuerta WiFi/ZigBee:* la compuerta WiFi/ZigBee actúa como un coordinador ZigBee en cada suits de la red. Para este caso la topología utilizada entre dispositivos ZigBee es la topología estrella, cuando los paquetes van dirigidos a una dirección WiFi, se genera un comando el cual es identificado a llegar a la compuerta, la cual se encarga de enviar el paquete a su destinatario, esto mismo sucede en dirección contraria.

*Alternativa hibrido compuerta ZigBee/WiFi y router ZigBee:* en esta alternativa se usa una topología tipo árbol para el envío de los paquetes, en la figura 5 se muestra el escenario de ejemplo utilizado, la principal ventaja de este método es ahorrar el costo de múltiples compuertas.

Leung [64] compara el impacto de las topología estrella y árbol en las alternativas de repetidor y el hibrido, los resultados muestran que la topología estrella es más adecuada para la alternativa hibrida con un *throughput* (rendimiento) más alto comparada con la topología árbol, mientras que la topología árbol tiene mejor rendimiento que la topología estrella, la topología árbol tiene una característica importante la cual es que utiliza *router* para extender su área de cobertura.

**2.2.3 Ventajas y desventajas** A continuación se organiza la Tabla 12 para mostrar las ventajas y desventajas de la tecnología.

**Tabla 12. Ventajas y desventajas ZigBee [34].**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La alianza ZigBee está respaldada por más de 400 compañías.</li> <li>• Estándar interoperable.</li> <li>• Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy baja tasa de transferencia de datos.</li> <li>• Incompatibilidad con Bluetooth porque no comparten las mismas tasas de transferencia, ni la misma</li> </ul>

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>mall.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.</li> <li>• Bajo consumo, puede ser alimentado por una batería tipo moneda.</li> <li>• Hasta 65.000 nodos en una red.</li> <li>• 28-bit AES de cifrado - Provee conexiones seguras entre dispositivos.</li> <li>• Económicos y su instalación es sencilla.</li> </ul>	<p>capacidad de soporte para nodos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN.</li> <li>• Puede presentar interferencias en la banda 2,4 GHz</li> </ul>

**2.2.4 Tendencias y trabajos futuros** Con los sistemas inalámbricos se despliega el problema de la interferencia, tal es el caso de ZigBee que lo sufre inevitablemente por parte de Wi-Fi, la cual tiene una potencia de salida muchísimo mayor y comparten la misma banda de frecuencia.

Es por ello que Shi [81] se ha centrado en la utilización de la propiedad temporal y espacial de las interferencias Wi-Fi para ajustar el canal ZigBee sobre el conjunto de las redes. Primero, se examina experimentalmente la variación espacio-temporal y luego se presenta un nuevo método de evaluación de la interferencia. Aquella propuesta considera conjuntamente la intensidad y la densidad de interferencia Wi-Fi con el fin de caracterizar la relación entre interferencia y la calidad del enlace.

Como un enfoque para evitar la interferencia de redes ZigBee se crea Muzi (ZigBee Multicanal), el cual consta de tres componentes: evaluación de la interferencia, cambio de canal y el mantenimiento de la conectividad. Su objetivo es determinar un canal de trabajo mejor para cada nodo. Se demuestra que, en virtud de la existencia de interferencias Wi-Fi, Muzi puede alcanzar 3,3 veces el rendimiento que el método de un solo canal tradicional [81].

Como tendencias de esta tecnología se encuentran las siguientes:

Automatización del hogar: Perfil ZigBee para la automatización del hogar, concentrándose en el confort, seguridad y administración de la energía donde podemos encontrar termostatos inteligentes y *displays* en el hogar.

Redes de iluminación: Estándar respaldado por las compañías de iluminación más grandes del mundo; como ejemplo el desarrollo de bombillas led inalámbricas. Las características son las que siguen:

- Encendido y apagado.
- Identificación.
- Control de intensidad.
- Control de grupos.
- Control de escena.

La nube se ha convertido en un avance importante en el último tiempo, por lo cual se han buscado soluciones para que los sistemas domóticos puedan ser controlados a través de ella, otorgándole acceso al operario en cualquier lado donde pueda acceder a la web. La Tabla 13 dispone de un paralelo entre trabajar con y sin servicio en la nube.

**Tabla 13. Paralelo con y sin servicio en la nube [98].**

<b>Sin servicio en la nube</b>	<b>Con servicio en la nube</b>
La iluminación puede ser controlada por uno o múltiples controles remotos.	La iluminación puede ser controlada directamente por un control remoto o por un Smartphone.
	Se necesita el servicio de la nube para controlar la iluminación desde fuera del hogar.
	Se necesita de un control directo cuando se encuentre en el hogar, para una latencia aceptable.

La literatura demuestra que la tecnología inalámbrica más usada es ZigBee, lo cual se debe a que la misma se ha desarrollado con miras a su aplicación en el campo de la domótica, además de estar estandarizada (IEEE 802.15.4) y ser un protocolo abierto a diferencia de Z-Wave.

Se han desarrollado diferentes chips que trabajan con ZigBee y se comercializan de forma abierta lo cual facilita el diseño de sistemas o dispositivos de comunicación inalámbrica por parte de terceros.

ZigBee puede implementar más de una tecnología aprovechando sus ventajas para suplir deficiencias de sistemas que implementan una sola, ofreciéndoles mayor robustez.

A pesar de que se ha desarrollado Bluetooth de bajo consumo, su principal desventaja frente a Zigbee es su topología de red ya que solo soporta *piconets* frente a las redes en mallas de ZigBee las cuales le dan mayor robustez al sistema.

Prinslin [168] afirma que ZigBee revolucionaría las estadísticas en los próximos dos o tres años, un mínimo de unos 100 a 150 chips de ZigBee estarían presentes en los hogares, ya que éste costaría solo 5 dólares, sin mencionar que la reducción del tamaño de memoria de la pila del protocolo rebajará el precio del chip a tan solo 2 dólares.

## 2.3 APLICACIONES EN DOMÓTICA E INMÓTICA A PARTIR DE Z-WAVE

Z-Wave es una tecnología utilizada en la automatización del hogar, teniendo mayor presencia en aplicaciones como seguridad para la iluminación, cerraduras y termostatos.

**2.3.1 Aplicaciones en seguridad** En la Tabla 14 se dispone de un estudio de seguridad en la automatización del hogar, en cuanto a la parte de iluminación se refiere.

**Tabla 14. Aplicaciones en seguridad Z-wave.**

Ref.	Característica	País	Año
[4]	Este trabajo estudia la probabilidad de que haya una explosión de las lámparas fluorescentes compactas por medio de la tecnología inalámbrica Z-wave.	Estados Unidos	2013

Dixon [169] implementó una aplicación de autenticación de dos métodos: cuando la persona se autentica con su voz en el teléfono (reconocimiento de voz) y con su cara en la cámara (reconocimiento facial).

**2.3.2 Aplicaciones para uso racional de la energía** En la Tabla 15 se mencionan algunas aplicaciones para el uso racional de energía.

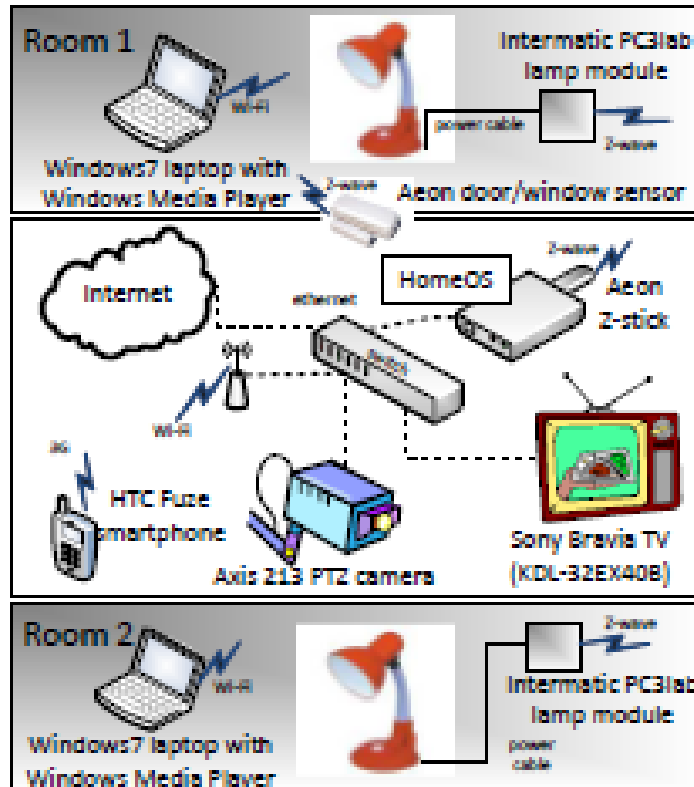
**Tabla 15. Aplicaciones para uso racional de energía Z-wave.**

Ref.	Característica	País	Año
[169]	Se desarrollaron drivers para interactuar con un conjunto de dispositivos de iluminación, sensores de puerta / ventana, Smartphone, cámaras de red, televisores controlados mediante el protocolo Z-Wave. La Fig. 31 muestra uno de los bancos de pruebas con algunos de estos dispositivos.	Estados Unidos	2012
[105]	En este trabajo se implementan dos medidores de	Portugal	2011

<b>Ref.</b>	<b>Característica</b>	<b>País</b>	<b>Año</b>
	lectura de energía: automática (AMR) y de infraestructura avanzada (AMI) atendiendo a la red de sensores Z-wave con la capacidad de procesar, almacenar y comunicar datos de forma digital con el fin de evaluar y utilizar la energía eficientemente.		
[108]	En este artículo se analiza el consumo de energía de cuatro casas automatizadas mediante Z-wave. Además se hace una comparativa en términos de energía consumida y costo con un hogar que no cuenta con este tipo de sistema.	Corea del Sur	2011
[109]	En este informe se describe esta plataforma inalámbrica como una organización de inteligencia granular para ser implementada en aplicaciones domóticas y se ofrecen algunas consideraciones derivadas de estudios en el laboratorio.	Corea del Sur	2010

Hoy en día, se puede controlar cualquier dispositivo del hogar de forma remota, como luces, cerraduras, termostatos, cámaras, sensores de movimiento, etc. Es por eso que Dixon [169] se presenta una plataforma basada en Z-wave llamada HomeOS, la cual ofrece a los usuarios una interfaz de gestión diseñada para el entorno doméstico.

Figura 31. Banco de pruebas implementado [169].



El hecho de contar con protocolos de interoperabilidad simplifica en gran medida la tarea de hacer que estos dispositivos funcionen con HomeOS porque un módulo Z-wave se puede comunicar con diferentes dispositivos. Por ejemplo, el módulo DLNA trabaja con Windows 7 y la TV Sony; y el módulo *lightswitch* Z-Wave funciona con dispositivos Aeon e Intermatic. Entre mayor adopción de protocolos que brinden interoperabilidad, más fácil será la integración de dispositivos con HomeOS [169].

A su vez, se han desarrollado 18 aplicaciones que se utilizan para los dispositivos y se ejecutan en los bancos de pruebas. Algunas aplicaciones requieren acceder únicamente a un solo dispositivo como el caso de encender o apagar una luz, y otras son algo más complejas. Por ejemplo, una aplicación multimedia dirige la música de una habitación a otra, dependiendo de cómo las luces se activen o

desactiven en cada habitación (debido a la presencia humana en la habitación) [169].

HomeOS se ha extendido en muchas direcciones gracias a estudiantes, grupo de trabajo, ingenieros, etc. que se han tomado el tiempo para desarrollar nuevas aplicaciones. Como manera de ejemplo, un grupo extendió HomeOS para apoyar la cámara Kinect RGB-D y construyó una aplicación que permite a los usuarios controlar las luces a través de gestos como se muestra en la Fig 32. Ellos lo lograron sin tener que esperar una integración de Kinect con un sistema comercial de gran tamaño, y también fueron capaces de conseguir una interacción con los dispositivos existentes [169].

**Figura 32. Interacción en control de iluminación mediante gestos [169].**



**2.3.3 Ventajas y desventajas** A continuación se elabora la Tabla 16 que muestra las ventajas y desventajas de la tecnología:

**Tabla 16. Ventajas y desventajas Z-wave [44].**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema RF. Trabaja en la banda de los 868MHz y evita interferencias en la banda utilizada de 2,4 GHz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Depende de la programación del ciclo de comunicación afectaría de forma negativa o positiva a la batería.</li></ul>

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La topología es tipo malla y los módulos actúan como transceptores estando alerta a cualquier tipo de cambio y así evitar cualquier tipo de interferencia u obstáculo.</li> <li>• Los módulos tienen la opción de hibernar para evitar consumir mucha energía.</li> <li>• Sus aplicaciones mayormente son para la automatización de hogares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es superior en brindar soluciones propietarias de algunos fabricantes pero es claramente inferior a las soluciones comparables de Zigbee.</li> <li>• Es un estándar cerrado.</li> <li>• No hay interoperabilidad o integración con diferentes dispositivos de distintas tecnologías.</li> </ul>

Una de las desventajas más marcadas de esta tecnología es que, para evitar que el hardware esté constantemente activo, han ‘dormido’ los dispositivos, por ejemplo, si el ciclo está programado para que esté activo cada 15 minutos y si el sensor de temperatura llegase a percibir un cambio al minuto 7 solo lo comunica a la central hasta el tiempo programado de activación, en este caso, a los 15 minutos.

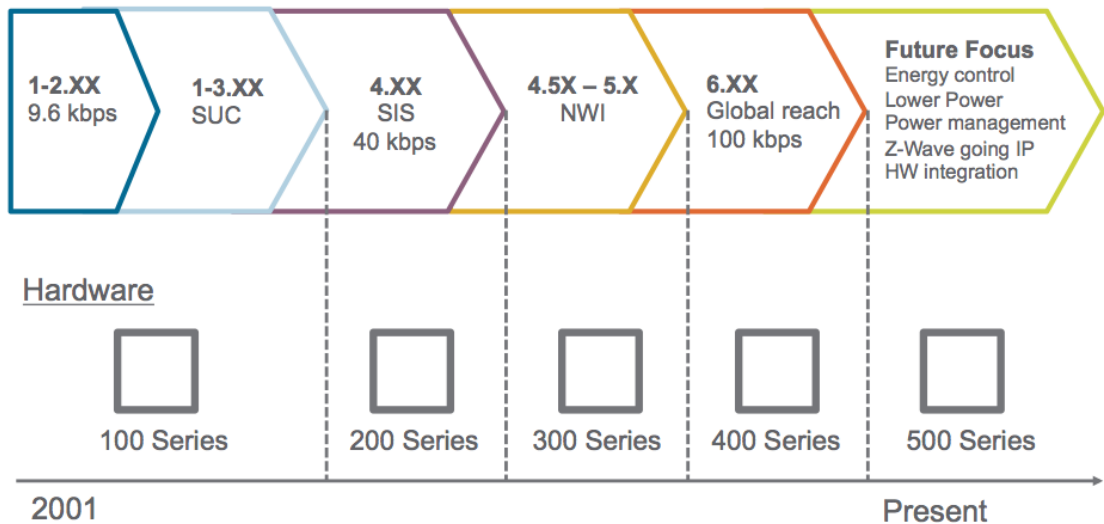
**2.3.4 Tendencias y trabajos futuros** Z-wave es una tecnología que se ha especializado específicamente en la automatización de hogares por vía RF. De allí que sus tendencias se centren en el control y gestión remoto doméstico pasando por la regulación del consumo energético, sistemas de seguridad y entretenimiento. Las soluciones de la misma se reducen a un ambiente casero generando un gran inconveniente debido a su naturaleza cerrada. Como trabajos futuros se analizan posibles soluciones abiertas al uso del protocolo.

Para lo anterior, un grupo de desarrolladores [44] han creado Open Z-Wave, la cual trata de una librería de código abierto que permite crear aplicaciones que operan y responden a dispositivos en una red Z-Wave, sin necesitar

conocimientos profundos del protocolo Z-Wave o tener que pagar por el caro kit de desarrollo.

Sigma Designs ha estado desarrollando Z-Wave en cuanto a hardware y software se refiere. La Fig. 33 muestra el desarrollo de 5 versiones de hardware desde 2001. Como se puede apreciar la velocidad de transmisión ha ido aumentando a medida que pasan los años, se espera que para los próximos años supere los 100 kbps.

**Figura 33. Historia de la evolución de hardware de Z-wave [170].**



La tendencia de Z-wave se limita a soluciones domésticas como lo trabaja Amaro [105] en el diseño de un medidor de energía conectado a sensores inalámbrico mediante la red mallada que dispone dicha tecnología. Sin embargo, la fiabilidad que ofrece el sistema por el hecho de no someterse a las interferencias de la banda de 2,4 GHz ha logrado que Z-wave extienda su uso en centros comerciales hasta hoteles llegando al sector industrial.

Un ejemplo de lo anterior es el hotel Winn de las Vegas que en el año 2012 eligió Z-wave para su megaproyecto de control de iluminación y gestión energético. El

mismo cuenta con alrededor de 65 mil dispositivos Z-wave aunque al día de hoy se busca la integración con dispositivos ZigBee para evitar el problema de la interoperabilidad que padece Z-wave al tratarse de una tecnología con un estándar cerrado.

Se ha trabajado también en el nuevo dispositivo Z-wave IP Gateway Z/IPGW, el cual simplifica la integración del protocolo. Esto permite que aplicaciones TCP/IP puedan comunicarse de manera directa con los módulos Z-wave mediante un proceso estándar y abierto. Un gran inconveniente que presenta este prototipo es que no es un producto comercial. Para lograrlo se deberían revisar algunos ítems como los que siguen [170]:

- Rendimiento entre la aplicación y los servicios remotos.
- Estabilidad de los servicios remotos.
- Empaquetamiento de la aplicación para su fácil instalación.

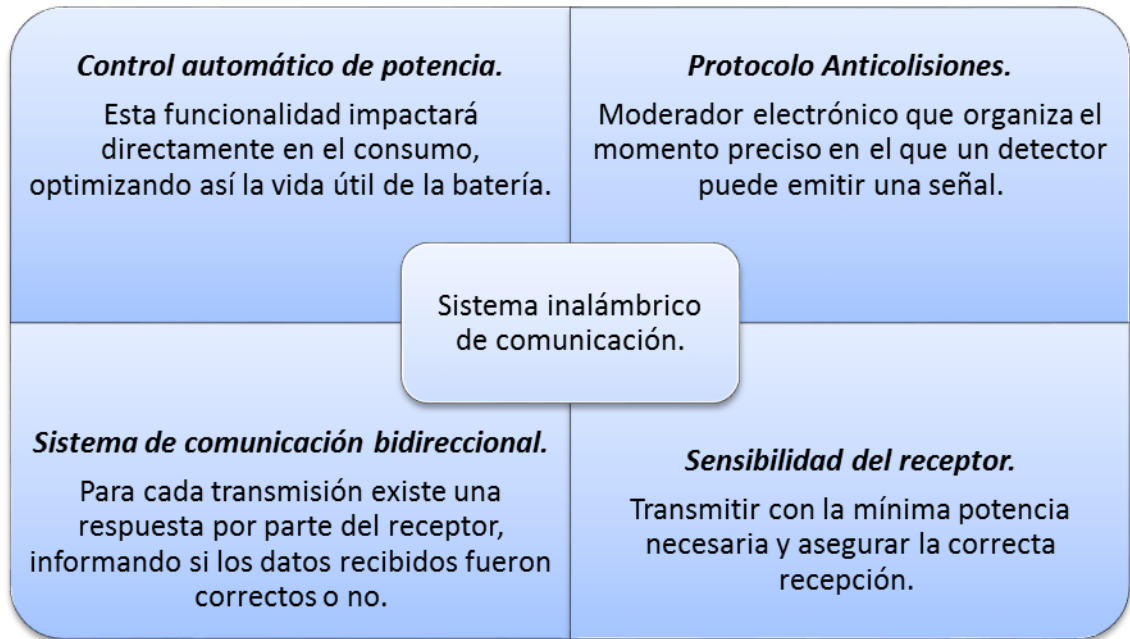
### 3. ESQUEMA DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA EN DOMÓTICA

Para plantear un esquema básico de red inalámbrica es necesario conocer su aplicación, el área que se desea cubrir, los dispositivos a manipular, los diversos obstáculos o interferencias a afrontar. Además de esto, es indispensable tener en claro tres elementos fundamentales: el emisor, el medio inalámbrico y el receptor.

El transmisor (sensor) emite una señal que es interpretada por el receptor (central de control-actuador). Esta información está vinculada a la apertura o cierre, apagado o encendido, estado de batería, entre otros factores. Cuando ocurre la transmisión, el receptor debe cerciorarse también que la información haya llegado al emisor de forma correcta, estos intentos de transmisión (reenvío de datos) sin duda alguna agotan el tiempo de vida útil de la batería del emisor. Otra desventaja es que estas reiteraciones ocupan el canal de comunicación, lo cual aumenta la probabilidad de colisiones entre transmisiones [171].

Estas redes sufren de sobrecarga de paquetes de datos y por ende resulta complicado el control y la transmisión de los mismos. La importancia del esquema se ve reflejada en la conducción de la red para que consuma la menor energía posible manteniendo la proporción de la entrega de datos [107]. En la Fig. 35 se presentan cuatro pilares fundamentales con el fin de establecer un sistema de comunicación inalámbrico ideal, en el cual se logre minimizar los posibles fallos y el consumo energético, que es lo que en últimas compete.

**Figura 34. Pilares fundamentales para establecer un sistema ideal de comunicación inalámbrica [171].**



En general, la organización lógica y jerárquica de la red afecta tanto el consumo de energía como la selección de protocolos de comunicación. Gungor [172] ha planteado las siguientes cinco preguntas para poderse determinar los requisitos del esquema, topología y arquitectura de red:

- ¿Cuál tipo de topología se ajusta mejor a la aplicación (uno a uno, uno a varios, varios a uno o varios a varios)?
- ¿Cómo será la jerarquía de los nodos en la red (maestro-esclavo, punto a punto, punto a multipunto)?
- ¿Cuáles son las peores condiciones ambientales que pueda presentar el área cubierto por la red?
- ¿Cuántos nodos deber ser controlados incluyendo tanto las necesidades actuales como las futuras del sistema?
- ¿Existen problemas potenciales de interferencia debido a obstáculos físicos o a colisiones entre ondas de RF?

Las propiedades del esquema de la red de comunicación inalámbrica también se pueden identificar de acuerdo a los requerimientos de la aplicación. Según Gungor [172], las siguientes preguntas pueden ayudar a determinar esos requisitos:

- ¿Cuáles son los requerimientos en cuanto a la calidad de servicio de la aplicación (es necesaria la monitorización en tiempo real)?
- ¿Se hará un seguimiento continuo a la información o se supervisará por periodos?
- ¿Cuál es el tipo de información del sensor: datos, video, voz?

En la Fig. 36 se indican los elementos a tener en cuenta para disponer de un esquema de red inalámbrica en domótica.

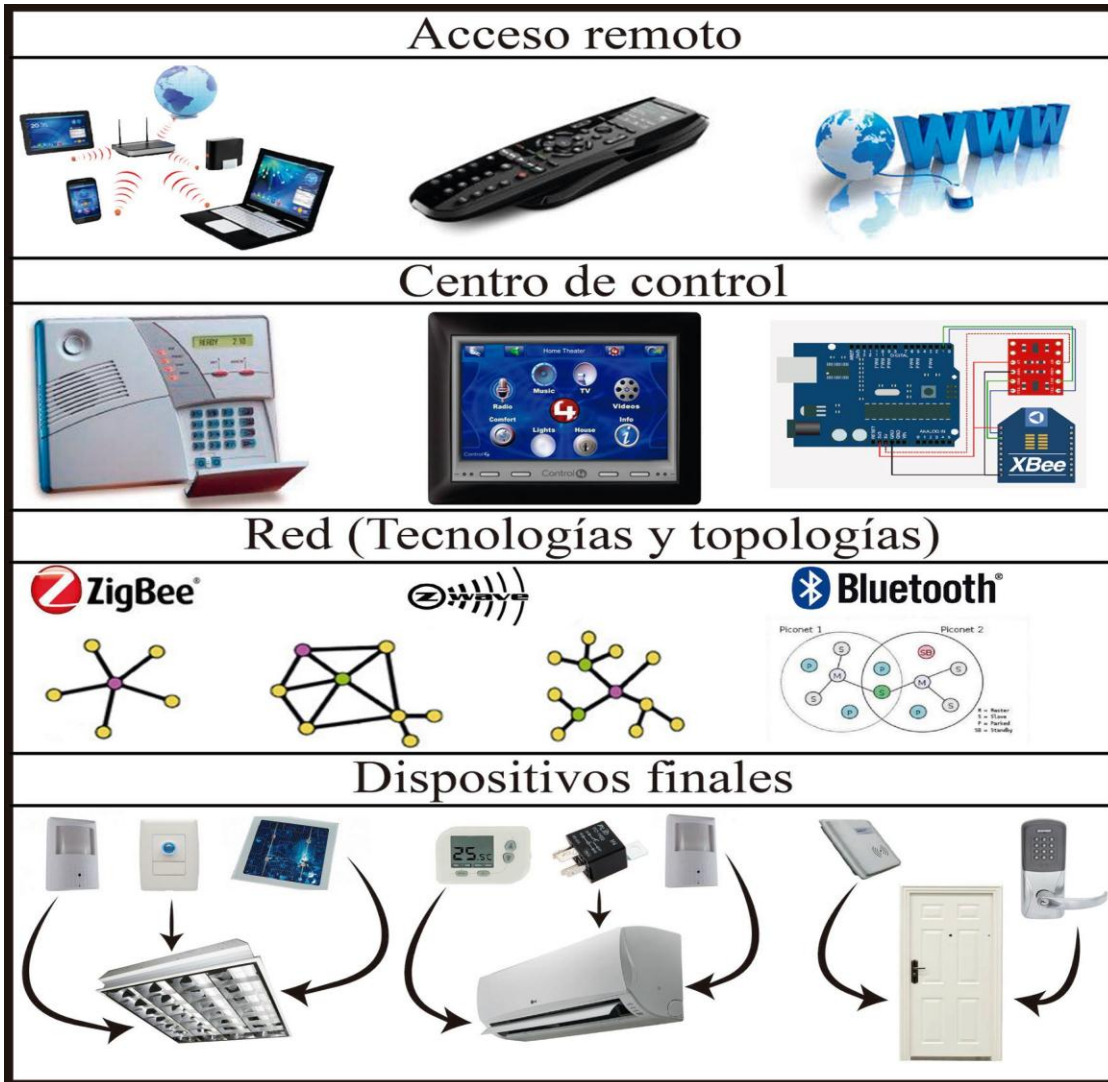
**Acceso remoto:** Aprovechando las ventajas de la comunicación inalámbrica, se desea contar con la posibilidad de acceder al sistema de forma remota, esto se puede llevar a cabo a través de varios medios, como puede ser la red celular, un servidor web, un control remoto o algún dispositivo portátil.

**Central de control:** Es el cerebro de la aplicación, es el encargado de tomar las decisiones de acuerdo a la información recibida y elegir que acción ejecutar, además de tener la función de formar la red.

**Red (tecnología y topología):** Se debe escoger una tecnología para establecer la comunicación inalámbrica, de acuerdo a las necesidades del sistema, a pesar de encontrar varias opciones, podemos encontrar algunas muy usadas en la domótica. Además, se debe escoger una topología de red, que es la forma como estarán conectados los dispositivos (estrella, árbol, malla o piconet en el caso del Bluetooth), se pueden encontrar dispositivos que ayuden a retransmitir la información de ser necesario (routers).

**Dispositivos finales:** Pueden ser sensores o actuadores, los actuadores son los encargados de realizar la acción final de control, los sensores son los encargados de tomar la información del ambiente. Para el caso de un sistema de iluminación el sensor puede ser una foto celda o un sensor PIR y el actuador un dimmer, el cual estará encargado de controlar el nivel de iluminación de una luminaria. En un sistema HVAC el sensado se puede llevar a cabo por un sensor de temperatura o un sensor PIR, el actuador un relé que puede encargarse del encendido de un aire acondicionado. En un sistema de control de acceso podemos encontrar un lector RFID y una cerradura electrónica encargados de la apertura o cierre de una puerta.

Figura 35. Esquema de red inalámbrica en domótica.



En los siguientes documentos se puede observar las arquitecturas propuestas para diferentes aplicaciones como:

- Seguridad (gases) [173].
- Iluminación [50] [55].
- Uso eficiente de la energía [19] [20] [86] [40] [89] [91] [92] [95] [96].
- Seguridad (control de acceso) [40], [86].

Basados en la información recopilada a continuación se muestran algunos proyectos que podrían ser implementados en el edificio de la E3T.

**Tabla 17. Proyectos aplicables en el Edificio de la E3T.**

<b>Aplicación</b>	<b>Espacio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Elementos principales</b>
Sistema de iluminación.	Aulas, salas de estudio, pasillos y oficinas.	Uno o más sistemas provistos de diferentes sensores (iluminación, movimiento) que permitan medir los niveles de iluminación de las áreas y detecten la presencia de las personas, para hacer uso eficiente de la iluminación natural y administrar la iluminación artificial.	-Sensores de iluminación y movimiento. -Luminarias dimerizables (fluorescentes o LED).
Sistema de riego.	Azotea.	Sistema inteligente que regule por medio de sensores de humedad y temperatura el suministro de agua a las plantas que se encuentran en los techos verdes.	-Sensores de humedad y temperatura. -Electroválvula.
Sistema de detección de incendios.	Edificio E3T.	Sistema de alarma para la detección de incendios, provisto de detectores de humo y altas temperaturas.	-sensores de temperatura. -detectores de incendio.
Control HVAC.	Aulas, salas de estudio y oficinas.	Sistema provisto de sensores temperatura y humedad, que se encargue de controlar la climatización de los espacios, aprovechando	-sensores de temperatura, humedad, presencia y estado de ventanas. -aires

<b>Aplicación</b>	<b>Espacio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Elementos principales</b>
		la ventilación natural.	acondicionados, motores eléctricos.
Sistema de seguridad.	Edificio E3T.	Control de acceso, sensores de estado para puerta y ventanas.	-sensores de estado para puertas y ventanas. -Lectores y tarjetas RFID.
Interruptores inteligentes.	Aulas dotadas con sistemas audiovisuales.	Interruptores con control de escenas.	-Interruptores inteligentes. -Luminarias dimerizables.
Tomacorrientes inteligentes.	Oficinas.	Tomacorrientes que permitan eliminar el consumo de los dispositivos en modo stand by.	-Tomacorrientes inteligentes que cuenten con la función de medición de consumo.

Para el desarrollo (diseño e implementación) de estas propuestas por medio de trabajos de grado, se recomienda el uso de la tecnología inalámbrica ZigBee por los siguientes motivos:

- Tecnología regulada por el estándar IEEE 802.15.4
- Es un protocolo abierto para fines no comerciales.
- Permite la integración con otros dispositivos que utilicen esta misma tecnología (en algunos casos).

## 4. DISEÑO

**Objetivo:** Realizar el diseño de un sistema de iluminación híbrida basado en la comunicación inalámbrica.

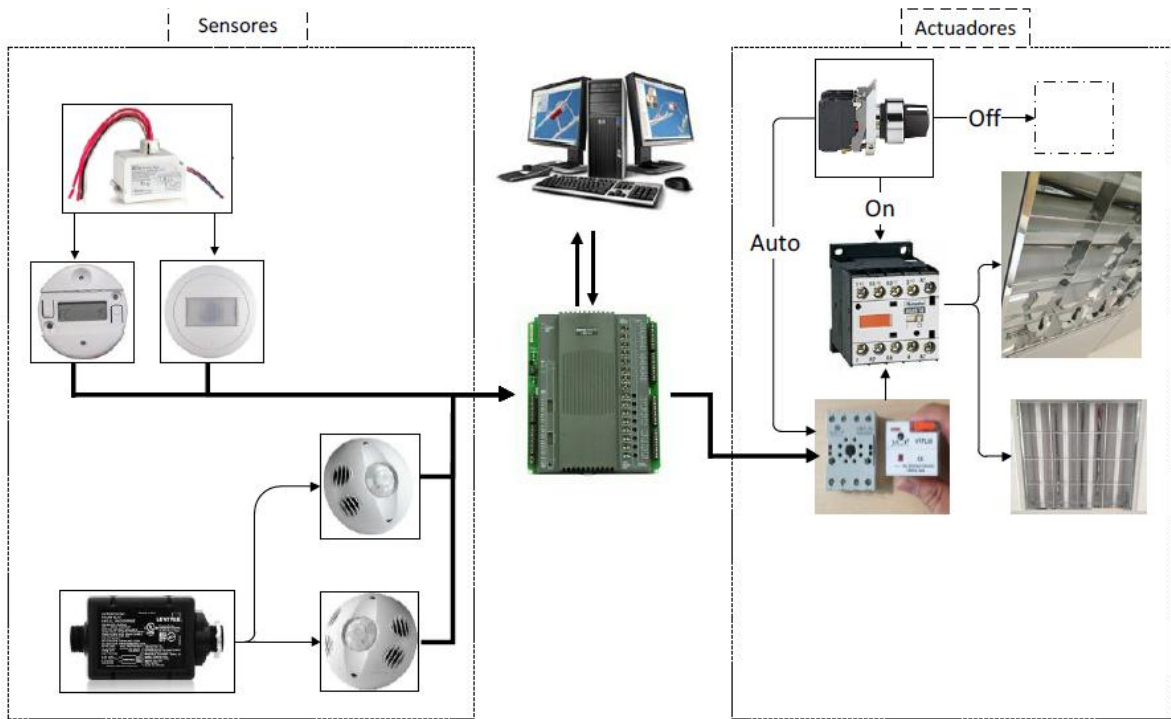
**Alcance:** Se realizó el diseño de un sistema de iluminación artificial y natural mediante el uso de comunicación inalámbrica. Los siguientes aspectos son controlados:

- Encendido y apagado de luminarias según presencia y nivel de iluminación natural.
- Nivel de iluminación artificial a partir de fotoceldas y dimerizadores.
- Apertura y cierre de persianas motorizadas.

### **Antecedentes:**

En el cuarto piso del edificio de la E3T, se cuenta con un sistema robusto de control, el cual se encarga del control de la iluminación de los baños del 4 piso, pasillos, aulas 401 y 402. A continuación se muestra el diagrama del sistema de control implementado en el aula 402.

**Figura 36. Esquema del sistema de iluminación [174].**



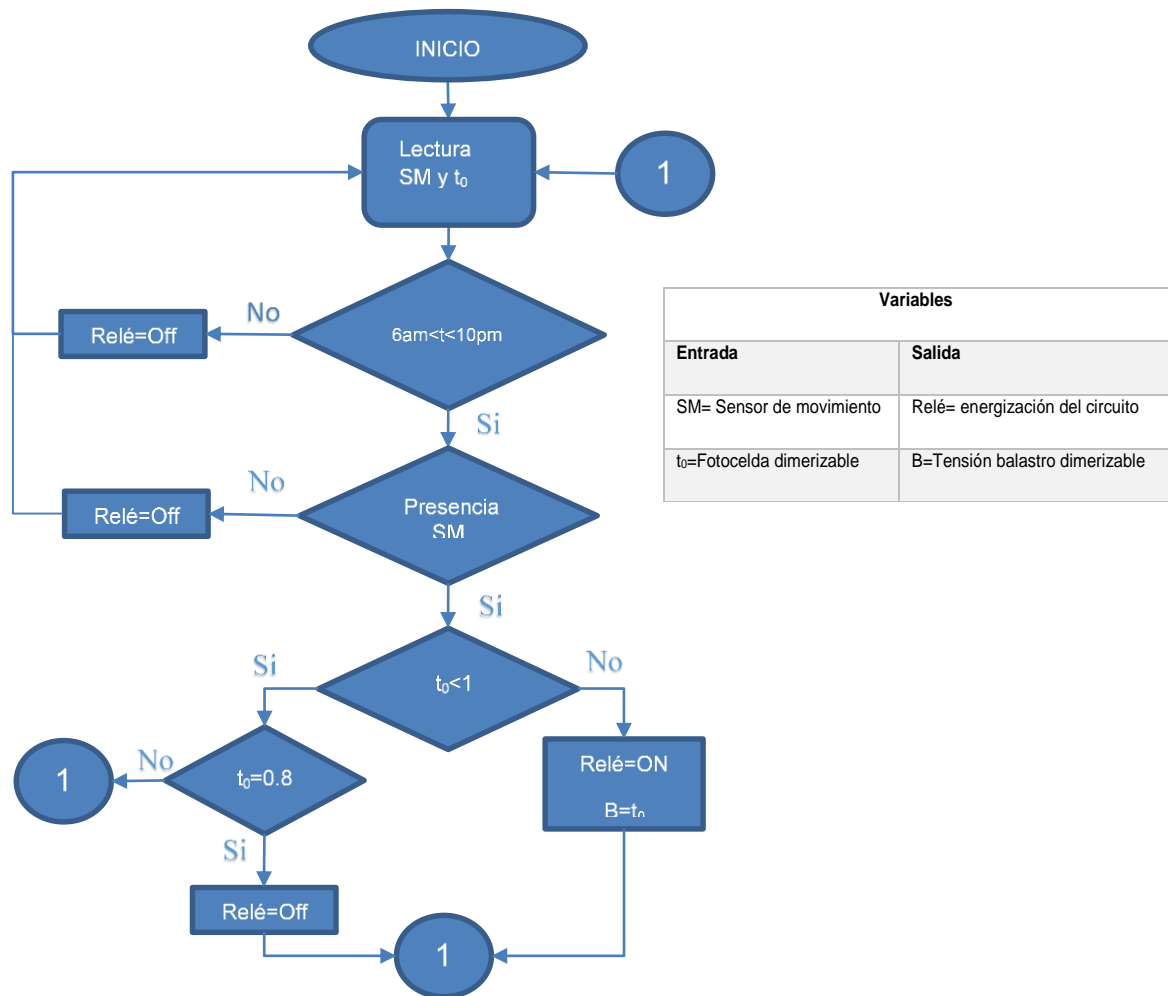
Donde se pueden encontrar los siguientes elementos:

**Tabla 18. Elementos del sistema y precio.**

Elemento	Precio (US)
Power Pack Leviton OSP20-R20	49.99
Power Pack Legrand WattStopper BZ-50	27.99
Leviton OSC5-M0W y OSC10-M0W	80.37
LS-102 Daylight Controller	102.99
Ls-301 Dimming Photosensor	191.28
Andover Continuum Infinet II i2920	1056.98
<b>Total</b>	<b>1509.6</b>

La unidad de control (de la familia Andover Continuum) recibe la señal proveniente de los sensores de presencia e iluminación, para tomar la decisión del encendido de los balastos y la regulación del nivel de intensidad de los mismos.

**Figura 37. Automatización del sistema de iluminación [174].**



Los elementos mostrados en la tabla 18 son solo los correspondientes a la parte de sensores y el controlador. Como se puede observar el costo de estos elementos puede ser un poco elevado sin tener en cuenta que en algunos casos se utilizan más de uno de estos, además que no se ha considerado el precio del cableado ni la tubería por medio del cual este es distribuido, esta tubería es una

tubería galvanizada de  $\frac{1}{2}$  pulgada, su precio puede llegar a ser de aproximadamente 4.9 dólares el metro. Las tareas correspondientes al cableado no solo elevan el costo del sistema de iluminación sino que además afectan el aspecto visual del edificio.

Por estas razones es llamativo estudiar la opción de un sistema de iluminación inalámbrico teniendo como referencia las tareas realizadas por el sistema de iluminación cableado implementado actualmente en el aula 402.

### **Consideraciones previas:**

El diseño propuesto tiene como propósito fundamental evidenciar la potencial aplicación de la comunicación inalámbrica en el Edificio de Ingeniería Eléctrica. Este espacio es visto como un laboratorio para analizar el desempeño de diversas tecnologías.

Tal dinámica permite reforzar conocimientos de los estudiantes abordados en asignaturas tales como: Dispositivos electrónicos, Diseño de circuitos analógicos, Circuitos eléctricos, Comunicaciones, Control y Sistemas digitales, entre otras.

La implementación del diseño se puede gestar a través de proyectos finales de algunas de las asignaturas mencionadas.

El área a automatizar es el salón 402 del Edificio de Ingeniería Eléctrica que, aproximadamente, tiene un ancho de 8.8 m. y un largo de 6.2 m. En el mismo se hallan dos ventanales: uno de 5.4 m. de ancho por 1.45 m. de largo y el otro de 3.3 m. de ancho por 1.5 m. de largo, aproximadamente. A su vez cuenta con seis luminarias artificiales y tres naturales (tubos solares) distribuidas simétricamente en el aula como lo muestran las Fig. 36 y Fig. 37.

**Figura 38. Ventanal grande del aula 402 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.**



**Figura 39. Ventanal pequeño del aula 402 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.**



Debido a su distribución se piensa sectorizar las seis luminarias artificiales en tres grupos de dos para su posterior control. El edificio dispone del uso de telones eléctricos “Arvision” como persianas en algunos salones. De esta manera se

recomienda la utilización de tres telones: dos para el ventanal más grande y uno para el más pequeño.

De acuerdo a la Fig. 40 se aprecia la prolongación de los tubos solares, por esta razón se propone incluir un descolgado (tubo metálico de acero inoxidable) para los sensores y así lograr el mismo nivel de los tubos solares, tal como lo muestran las Fig. 41 y Fig. 42.

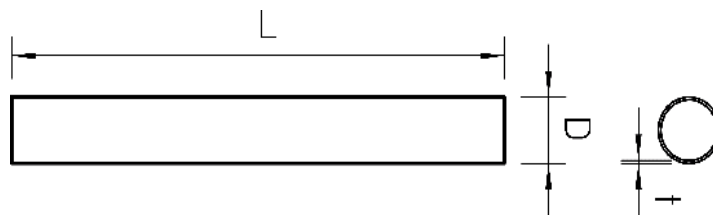
**Figura 40. Tubo solar del aula 402 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.**



**Figura 41. Tubo metálico de acero inoxidable**



**Figura 42. Dimensiones L=60 cms, D=1.6 cms, t=0.1 cms.**



## **Ventajas del sistema.**

- El sistema propuesto está orientado al uso racional de energía (URE) y pretende aprovechar la iluminación natural con el fin de hacer uso de la iluminación artificial solo cuando sea requerido. Este ahorro podría compensar parcial o totalmente la inversión inicial.
- Se desea mantener un control sobre las luminarias. El mismo puede llevarse a cabo tomando cada luminaria como un nodo diferente con el fin de maximizar el ahorro energético. Como los estudiantes se concentran en un espacio específico, se quiere evitar el encendido innecesario de las luminarias en las áreas donde no se detecta presencia.
- El sistema cuenta con cierta portabilidad, es decir, que puede ser trasladado a otra instalación con facilidad debido al uso de la comunicación inalámbrica. Esto permitiría observar el comportamiento del sistema en otro ambiente (salones, oficinas, centros de estudios, etc...)
- De ser necesario, se pueden agregar más módulos al sistema de forma sencilla por el protocolo ZigBee.
- El uso de la comunicación inalámbrica ofrece flexibilidad al sistema evitando costos adicionales de cableado.
- Algunos de los componentes más importantes del sistema, por ejemplo el CC2538, se pueden obtener como muestra gratuita. La implementación se economizaría.
- La construcción en masa de los módulos puede reducir considerablemente los costos de construcción de los mismos.

### Sensores a utilizar:

- Sensor de iluminación.
- Sensor de presencia PIR.

Actuadores:

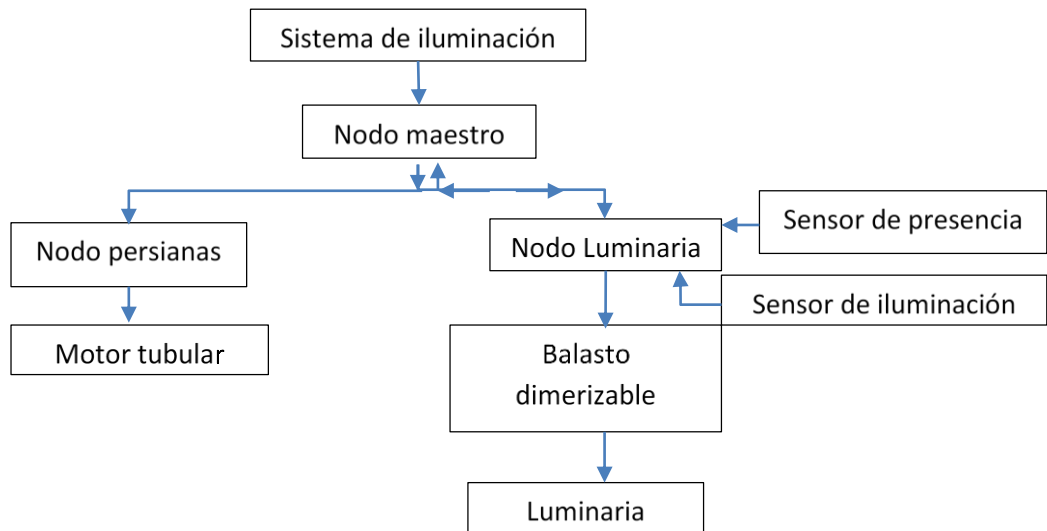
- Motor tubular.
- Balastos dimerizables.

Nodos:

- Nodo esclavo 1 (persianas): Encargado del control de las persianas para su apertura y cierre.
- Nodo esclavo 2 (luminaria): Encargado de sensor la cantidad de iluminación en la habitación, detectar la presencia de las personas y la dimerización de la luminaria.
- Nodo maestro: Encargado de recibir la información y tomar las decisiones.

La Fig. 43 muestra la jerarquía del sistema de iluminación híbrido.

**Figura 43. Jerarquía del sistema de iluminación.**



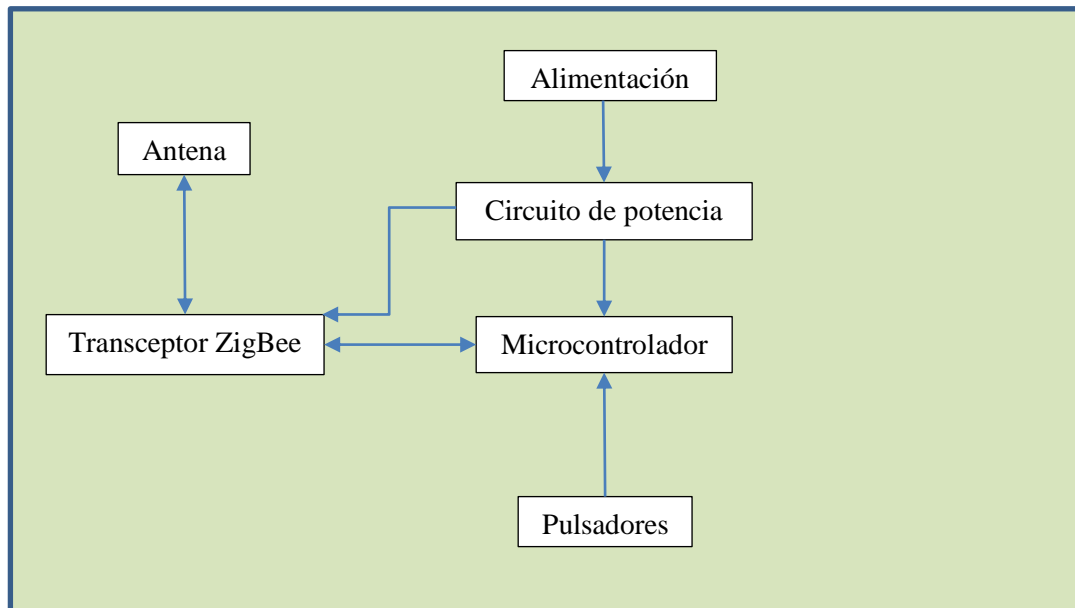
## 4.1 CENTRAL DE CONTROL (NODO MAESTRO)

**4.1.1 Escenas** Contará con tres escenas diferentes para seleccionar.

- Control automático: En esta escena, la central de control administrará el sistema de iluminación de acuerdo a los *setpoints* ajustados por el usuario.
- Presentaciones: En esta escena, se administrará el sistema adecuadamente para la visualización de presentaciones a través de un proyector.
- Manual: En esta escena, el sistema de iluminación podrá ser controlado de manera manual por los usuarios.

### 4.1.2 Arquitectura

**Figura 44. Arquitectura del nodo maestro.**



**Alimentación:** La fuente de alimentación del nodo maestro será una batería para garantizar mayor flexibilidad.

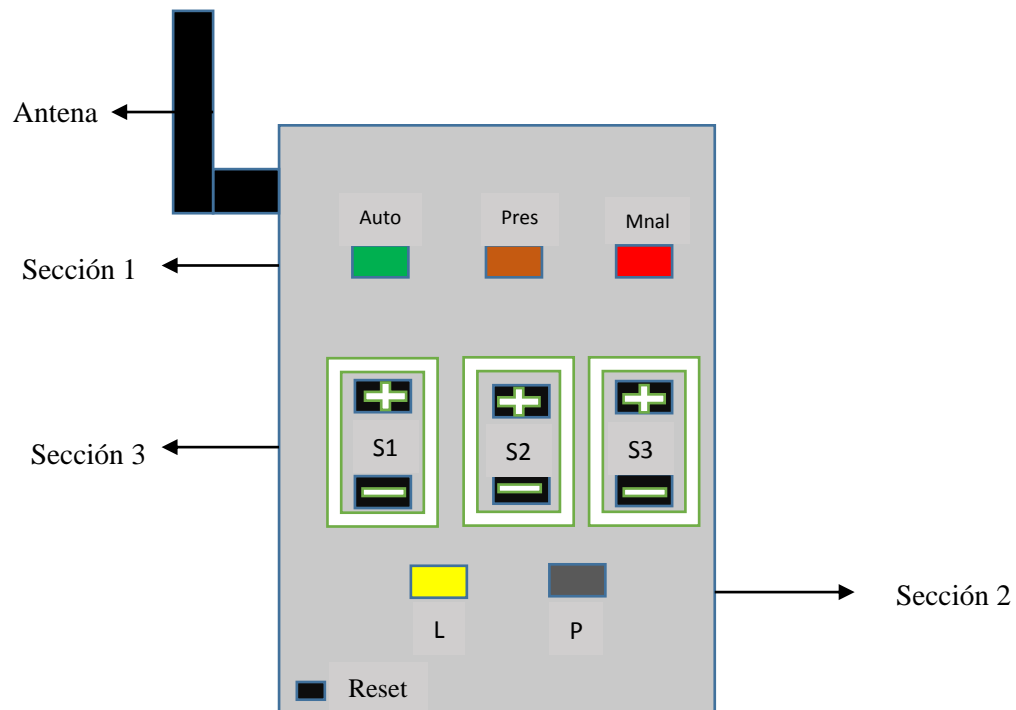
**Circuito de potencia:** Encargado de transformar la energía recibida a través de la fuente de alimentación, de tal forma que los componentes del nodo maestro se alimenten con los diferentes valores requeridos

**Microcontrolador:** Es el cerebro del nodo y el encargado de recibir y procesar la información para tomar las decisiones.

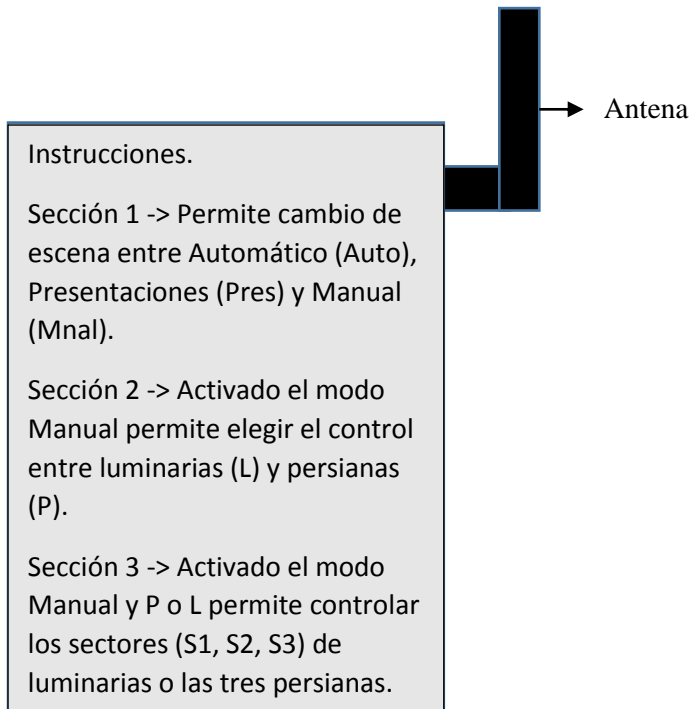
**Transceptor:** A través de él se lleva a cabo la comunicación con los otros nodos, es el encargado de recibir y transmitir la información.

**Antena:** Parte importante para la recepción y transmisión de las radio frecuencias. La Fig. 45 y la Fig. 46 muestran la vista exterior del control central tanto en la parte frontal como en la parte superior.

**Figura 45. Vista exterior frontal del nodo maestro.**



**Figura 46. Vista exterior posterior del nodo maestro.**



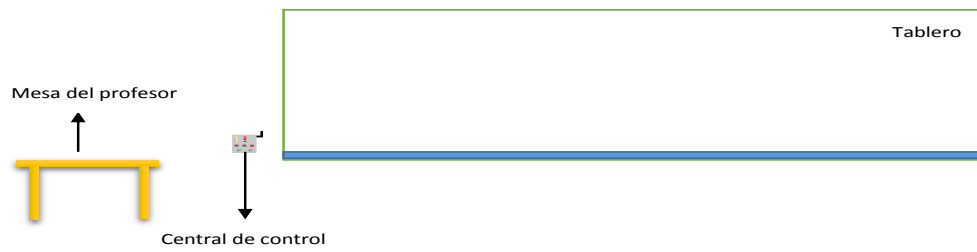
**Sección 1:** Permiten realizar el cambio entre escenas (automática, presentaciones y manual).

**Sección 2:** Cuando se ha seleccionado la escena manual, permite elegir el módulo que se desea controlar: luminarias o persianas.

**Sección 3:** Cuando se ha seleccionado la escena manual y el módulo, permite controlar a través de los pulsadores de subir/bajar, ya sea, la intensidad de luz de los tres sectores de las luminarias o, bien, las tres persianas que se van a implementar en el salón.

**4.1.3 Ubicación** En la Fig. 47 se aprecia el lugar donde va a quedar ubicada la central de control.

**Figura 47. Ubicación del nodo maestro.**

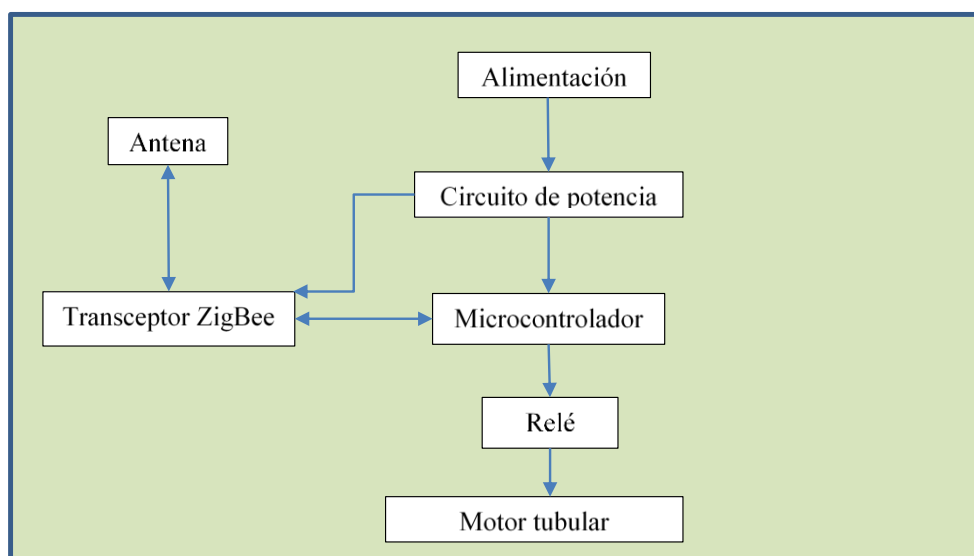


## 4.2 NODOS ESCLAVOS

Para el sistema de iluminación planteado, es necesario implementar dos tipos de nodos, el primero encargado del control de las persianas y el segundo del control de las luminarias.

**4.2.1 Nodos persianas** En la Fig. 48 se muestra la arquitectura del nodo persiana.

**Figura 48. Arquitectura del nodo persianas.**

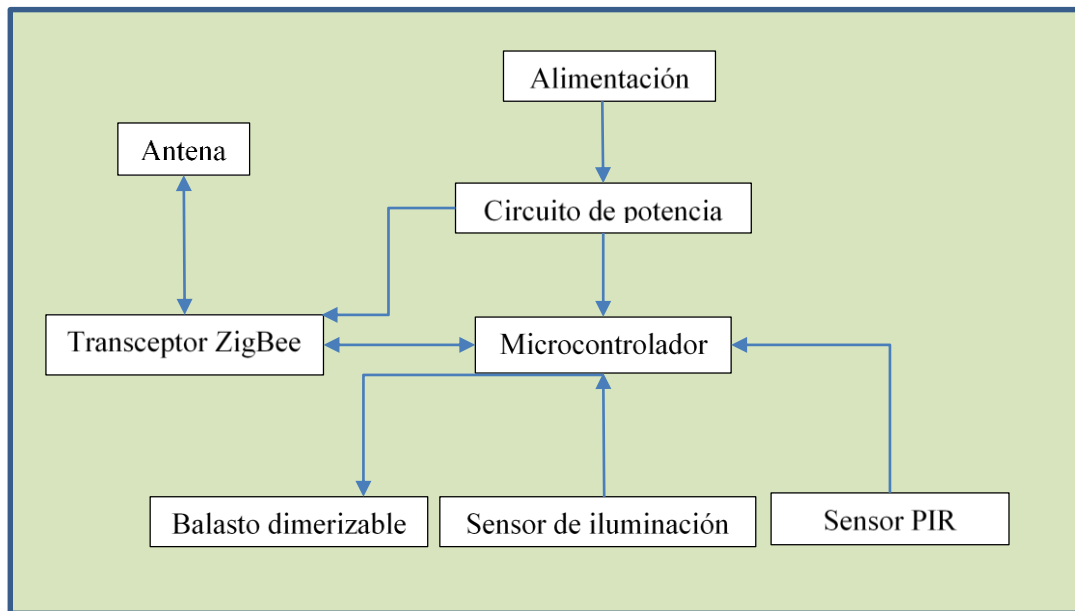


**Relé:** El relé es el encargado de recibir la señal de control del microcontrolador y controlar la persiana.

**Motor tubular:** Es el encargado de subir y bajar la persiana el cual será controlado por medio de relés.

La arquitectura del nodo luminarias es mostrada en la Fig. 49.

**Figura 49. Arquitectura del nodo luminaria.**



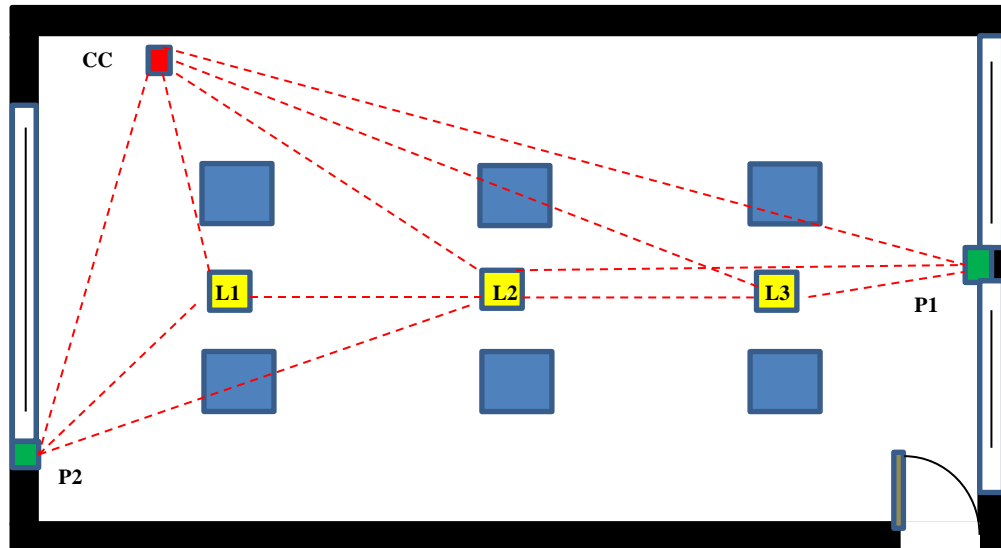
**Sensor PIR:** El sensor encargado de detectar la presencia de las personas en el lugar mediante la diferencia de temperatura.

**Sensor de iluminación:** Es el encargado de medir los niveles de iluminación dentro del espacio.

**Balasto dimerizable:** Es el actuador y encargado de regular la intensidad de las luminarias.

**4.2.3 Ubicación** La ubicación de los nodos esclavos en el aula respecto al nodo central se muestran en la siguiente figura.

**Figura 50. Arquitectura del sistema**



**L<sub>1, 2, 3</sub>**: Son nodos luminarias con los mismos componentes y las mismas funciones. Se encargan de sensar el nivel de iluminación, la presencia de personas y el control de la intensidad de las luminarias.

**P<sub>1, 2</sub>**: Los nodos persianas se encargan de controlar el motor tubular de las persianas.

**CC**: El nodo correspondiente a la central de control, es el encargado de tomar las decisiones de acuerdo a la información recibida.

#### 4.4 TOPOLOGÍA

Debido a las características de ZigBee, se piensa en una red tipo malla, la cual proporciona robustez al sistema al disponer de más de una ruta para la comunicación entre los nodos ya que estos se posicionan prácticamente en línea directa y no se encuentran obstáculos entre ellos. No se esperan problemas debido al alcance o a la potencia de la señal.

#### 4.5. SOFTWARE

A continuación se plantea una propuesta para la estructura del software, que permitirá controlar el sistema. La Fig. 51 y la Fig. 52 muestran los diagramas de flujo de las dos configuraciones.

**Figura 51. Diagrama de flujo para la escena presentaciones.**

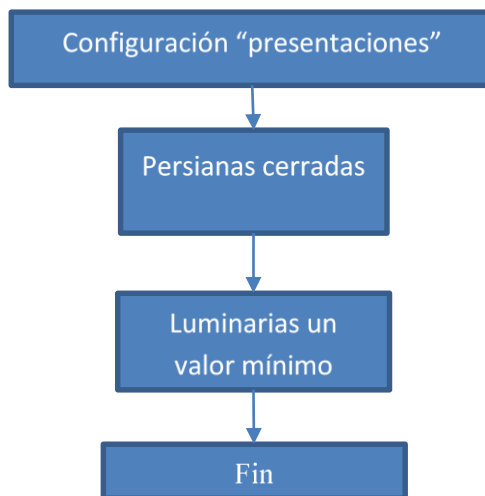
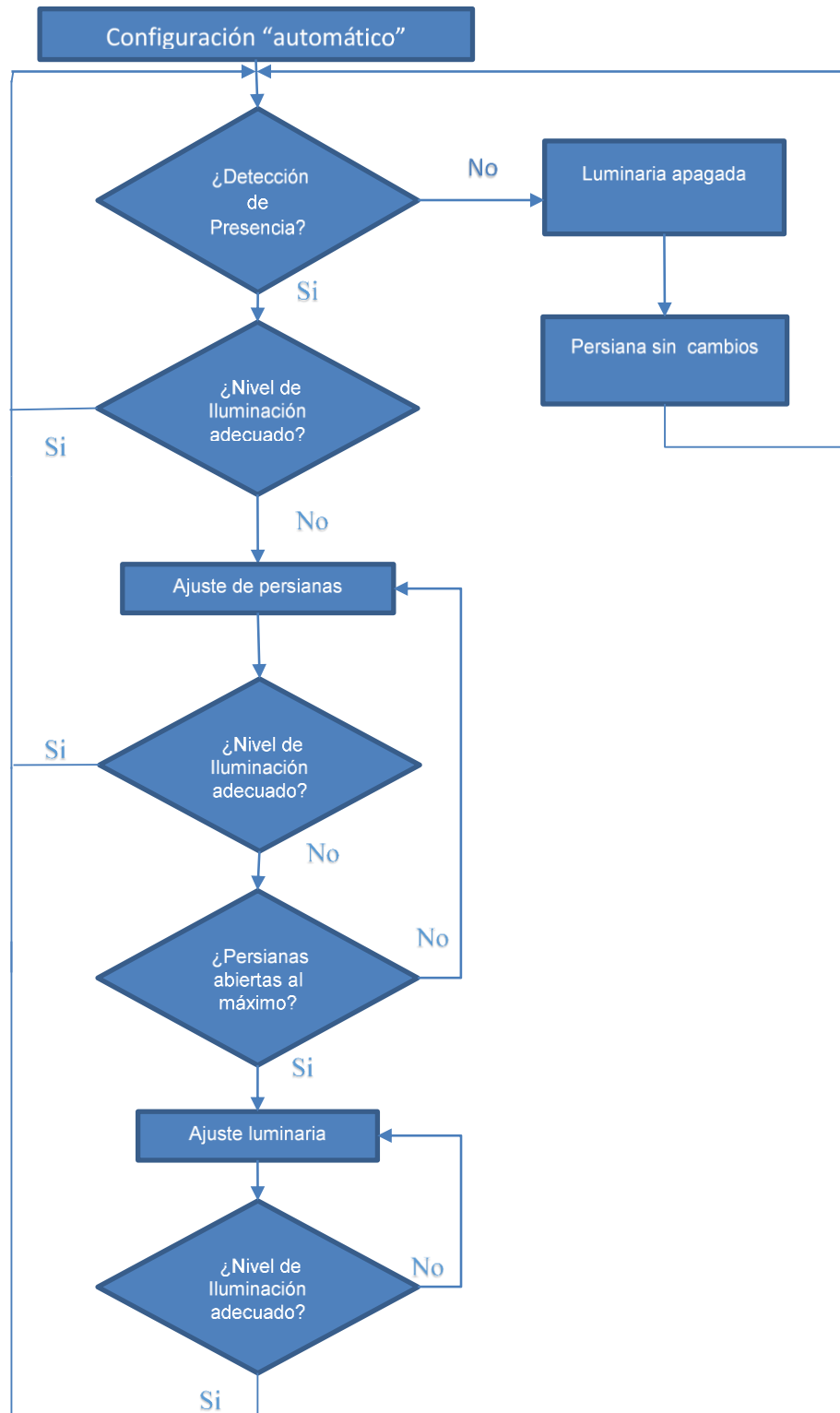


Figura 52. Diagrama de flujo para la escena automático.



## 4.6 MODULO CENTRAL

### 4.6.1 Componentes

**Fuente de alimentación:** Batería de 9 V.

**Controlador:** Es el cerebro del módulo y encargado de tomar las decisiones de acuerdo a la información obtenida. Para esta función es necesario elegir un microcontrolador que tenga suficientes entradas y salidas de propósito general y que sea de bajo consumo. Además debe contar con un ADC y que establezca comunicación SPI, esencial para manejar los transmisores y receptores ZigBee. Se ha seleccionado el microcontrolador CC2538 [175] ya que cumple con estas condiciones, además de poseer integrado un transceptor ZigBee, lo cual ahorrará la elección de este elemento.

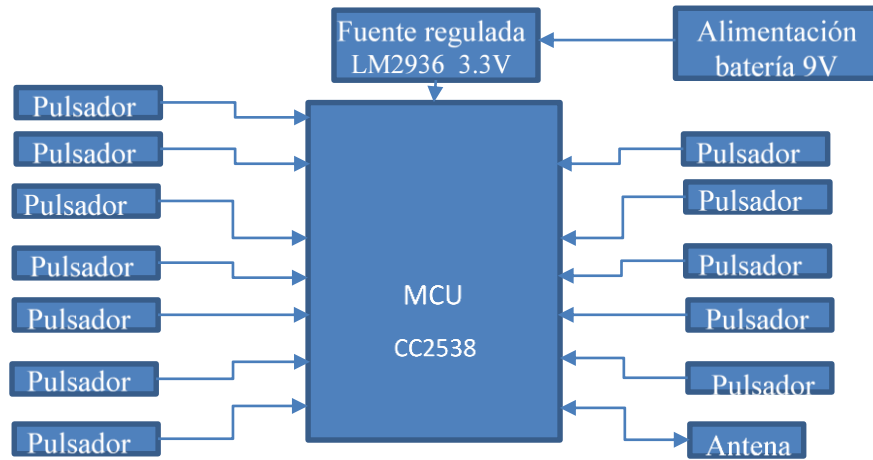
Para la programación de esta clase de microcontroladores es necesario el uso de una plataforma que permita realizar dicha función. Para ella se ha elegido la plataforma XDS100V3 ya que, además de contar con los elementos necesarios para la programación del CC2538, es la opción más económica del mercado.

**Antena:** La antena es parte esencial para la transmisión y recepción de los datos. Se debe seleccionar una antena adecuada para la transmisión de datos a 2.4 GHz. La antena seleccionada es la 2.4 GHz 1/4 Wave Whip.

**Circuito de potencia:** LM2936 es el elegido por entregar de manera estable los 3.3 [V] necesarios para la alimentación del microcontrolador.

**4.6.2 Conexiones** La Fig. 53. muestra el diagrama de conexiones del módulo central.

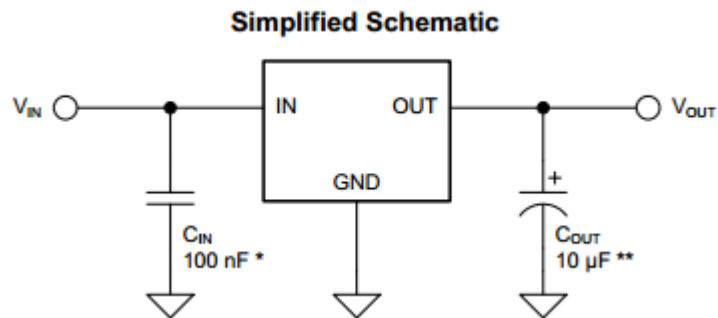
**Figura 53. Diagrama de conexiones modulo central.**



### Fuente regulada (LM2936)

La siguiente figura muestra el diagrama de conexión de la fuente regulada.

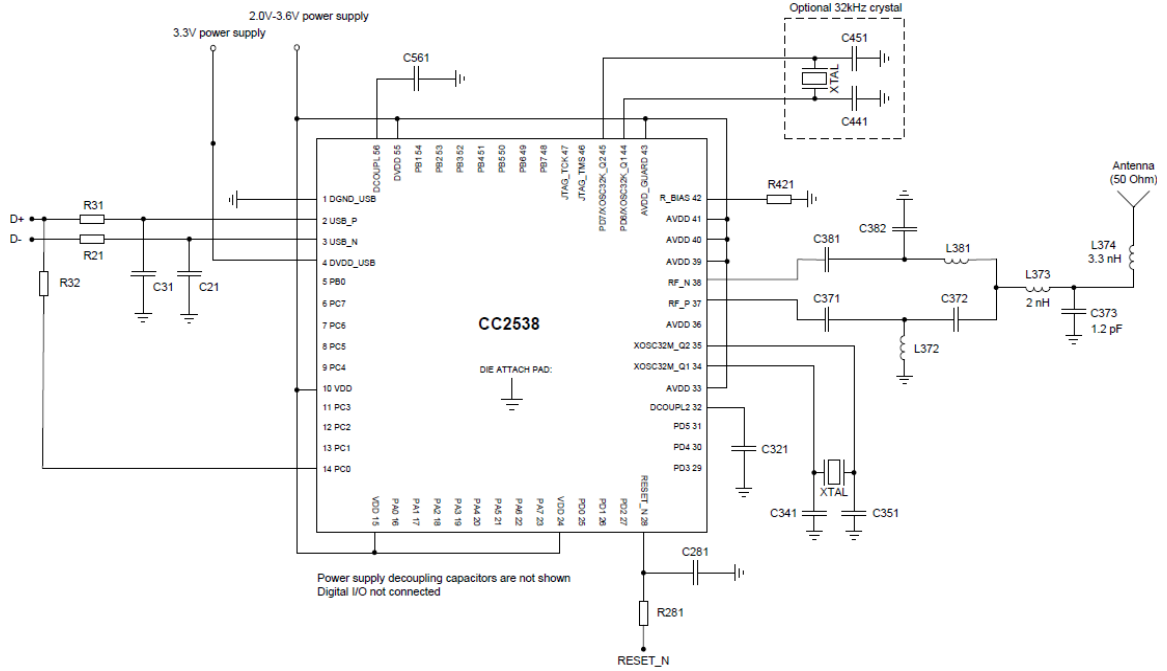
**Figura 54. Diagrama de conexión del LM2936 [176].**



### Microcontrolador

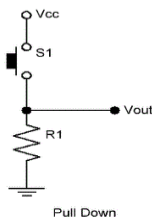
El diagrama de conexión del microcontrolador CC2538 es mostrado en la Fig. 55.

**Figura 55. Diagrama de conexión del microcontrolador CC2538 [177].**



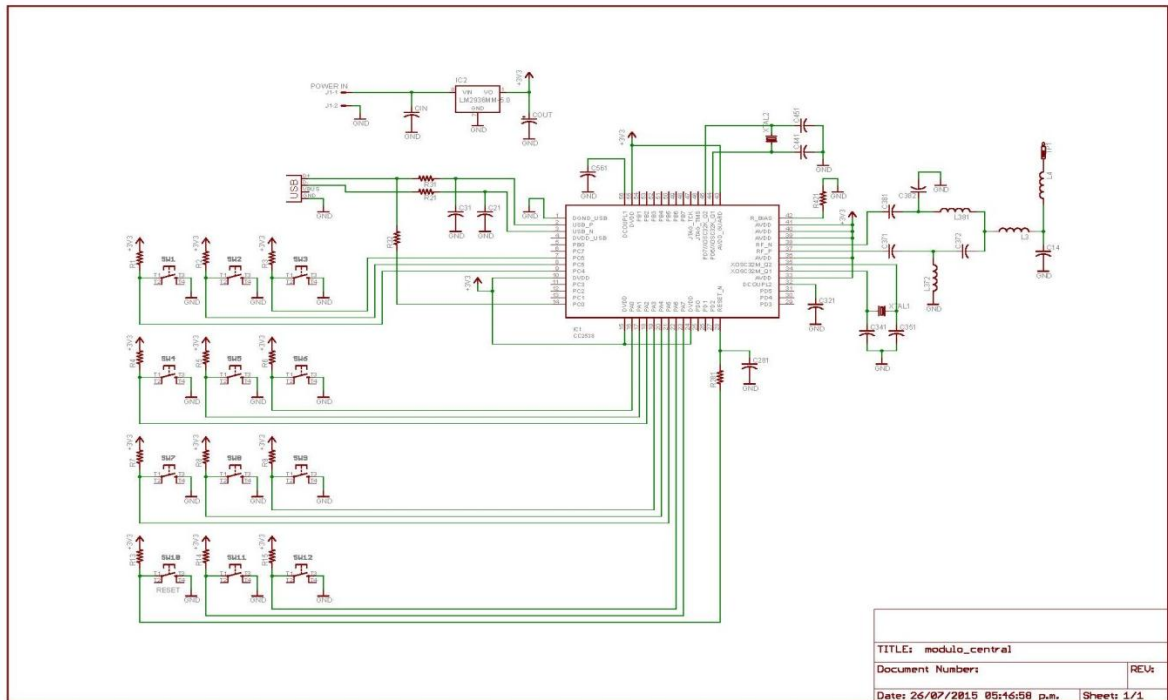
## Pulsadores

**Figura 56. Diagrama de conexión pulsadores.**



El esquemático del módulo central se dispone en la Fig. 57.

**Figura 57. Esquemático módulo central**



## 4.7 MODULO LUMINARIAS

### 4.7.1 Componentes

**Controlador:** CC2538.

**Antena:** 2.4 GHz 1/4 Wave Whip.

**Fuente de alimentación:** Para el funcionamiento de algunos componentes del módulo luminarias, estos deben ser alimentados con 12 voltios, por lo cual se ha utilizado el diseño de una fuente regulada de 12 voltios a partir de un transformador de AC de 24 voltios y dos amperios.

**Sensor de iluminación (Foto-diodo APDS-9005):** Foto sensor de bajo costo con salida analógica lineal y tamaño reducido. El mismo puede ser alimentado en un rango de tensión entre 1.8 y 5.5 [V], trabaja a temperaturas entre -40°C a 80°C y su respuesta espectral es similar a la del ojo humano [178].

**Sensor de movimiento:** Sensor de movimiento 'NaPIoN' de alto rendimiento en la detección infrarroja de los humanos, ideal para la detección de pequeños movimientos gracias a su tipo cuádruple de elementos piroeléctricos, detecta una diferencia de temperatura mínima de 4°C adecuada para lugares con temperaturas altas, además de contar con una alta resistencia al ruido y una zona de detección amplia [179].

**Circuito de retardo:** Este circuito está encargado de mantener la señal enviada por el sensor PIR por más tiempo y está compuesto principalmente por el circuito integrado 555.

**Balasto dimerizable:** La dimerización de las luminarias se llevará a cabo por medio de balastos dimerizables, los cuales regulan la intensidad de las luminarias a través de una señal de control de 0 a 10 V.

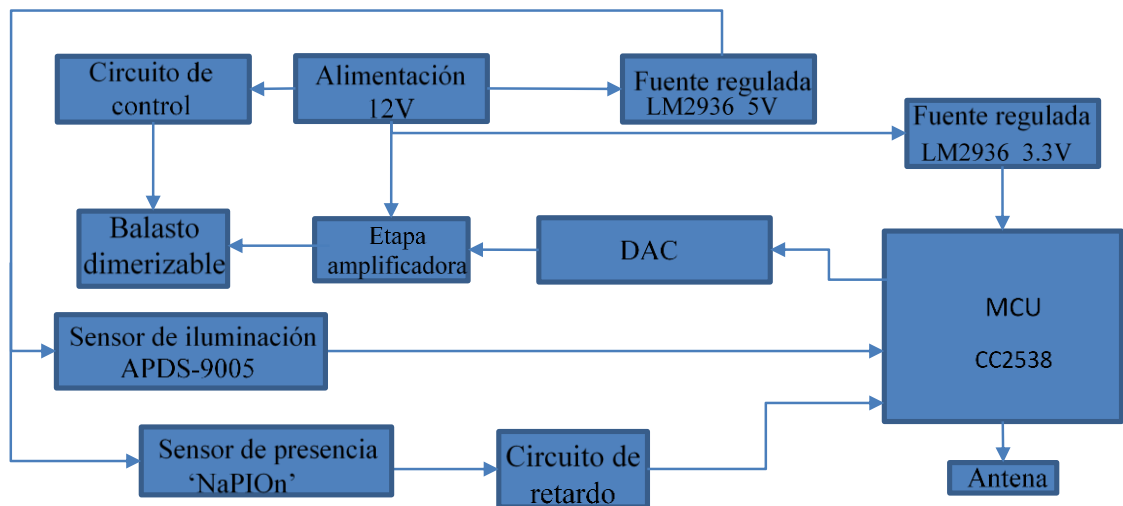
**DAC (*digital analog converter*):** El DAC genera la señal de control de los balastos y estará conectado al MCU utilizando el protocolo SPI. Para esta tarea se ha elegido el DAC8830 ya que cuenta con buena resolución (16 bits). El mismo puede ser alimentado en un rango de 3 a 5 V y cuenta con comunicación SPI.

**Etapa amplificadora:** Se hace necesario el uso de una etapa amplificadora debido a las limitaciones del DAC para entregar los 10 V requeridos para el control del balasto. La etapa tiene un factor de ganancia igual a 2, esta se implementará mediante el uso del circuito integrado LM358 aprovechando que no necesita alimentación dual para su funcionamiento.

**Control del encendido y apagado:** El encendido y apagado de las luminarias se va a controlar a través del uso de un relé que pueda manejar los niveles de corrientes adecuados. Se ha elegido el relé RH-012C que puede trabajar con corrientes de hasta 10 amperios, rango más que suficiente para lo que se requiere.

**4.7.2 Conexiones** A Continuación, en la Fig. 58. se muestra el diagrama de conexiones del módulo luminaria.

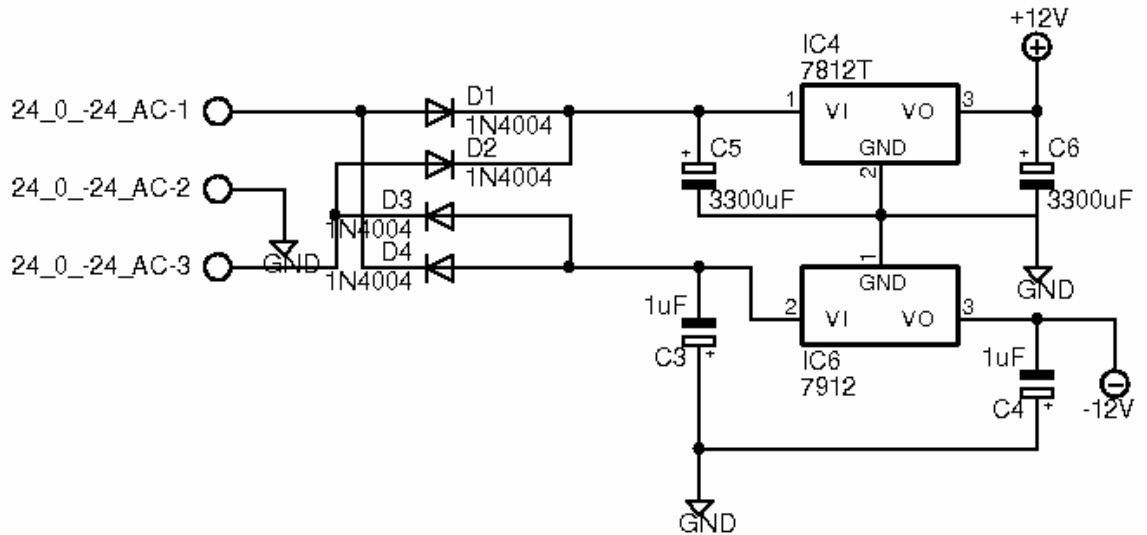
**Figura 58. Diagrama de conexiones modulo luminarias.**



### Sensor de iluminación

En la figura 59 se aprecia el diagrama de conexión de la fuente de alimentación.

**Figura 59. Fuente de alimentación de 12 voltios [72](arriba), lista de componentes (abajo).**

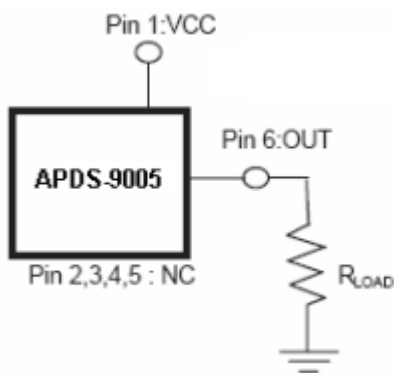


Componente	D,1,2,3,4	C3,4	C5,6	IC4	IC6
valor	1N4004	1 [µF]	3300 [µF]	7812T	7912

### Sensor de iluminación

En la siguiente figura se aprecia el diagrama de conexión del sensor de iluminación.

**Figura 60. Diagrama de conexión del sensor de iluminación (izquierda), lista de componentes (derecha).**

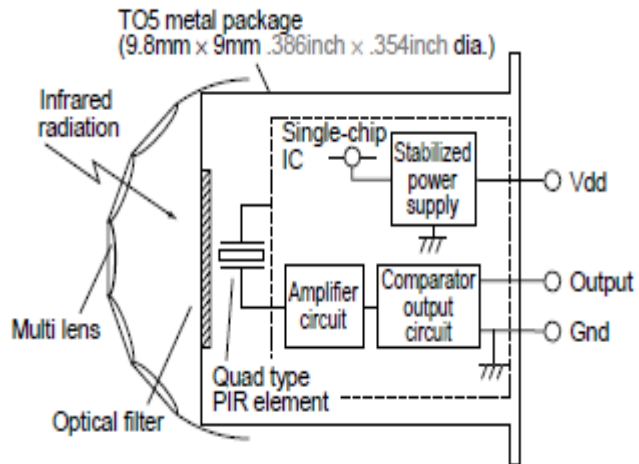


Componente	Valor
$R_{LOAD}$	1K [Ω]

## Sensor PIR

La siguiente figura muestra el esquemático del sensor de movimiento PIR NaPlon.

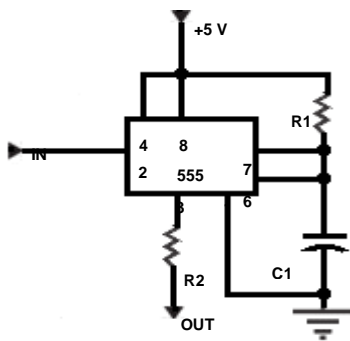
**Figura 61. Diagrama sensor PIR ‘NaPion’ [179].**



## Circuito de retardo

La Fig. 62. permite apreciar el diagrama de conexión del circuito de retardo 555 con su respectiva lista de componentes.

**Figura 62. Diagrama de conexión del circuito de retardo (izquierda), lista de componentes (derecha).**

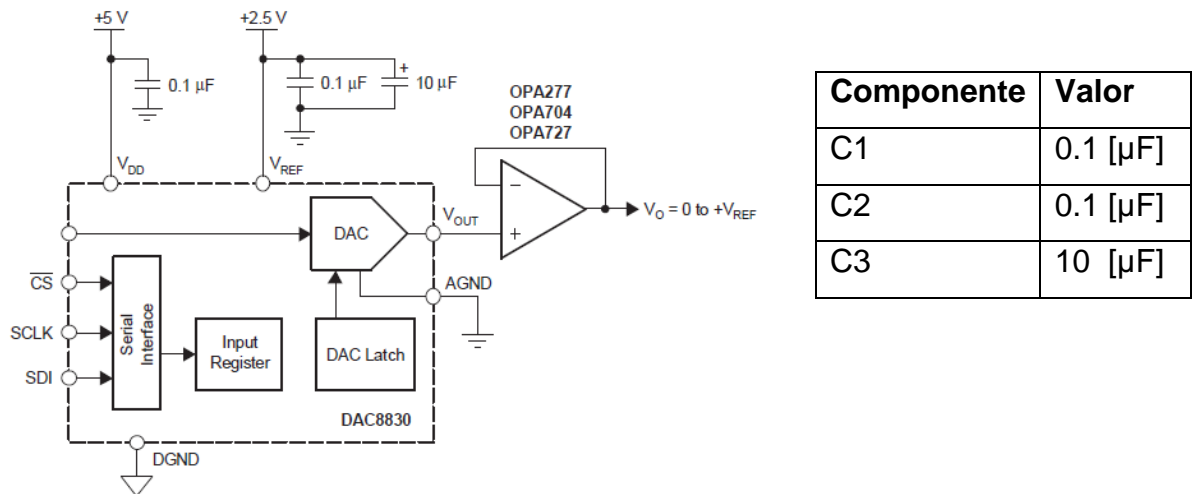


Componente	Valor
R1	100K [ $\Omega$ ]
R2	1K [ $\Omega$ ]
C1	40 [ $\mu$ F]

## Conversor digital analógico (DAC)

La Fig. 63. Permite ver el diagrama de conexión del DAC junto a su lista de elementos.

**Figura 63. Diagrama de conexión del DAC (izquierda), lista de componentes (derecha).**

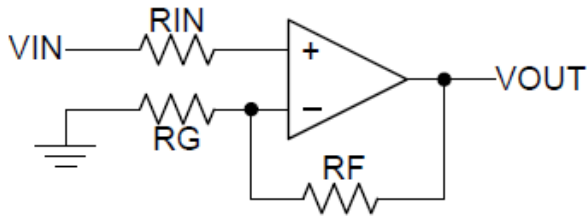


## Etapa amplificadora

El esquema del amplificador LM358 es mostrado en la Figura 64 con su respectiva configuración de resistencias para obtener la ganancia requerida, en este caso de un factor de 2.

$$Av = 1 + \frac{RF}{RG}$$

**Figura 64. Diagrama de conexión Lm358 (izquierda), lista de componentes (derecha).**

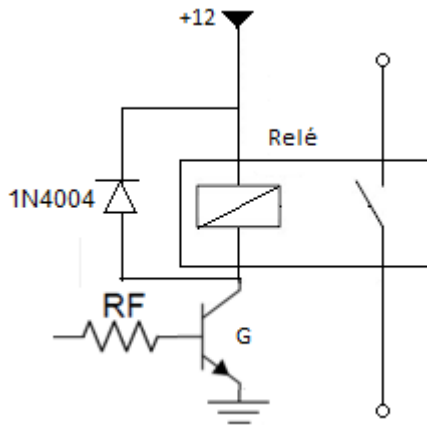


Componente	Valor
RIN	1 [kΩ]
RF	10K [kΩ]
RG	10K [kΩ]

**Control del encendido y apagado de las luminarias.**

La Figura 65. Permite ver el diagrama de conexión del control de encendido junto a su lista de elementos.

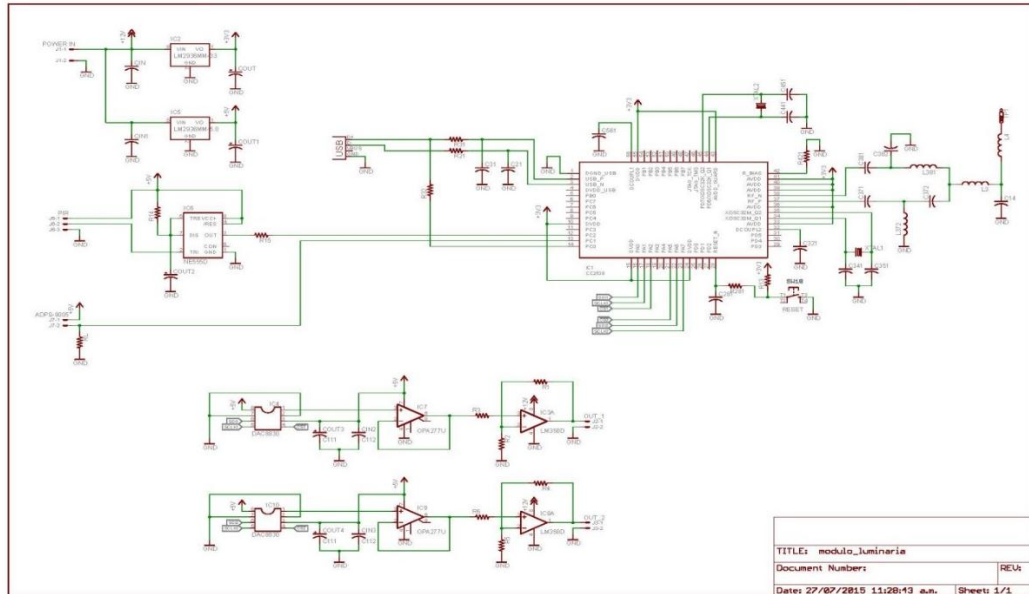
**Figura 65. Diagrama de conexión RH-012C (izquierda), lista de componentes (derecha).**



Componente	Valor
RF	1K [Ω]
Relé	RH-012C
G	2N2222A
1N4004	1N4004

Finalmente, se muestra el esquemático de todo el módulo luminaria en la Fig. 66.

**Figura 66. Esquemático módulo luminaria.**



## 4.8 MODULO PERSIANAS

### Componentes

**Controlador:** CC2538.

**Antena:** 2.4 GHz 1/4 Wave Whip.

**Etapla amplificadora:** Se hace necesario el uso de una etapa amplificadora debido a las limitaciones del microcontrolador para entregar los 12 V requeridos para el control del motor tubular por medio del relé. La etapa tiene un factor de ganancia igual a 3.6, esta se implementará mediante el uso del circuito integrado LM358 aprovechando que no necesita alimentación dual para su funcionamiento.

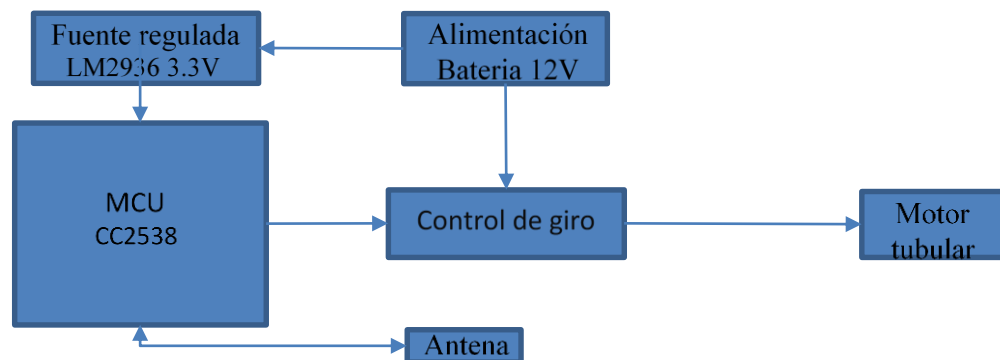
**Control de giro:** El control de giro del motor tubular se va a realizar a través de dos relés, los cuales accionados de manera independiente permitirán subir o bajar

las persianas, para esta tarea es importante tener en cuenta que los relés deben ser capaces de soportar la corriente requerida por el motor; para esta tarea se ha seleccionado el relé RH-012C que puede trabajar con valores de corriente de hasta 10 amperios.

**Motor tubular:** Para realizar el movimiento de la persiana se utilizará un motor tubular, el cual incluye la opción de control de giro, este será controlado por medio de relés para subir y bajar las persianas.

**4.8.1 Conexiones** La Fig. 67 muestra el diagrama de conexiones del módulo persianas.

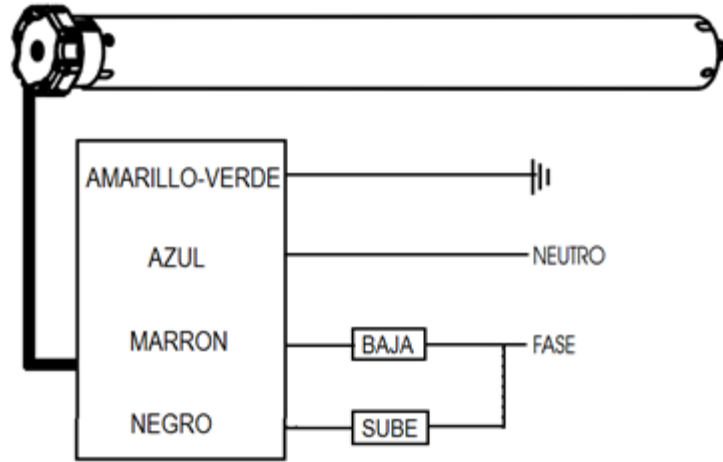
**Figura 67. Diagrama de conexiones módulo persianas.**



### Motor Tubular

El siguiente esquema muestra las conexiones del motor tubular.

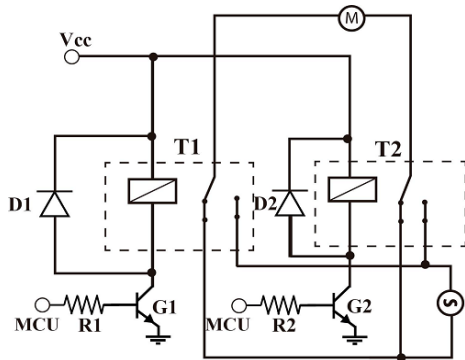
**Figura 68. Diagrama de conexión motor tubular.**



**Control de giro.**

El diagrama de conexión del control de giro es mostrado en la Fig. 69.

**Figura 69. Diagrama de conexión etapa de control.**



Componente	Valor
T1,2	RH-012C
D1,2	1N4004
R1,2	1K [ $\Omega$ ]
G1,2	2N2222

**4.9. PRESUPUESTO**

La siguiente tabla muestra el presupuesto del módulo central.

**Tabla 19. Presupuesto módulo central.**

<b>Componente</b>	<b>Referencia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unidad [US]</b>
Microcontrolador	CC2538	1	7.65
Antena	2.4 GHz 1/4 Wave Whip	1	6.89
Regulador de voltaje	LM2936 3.3V	1	1.74
Pulsador	Normalmente abierto	12	3.5
Batería	Sony 9v	1	2
Caja para el circuito		1	1.70
Conector batería		1	0.21
Cristal	32 [MHz]	2	1.48
PCB	Doble capa	1	10.00
Puerto USB		1	0.12
Inductancia	2 [nH]	2	0.35
Capacitor	47 [pF]	2	0.04
	12 [pF]	2	0.04
	18 [pF]	2	0.04
	1 [pF]	2	0.04
	22 [pF]	2	0.04
	1 [uF]	2	0.04
	1[nF]	1	0.02
	100 [nF]	1	0.02
	10 [uF] (electrolítico)	1	0.06
Resistencia	33 [Ω]	2	0.04
	1.5 [kΩ]	1	0.02
	2.2 [Ω]	1	0.02
	56 [kΩ]	1	0.02
	10 [kΩ]	12	0.25
<b>Total</b>			<b>36.33</b>

El costo del módulo luminaria se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla 20. Presupuesto módulo luminaria**

Componente	Referencia	Cantidad	Precio unidad [US]
Microcontrolador	CC2538	1	7.65
Antena	2.4 GHz 1/4 Wave Whip	1	6.89
Regulador de voltaje	LM2936 3.3V	1	1.74
Regulador de voltaje	LM2936 5V	1	1.74
Regulador de voltaje	LM7812	1	0.54
Regulador de voltaje	LM7912	1	0.54
Diodo	1N4004	5	0.188
Transistor	2N2222	1	0.64
Relé	RH-012C	1	1.88
Batería	Sony 12v	1	2
Caja para el circuito		1	1.70
Pulsador	Normalmente abierto	1	0.29
Conector batería		1	0.21
DAC	DAC8830	2	12.9
Sensor de iluminación	APDS-9005	1	1.24
Sensor PIR	NaPlon	1	15.44
Circuito integrado	555	1	0.28
OPAM	Lm358	2	0.14
OPAM	OPA277U	2	2.2
Cristal	32 [MHz]	2	1.48
PCB	Doble capa	1	10.00
Puerto USB		1	0.12
Inductancia	2 [nH]	2	0.35
Capacitor	47 [pF]	2	0.04
	12 [pF]	2	0.04
	18 [pF]	2	0.04
	1 [pF]	2	0.04
	22 [pF]	2	0.04
	1 [uF]	2	0.04
	40 [uF]	2	0.06
	1[nF]	1	0.02

Componente	Referencia	Cantidad	Precio unidad [US]
	100 [nF]	2	0.04
	10 [uF] (electrolítico)	4	0.24
	0.1 [uF] (electrolítico)	4	0.24
	1 [uF] (electrolítico)	2	0.80
	3300 [uF] (electrolítico)	2	0.24
Resistencia	33 [ $\Omega$ ]	2	0.04
	1.5 [k $\Omega$ ]	1	0.02
	2.2 [ $\Omega$ ]	1	0.02
	56 [k $\Omega$ ]	1	0.02
	100 [k $\Omega$ ]	1	0.02
	5 [k $\Omega$ ]	2	0.04
	1 [k $\Omega$ ]	5	0.08
	10 [k $\Omega$ ]	1	0.02
Total			93.34

Asimismo, se puede observar los costos del módulo persiana en la Tabla 21.

**Tabla 21. Presupuesto módulo persiana.**

Componente	Referencia	Cantidad	Precio unidad [US]
Microcontrolador	CC2538	1	7.65
Antena	2.4 GHz 1/4 Wave Whip	1	6.89
Regulador de voltaje	LM2936 3.3V	1	1.74
Pulsador	Normalmente abierto	1	0.29
Batería	Sony 12v	1	2
Caja para el circuito		1	1.70
Conector batería		1	0.21
Cristal	32 [MHz]	2	1.48
PCB	Doble capa	1	10.00
Puerto USB		1	0.12
OPAM	Lm358	4	0.28
Inductancia	2 [nH]	2	0.35

Componente	Referencia	Cantidad	Precio unidad [US]
Diodo	1N4004	4	0.188
Transistor	2N2222	4	0.64
Relé	RH-012C	4	1.88
Capacitor	47 [pF]	2	0.04
	12 [pF]	2	0.04
	18 [pF]	2	0.04
	1 [pF]	2	0.04
	22 [pF]	2	0.04
	1 [uF]	2	0.04
	1[nF]	1	0.02
	100 [nF]	1	0.02
	10 [uF] (electrolítico)	1	0.06
Resistencia	33 [ $\Omega$ ]	2	0.04
	1.5 [k $\Omega$ ]	1	0.02
	2.2 [ $\Omega$ ]	1	0.02
	1 [k $\Omega$ ]	8	0.08
	5.1 [k $\Omega$ ]	4	0.08
	2 [k $\Omega$ ]	4	0.08
	56 [k $\Omega$ ]	1	0.02
	10 [k $\Omega$ ]	1	0.02
Total			48.232

La Tabla 22 resume el costo total de la implementación del sistema inalámbrico de iluminación híbrido.

**Tabla 22. Presupuesto total de implementación del sistema de iluminación inalámbrico.**

Modulo	Cantidad	Precio (US)
Central	1	36.33
Persianas	2	96.464
Luminarias	3	280.02
XDS100V3	1	60.00
Total		472.814

Por otra parte, los diseños de las PCB son mostrados en los Anexos (Ver Anexo A, B y C).

## 5. CONCLUSIONES

De los documentos estudiados se puede concluir que el mayor uso de la comunicación inalámbrica en la domótica tiene como objetivo el ahorro energético donde se destacan los sistemas de iluminación.

En el futuro se espera que la velocidad de la red inalámbrica y que la potencia de transmisión disminuya. El costo de dicha red seguirá disminuyendo debido a que su uso será esencial para todas las organizaciones.

En los sistemas inalámbricos aplicados en la domótica es muy importante la interacción entre el operario y el sistema, por lo cual se han desarrollado diferentes soluciones que van desde aplicaciones móviles, servidores web, controles remotos hasta relojes.

De acuerdo con la literatura consultada, es conveniente precisar que en la actualidad existen dos fuertes tecnologías inalámbricas que se emplean de forma significativa:

- ZigBee.
- Z-wave.

Estas tecnologías son usadas principalmente para la automatización del hogar y/o edificios. ZigBee es probablemente la más popular debido a su bajo consumo de energía en los modos de sueño / hibernación.

En países como Estados Unidos, Francia, España, Alemania, Inglaterra, Canadá, Italia, China, India, Corea del Sur, entre otros, poseen diferentes tipos de hogares modernos de acuerdo con su cultura y las necesidades de sus usuarios. Es decir,

Estados Unidos le da mayor importancia al acceso que se le pueda dar el usuario tanto a información como a comunicación mientras que China y Corea del Sur toma mayor importancia la automatización e interacción con los demás electrodomésticos.

Es importante determinar la situación actual de la domótica en Colombia, los avances que ha tenido esta tecnología para que la domótica pueda ser implantada en el país con fines de regulación energética.

En Colombia, la domótica es considerada como tecnología emergente y sólo es usada, en forma inicial, por comunidades elitistas. Pero a medida que se entiendan las bondades de esta tecnología se espera encontrar en muchos hogares y empresas del país como ha sido la tendencia en países desarrollados.

Las empresas que trabajan con Tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en Colombia están enfocadas a políticas de conciencia, desarrollando dispositivos que vinculen la automatización para contribuir al ahorro energético y a la seguridad, como es el caso del diseño de redes de sensores inalámbricos que realiza Ramírez [180] con el objetivo de monitorear variables hidroclimáticas para la posible detección de alertas tempranas en lo que a riesgos naturales compete.

Empresas locales como Domoteco han desplegado soluciones en domótica, recibiendo ayuda de entidades como el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje), BID (Banco Interamericano de Desarrollo), Presidencia de la República y Colciencias. Estos proyectos y apoyos promueven el desarrollo tecnológico, lo cual le permite avanzar a Colombia.

Se realizó el diseño de un sistema de control inalámbrico de iluminación híbrida (natural+artificial) en el aula 402 de Ingeniería Eléctrica de la Universidad

Industrial de Santander, con el cual se logró analizar el uso de la comunicación inalámbrica y se apoyó el análisis de la iluminación híbrida.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

- [1] J. D. Alvarado Pérez and C. Barajas Guava, “Estudio técnico de potenciales aplicaciones domóticas en seguridad para el edificio eléctrica II,” Universidad Industrial de Santander, 2011.
- [2] K. P. Oliva Chávez and L. F. Morales Delgado, “‘Domótica’: Propuesta de curso electivo para la formación en ingeniería electrónica,” Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [3] U. Beaskoetxea Gartzia, “DOMÓTICA PARA VIVIENDAS CONSTRUIDAS,” Universidad Pública de Navarra, 2011.
- [4] T. Oluwafemi, S. Gupta, S. Patel, and T. Kohno, “Experimental Security Analyses of Non-Networked Compact Fluorescent Lamps : A Case Study of Home Automation Security,” *Univ. Washingt. Seattle, WA*, 2013.
- [5] H. M. Domínguez and F. Sáez Vacas, *Domótica : Un enfoque sociotécnico*, Primera Ed. Universidad Politécnica de Madrid Ciudad Universitaria, 2006.
- [6] P. A. C. Huérfano Rodríguez, “Estudio para la reducción de consumo energético en Colombia basado en tecnología domótica,” Fundación Universitaria Konrad Lorenz, 2011.
- [7] R. S. Bocanegra, C. D. Ramirez, and M. Suarez Sierra, “INTEGRACIÓN DE SENSORES INALÁMBRICOS Y DOMÓTICA,” Corporación Universitaria Minuto de Dios “Uniminuto,” 2011.

- [8] A. C. Soto Latorre and D. Velásquez Duque, "CONTROL DE ILUMINACIÓN Y TEMPERATURA POR MEDIO DE UN SISTEMA DOMÓTICO PARA HABITACIÓN DE HOSPITAL," Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2012.
- [9] J. Aguirre and O. Zapata, "Estado del arte de la domótica en Colombia," Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2006.
- [10] C. Reinisch, W. Kastner, G. Neugschwandtner, and W. Granzer, "Wireless Technologies in Home and Building Automation," in *2007 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2007, pp. 93–98.
- [11] M. Li and H.-J. Lin, "Design and Implementation of Smart Home Control Systems Based on Wireless Sensor Networks and Power Line Communications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 0046, no. c, pp. 1–1, 2014.
- [12] C. Withanage, R. Ashok, C. Yuen, and K. Otto, "A comparison of the popular home automation technologies," in *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*, 2014, pp. 600–605.
- [13] M. Z. Huq and S. Islam, "Home Area Network technology assessment for demand response in smart grid environment," in *Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2010 20th Australasian*, 2010, pp. 1 – 6.
- [14] N. K. Suryadevara, S. C. Mukhopadhyay, S. D. T. Kelly, and S. P. S. Gill, "WSN-Based Smart Sensors and Actuator for Power Management in Intelligent Buildings," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 20, no. 2, pp. 564–571, Apr. 2015.

- [15] H. Sharma and S. Sharma, "A review of sensor networks: Technologies and applications," in *2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS)*, 2014, pp. 1–4.
- [16] E. Ravenscraft, "How Can I Get Started with Home Automation?," *ASK LIFEHACKER*, 2013. .
- [17] M. Zareei, A. Zarei, R. Budiarto, and M. A. Omar, "A Comparative Study of Short Range Wireless Sensor Network on High Density Networks," no. October, pp. 247–252, 2011.
- [18] T. Wang, B. Zheng, and Z.-L. Liang, "The design and implementation of wireless intelligent light control system base on Zigbee light link," in *2013 10th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, 2013, pp. 122–125.
- [19] M.-T. Vo, V.-S. Tran, T.-D. Nguyen, and H.-T. Huynh, "Wireless Sensor Network for multi-storey building: Design and implementation," in *2013 International Conference on Computing, Management and Telecommunications (ComManTel)*, 2013, pp. 175–180.
- [20] K. Gill, S.-H. Yang, F. Yao, and X. Lu, "A zigbee-based home automation system," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 55, no. 2, pp. 422–430, May 2009.
- [21] J. Moon, J. Ha, Y. Lee, and J. Choi, "IR-UWB wide-beam antenna for indoor home security service," in *Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, 2012, pp. 1–2.

- [22] C. M. Okonkwo, D. Visani, H. van den Boom, G. Tartarini, E. Tangdiongga, and T. Koonen, "Ultrawideband Signal Distribution Over Large-Core POF for In-Home Networks," *J. Light. Technol.*, vol. 30, no. 18, pp. 2995–3002, Sep. 2012.
- [23] P. McDermott-Wells, "What is Bluetooth?," *IEEE Potentials*, vol. 23, no. 5, pp. 33–35, Jan. 2005.
- [24] F. Reynolds, "Whither Bluetooth?," *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 7, no. 3, pp. 6–8, Jul. 2008.
- [25] S. Sandhya and K. A. S. Devi, "Analysis of Bluetooth threats and v4.0 security features," in *2012 International Conference on Computing, Communication and Applications*, 2012, pp. 1–4.
- [26] I. Silva and A. Moreira, "Evaluation of bluetooth technology as a sensor of urban mobility," in *Information Systems and Technologies (CISTI), 2012 7th Iberian Conference on*, 2012, pp. 1 – 6.
- [27] A. Alhamoud, A. A. Nair, C. Gottron, D. Bohnstedt, and R. Steinmetz, "Presence detection, identification and tracking in smart homes utilizing bluetooth enabled smartphones," in *39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops*, 2014, pp. 784–789.
- [28] R. Piyare and M. Tazil, "Bluetooth based home automation system using cell phone," in *2011 IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, 2011, pp. 192–195.
- [29] H. Kim, J. Lee, J. W. Jang, and A. F. Routing, "BLEmesh: A Wireless Mesh Network Protocol for Bluetooth Low Energy Devices," 2015.

- [30] S. Sirur, P. Juturu, H. P. Gupta, and P. R. Serikar, "A Mesh Network for Mobile Devices using Bluetooth Low Energy."
- [31] J. Zhang, G. Song, H. Wang, and T. Meng, "Design of a Wireless Sensor Network Based Monitoring System for Home Automation," in *2011 International Conference on Future Computer Sciences and Application*, 2011, pp. 57–60.
- [32] C. Lien, Y. Bai, and M. Lin, "Remote-Controllable Power Outlet System for Home Power Management," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1634–1641, Nov. 2007.
- [33] E. Leite, L. Varela, and V. Pires, "A ZigBee wireless domotic system with Bluetooth interface," in *Industrial Electronics Society, IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE*, 2014, pp. 2506 – 2511.
- [34] "ZigBee." .
- [35] A. Vera T., A. Alarcón R., Á. Bernal N., O. Polanco M., and R. Nieto L., "Aplicación de las Comunicaciones Inalámbricas a la Domótica," *Univ. del Valle, Santiago Cali, Colomb.*, pp. 63–72, 2004.
- [36] A. Mulla, J. Baviskar, J. Desai, C. Beral, and A. Jadhav, "GSM based interactive voice response system for wireless load control and monitoring," in *2015 International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT)*, 2015, pp. 1–6.
- [37] R. Teymourzadeh, "Smart GSM based Home Automation System," in *2013 IEEE Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)*, 2013, no. December, pp. 306–309.

- [38] T. Mehrabi, A. S. Fung, and K. Raahemifar, "Optimization of home automation systems based on human motion and behaviour," in *2014 IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2014, pp. 1–5.
- [39] H. ElKamchouchi and A. ElShafee, "Design and prototype implementation of SMS based home automation system," in *2012 IEEE International Conference on Electronics Design, Systems and Applications (ICEDSA)*, 2012, pp. 162–167.
- [40] B. Yuksekkaya, A. a. Kayalar, M. B. Tosun, M. K. Ozcan, and A. Z. Alkar, "A GSM, internet and speech controlled wireless interactive home automation system," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 52, no. 3, pp. 837–843, Aug. 2006.
- [41] A. Nedelcu, F. Sandu, M. Machedon-Pisu, M. Alexandru, and P. Ogrutan, "Wireless-based remote monitoring and control of intelligent buildings," in *2009 IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments*, 2009, pp. 47–52.
- [42] I. Fundación Wikimedia, "Near field communication." .
- [43] J. Roh and S. Jin, "Device control protocol using mobile phone," in *16th International Conference on Advanced Communication Technology*, 2014, pp. 355–359.
- [44] A. B. Soler and J. Paradells, "Estudio y desarrollo de un sistema basado en una librería abierta para el uso del protocolo inalámbrico de domótica Z-Wave," Universidad Politécnica de Cataluña, 2014.

- [45] Y.-C. Li, S. H. Hong, X. H. Li, Y. C. Kim, and M. Alam, "Implementation of a BACnet-EnOcean gateway in buildings," in *2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, 2014, pp. 1–7.
- [46] X. Li, G. Chen, B. Zhao, and X. Liang, "A kind of intelligent lighting control system using the EnOcean network," in *2014 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, 2014, pp. 1–5.
- [47] J. Ploennigs, U. Ryssel, and K. Kabitzsch, "Performance analysis of the EnOcean wireless sensor network protocol," in *2010 IEEE 15th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA 2010)*, 2010, pp. 1–9.
- [48] J. P. Dignani, "Análisis del protocolo zigbee," Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 2011.
- [49] S. Prabha, J. Rathish, R. Dorothy, R. M. Joany, and S. Rajendran, "Use of ZigBee Module in Corrosion Monitoring," *Eur. Chem. ...*, vol. 3, no. 3, pp. 209–213, 2014.
- [50] T. H. Patel and C. Panchal, "An Efficient Application of Zigbee Technology in Lighting," *Int. J. Futur. Trends Eng. Technol.*, vol. 4, no. 01, pp. 35–37, 2014.
- [51] J. Byun, B. Jeon, J. Noh, Y. Kim, and S. Park, "An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 58, no. 3, pp. 794–802, Aug. 2012.

- [52] L.-C. Huang, H.-C. Chang, C.-C. Chen, and C.-C. Kuo, "A ZigBee-based monitoring and protection system for building electrical safety," *Energy Build.*, vol. 43, no. 6, pp. 1418–1426, Jun. 2011.
- [53] D.-M. Han and J.-H. Lim, "Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 3, pp. 1417–1425, Aug. 2010.
- [54] J. Han, C.-S. Choi, W.-K. Park, I. Lee, and S.-H. Kim, "Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC," in *2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2014, vol. 60, no. 2, pp. 544–545.
- [55] H. P. Lin, S. C. Cheng, D. B. Lin, C. H. Chung, and R. S. Hsiao, "Integrating ZigBee lighting control into existing building automation systems," in *IET International Conference on Information Science and Control Engineering 2012 (ICISCE 2012)*, 2012, pp. 3.48–3.48.
- [56] S. Park, M. Choi, B. Kang, and S. Park, "Design and Implementation of Smart Energy Management System for Reducing Power Consumption Using ZigBee Wireless Communication Module," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 19, pp. 662–668, Jan. 2013.
- [57] M. Varchola and M. Drutarovský, "Zigbee based home automation wireless sensor network," *Acta Electrotech. Inform.*, vol. 7, pp. 1–8, 2007.
- [58] H. AlShu'eili, G. Sen Gupta, and S. Mukhopadhyay, "Voice recognition based wireless home automation system," in *2011 4th International Conference on Mechatronics (ICOM)*, 2011, no. May, pp. 1–6.

- [59] F. Leccese and Z. Leonowicz, "Intelligent wireless street lighting system," *2012 11th Int. Conf. Environ. Electr. Eng.*, pp. 958–961, May 2012.
- [60] "Bluetooth." .
- [61] B. Fouladi and S. Ghanoun, "Security Evaluation of the Z-Wave Wireless Protocol," *Black hat*, p. 6, 2013.
- [62] L. Yang, M. Ji, Z. Gao, W. Zhang, and T. Guo, "Design of Home Automation System Based on ZigBee Wireless Sensor Network," in *2009 First International Conference on Information Science and Engineering*, 2009, pp. 2610–2613.
- [63] M. Knight, "Wireless security - How safe is Z-wave?," *Comput. Control Eng. J.*, vol. 17, no. 6, pp. 18–23, 2006.
- [64] V. C. M. Leung, "Comparisons of Home Area Network Connection Alternatives for Multifamily Dwelling Units," in *2011 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security*, 2011, pp. 1–5.
- [65] C. Lee and L. Zappaterra, "Securing smart home: Technologies, security challenges, and security requirements," in *2014 IEEE Conference on Communications and Network Security*, 2014, pp. 67–72.
- [66] "Z-wave." .
- [67] International Telecommunication Union, *Short range narrow-band digital radiocommunication transceivers – PHY and MAC layer specifications*. Suiza, 2012, p. 117.

- [68] R. A. de Marcos Peirotén, “SISTEMA DOMÓTICO PARA UNA CASA INTELIGENTE,” Universidad Pontificia Comillas, 2013.
- [69] N. T. Johansen, *Software Design Specification: Z-Wave Protocol Overview*, vol. 2. Zensys A/S, 2006, p. 17.
- [70] Vesternet Ltd, “Understanding Z-Wave Networks, Nodes & Devices,” *Vesternet Home Automation Simplified*, 2012. .
- [71] L. Assaf, *Sistemas Innovadores de Iluminación*. Buenos Aires, 1998.
- [72] M. Hidalgo, “Diseño del sistema de iluminación automatizados para una oficina en un edificio inteligente, basado en tecnología inalámbrica ZigBee,” Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2007.
- [73] A. Maiti and S. Sivanesan, “Cloud controlled intrusion detection and burglary prevention stratagems in home automation systems,” in *2012 2nd Baltic Congress on Future Internet Communications*, 2012, pp. 182–186.
- [74] G. B. Asencio, J. M. Maestre, J. M. Escaño, C. M. Macareno, M. a. Molina, and E. F. Camacho, “Interoperabilidad en Sistemas Domóticos Mediante Pasarela Infrarrojos-ZigBee,” *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 8, no. 4, pp. 397–404, Oct. 2011.
- [75] F. Bellido-Outeirino, J. Flores-Arias, F. Domingo-Perez, A. Gil-de-Castro, and A. Moreno-Munoz, “Building lighting automation through the integration of DALI with wireless sensor networks,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 47–52, Feb. 2012.

- [76] D. Angela, M. Ghenghea, and I. Bogdan, "Supporting environmental surveillance by using wireless sensor networks," in *2010 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE)*, 2010, pp. 216–219.
- [77] G. Song, Y. Zhou, W. Zhang, and A. Song, "A multi-interface gateway architecture for home automation networks," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 54, no. 3, pp. 1110–1113, Aug. 2008.
- [78] A. Somov, A. Baranov, and D. Spirjakin, "A wireless sensor–actuator system for hazardous gases detection and control," *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 210, pp. 157–164, Apr. 2014.
- [79] N. Langhammer and R. Kays, "Performance Evaluation of Wireless Home Automation Networks in Indoor Scenarios," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 2252–2261, Dec. 2012.
- [80] J. Camargo, L. Garcia, and E. Gaona, "Reconocimiento de voz humana aplicado a la domótica," *INGENIM Rev. la Fac. Ing.*, vol. 26, pp. 97–106, 2012.
- [81] G. Shi, R. Xu, Y. Shu, and J. Luo, "Exploiting Temporal and Spatial Variation for WiFi Interference Avoidance in ZigBee Networks," *Int. J. Sens. Networks*, 2011.
- [82] N. H. Maghsoodi, M. Haghnegahdar, A. H. Jahangir, and E. Sanaei, "Performance evaluation of energy management system in smart home using wireless sensor network," in *Smart Grids (ICSG), 2012 2nd Iranian Conference on*, 2012, pp. 1–8.

- [83] D. Bonino, F. Corno, and L. De Russis, "dWatch: A Personal Wrist Watch for Smart Environments," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 10, pp. 300–307, Jan. 2012.
- [84] J. Meng, "Partial discharge impulsive noise in electricity substations and the impact on 2.4 GHz and 915 MHz ZigBee communications," in *2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2013, pp. 1–5.
- [85] D. Han and J. Lim, "Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and zigbee," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 3, pp. 1403–1410, Aug. 2010.
- [86] C. Suh and Y.-B. Ko, "Design and implementation of intelligent home control systems based on active sensor networks," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 54, no. 3, pp. 1177–1184, Aug. 2008.
- [87] F. Leccese, "Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a ZigBee Network of Devices and Sensors," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 28, no. 1, pp. 21–28, Jan. 2013.
- [88] N. Dickey, D. Banks, and S. Sukittanon, "Home automation using Cloud Network and mobile devices," in *2012 Proceedings of IEEE Southeastcon*, 2012, pp. 1–4.
- [89] A. Z. Alkar and U. Buhur, "An internet based wireless home automation system for multifunctional devices," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 51, no. 4, pp. 1169–1174, Nov. 2005.
- [90] S. H. Hong and S. H. Kim, "Integrated BACnet-ZigBee communication for building energy management system," in *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2013, pp. 5723–5728.

- [91] G. Song, Z. Wei, W. Zhang, and A. Song, "A Hybrid Sensor Network System for Home Monitoring Applications," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1434–1439, Nov. 2007.
- [92] K.-Y. Lian, S.-J. Hsiao, and W.-T. Sung, "Intelligent multi-sensor control system based on innovative technology integration via ZigBee and Wi-Fi networks," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 756–767, 2013.
- [93] N. . Batista, R. Melício, J. C. . Matias, and J. P. S. Catalão, "Photovoltaic and wind energy systems monitoring and building/home energy management using ZigBee devices within a smart grid," *Energy*, vol. 49, pp. 306–315, Jan. 2013.
- [94] D. V. Keyson, A. Al Mahmud, M. de Hoogh, and R. Luxen, "Designing a Portable and Low Cost Home Energy Management Toolkit," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 19, pp. 646–653, 2013.
- [95] G. Song, F. Ding, W. Zhang, and A. Song, "A wireless power outlet system for smart homes," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 54, no. 4, pp. 1688–1691, Nov. 2008.
- [96] J. Han, C. Choi, and I. Lee, "More efficient home energy management system based on ZigBee communication and infrared remote controls," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 57, no. 1, pp. 85–89, Feb. 2011.
- [97] M. Vo, M.-T. Nguyen, T. Nguyen, C. Le, and H. Huynh, "Towards residential smart grid: A practical design of wireless sensor network and Mini-Web server based low cost home energy monitoring system," in *2013 International*

*Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2013)*, 2013, pp. 540–545.

- [98] I. Hong, J. Byun, and S. Park, “Cloud Computing-Based Building Energy Management System with ZigBee Sensor Network,” in *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, 2012, pp. 547–551.
- [99] D. Kim, S.-Y. Son, and J. Lee, “Developments of the in-home display systems for residential energy monitoring,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 59, no. 3, pp. 492–498, Aug. 2013.
- [100] F. M. Sallabi, A. M. Gaouda, A. H. El-Hag, and M. M. A. Salama, “Evaluation of ZigBee Wireless Sensor Networks Under High Power Disturbances,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 1, pp. 13–20, Feb. 2014.
- [101] J. P. Amaro, R. Cortesao, J. Landeck, and F. J. T. E. Ferreira, “Harvested Power Wireless Sensor Network Solution for Disaggregated Current Estimation in Large Buildings,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, pp. 1–1, 2015.
- [102] W. Guo, W. M. Healy, and M. Zhou, “Impacts of 2.4-GHz ISM Band Interference on IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Network Reliability in Buildings,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 61, no. 9, pp. 2533–2544, Sep. 2012.
- [103] A. Romero Acero, A. Marin Cano, and J. A. Jimenez Builes, “SCADA System for Detection of Explosive Atmospheres in Underground Coal Mines Through Wireless Sensor Network,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 12, no. 8, pp. 1398–1403, Dec. 2014.

- [104] C. Dandelski, B.-L. Wenning, D. Perez, D. Pesch, and J.-P. Linnartz, "Scalability of dense wireless lighting control networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 1, pp. 157–165, Jan. 2015.
- [105] P. Amaro, R. Cortesao, J. Landeck, and P. Santos, "Implementing an Advanced Meter Reading infrastructure using a Z-Wave compliant Wireless Sensor Network," in *Energetics (IYCE), Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on*, 2011, no. 1, pp. 1–6.
- [106] F. Osterlind, E. Pramsten, D. Roberthson, J. Eriksson, N. Finne, and T. Voigt, "Integrating building automation systems and wireless sensor networks," in *2007 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (EFTA 2007)*, 2007, pp. 1376–1379.
- [107] M. Al-Jemeli and F. A. Hussin, "An Energy Efficient Cross-Layer Network Operation Model for IEEE 802.15.4-Based Mobile Wireless Sensor Networks," *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 2, pp. 684–692, Feb. 2015.
- [108] D. Tejani, A. M. A. H. Al-Kuwari, and V. Potdar, "Energy conservation in a smart home," in *5th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2011)*, 2011, vol. 5, no. June, pp. 241–246.
- [109] B. Apolloni, S. Bassis, G. L. Galliani, and L. Valerio, "Wireless Domotic: An Enabling Platform for Granular Intelligence," in *2010 5th International Conference on Future Information Technology*, 2010, pp. 1–6.
- [110] J. Shah, L. Pathrabe, and B. Patel, "Wireless smart power saving system for home automation," in *2012 1st International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication & Networking*, 2012, pp. 1–6.

- [111] S. Ahmad, "Smart metering and home automation solutions for the next decade," in *2011 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC)*, 2011, pp. 200–204.
- [112] M. F. M. Fuzi, A. F. Ibrahim, M. H. Ismail, and N. S. A. Halim, "HOME FADS: A dedicated fire alert detection system using ZigBee wireless network," in *2014 IEEE 5th Control and System Graduate Research Colloquium*, 2014, pp. 53–58.
- [113] L. Wang, "Research and implementation of wireless home network in smart home," in *2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*, 2014, pp. 1127–1130.
- [114] R. S. Cheng, C. P. Lin, and J. Y. Jhou, "A Location-Aware Home Appliance Control System," in *2014 Tenth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2014, pp. 666–669.
- [115] P. Suresh, J. V. Daniel, V. Parthasarathy, and R. H. Aswathy, "A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment," in *2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR)*, 2014, pp. 1–8.
- [116] T. Kim, H. Lee, and Y. Chung, "Advanced universal remote controller for home automation and security," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 4, pp. 2537–2542, Nov. 2010.
- [117] D. Sunehra and A. Bano, "An intelligent surveillance with cloud storage for home security," in *2014 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, 2014, pp. 1–6.

- [118] D. Bonino, E. Castellina, and F. Corno, "Automatic domotic device interoperation," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 55, no. 2, pp. 499–506, May 2009.
- [119] P. Kannan, S. K. Udayakumar, and K. R. Ahmed, "Automation using voice recognition with python SL4A script for android devices," in *2014 International Conference on Industrial Automation, Information and Communications Technology*, 2014, no. August, pp. 1–4.
- [120] A.-C. Olteanu, G.-D. Oprina, N. Tapus, and S. Zeisberg, "Enabling Mobile Devices for Home Automation Using ZigBee," in *2013 19th International Conference on Control Systems and Computer Science*, 2013, pp. 189–195.
- [121] F. Schaefer, T. Gross, and R. Kays, "Energy consumption of 6LoWPAN and Zigbee in home automation networks," in *2013 IFIP Wireless Days (WD)*, 2013, pp. 1–3.
- [122] A. Kaiser and M. Boc, "Energy-efficient routing in IPv6 home networks," in *2014 23rd International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, 2014, pp. 1–8.
- [123] C. Felix and I. Jacob Raglend, "Home automation using GSM," in *2011 International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies*, 2011, no. Icscn, pp. 15–19.
- [124] B. S. Rao, S. D. V Prasad, and R. M. Mohan, "A proto-type for Home Automation using GSM technology," in *2010 International Conference on Power, Control and Embedded Systems*, 2010, pp. 1–4.

- [125] S. Nasrin and P. J. Radcliffe, "Novel protocol enables DIY home automation," in *2014 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC)*, 2014, pp. 212–216.
- [126] J. Baviskar, A. Mulla, M. Upadhye, J. Desai, and A. Bhovad, "Performance analysis of ZigBee based real time Home Automation system," in *2015 International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT)*, 2015, pp. 1–6.
- [127] N. Singh and R. Singh, "Remotely controlled home automation system," in *2014 International Conference on Advances in Engineering & Technology Research (ICAETR - 2014)*, 2014, pp. 1–5.
- [128] Y. T. Park, P. Sthapit, and J.-Y. Pyun, "Smart digital door lock for the home automation," in *TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference*, 2009, pp. 1–6.
- [129] F. Hoflinger, G. U. Gamm, J. Albesa, and L. M. Reindl, "Smartphone remote control for home automation applications based on acoustic wake-up receivers," in *2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*, 2014, pp. 1580–1583.
- [130] Y. Liang and S. Wan, "The Design of Smart Home Control System," in *2014 Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control*, 2014, pp. 311–314.
- [131] N. bt Aripin and M. B. Othman, "Voice control of home appliances using Android," in *2014 Electrical Power, Electronics, Communicatons, Control and Informatics Seminar (EECCIS)*, 2014, pp. 142–146.

- [132] A. Gurek, C. Gur, C. Gurakin, M. Akdeniz, S. K. Metin, and I. Korkmaz, "An Android based home automation system," in *2013 High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies*, 2013, pp. 121–125.
- [133] J. Saboune and A. El Saddik, "Control your smart home with an autonomously mobile smartphone," in *2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW)*, 2013, pp. 1–6.
- [134] N. Hasan, A. Al Mamun Khan, N. Uddin, and A. F. Mitul, "Design and implementation of touchscreen and remote control based home automation system," in *2013 2nd International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, 2013, no. Icaee, pp. 347–352.
- [135] A. R. Devidas, T. S. Subeesh, and M. V. Ramesh, "Design and implementation of user interactive wireless smart home energy management system," in *2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2013, pp. 626–631.
- [136] L. Xiang, "Design of household control system based on ZigBee, GSM and TCP/IP protocol," in *2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*, 2013, pp. 1372–1375.
- [137] S. V. Raj, "Implementation of pervasive computing based high-secure smart home system," in *2012 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, 2012, pp. 1–8.
- [138] A. W. Ahmad, N. Jan, S. Iqbal, and C. Lee, "Implementation of ZigBee-GSM based home security monitoring and remote control system," in *2011 IEEE 54th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, 2011, vol. 00, pp. 1–4.

- [139] Y. Ma, N. Wei, and M. Lv, "Performance Analysis of Wireless Network Based on IEEE 802.15.4 in Smart Home Environment," in *2012 Fourth International Conference on Multimedia Information Networking and Security*, 2012, pp. 208–211.
- [140] M. Idoudi, H. Elkhorchani, and K. Grayaa, "Performance evaluation of Wireless Sensor Networks based on ZigBee technology in smart home," in *2013 International Conference on Electrical Engineering and Software Applications*, 2013, pp. 1–4.
- [141] Y. Zhao, W. Sheng, J. Sun, and W. Shi, "Research and thinking of friendly smart home energy system based on smart power," in *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering*, 2011, pp. 4649–4654.
- [142] C. Zhang, M. Zhang, Y. Su, and W. Wang, "Smart home design based on ZigBee wireless sensor network," in *7th International Conference on Communications and Networking in China*, 2012, pp. 463–466.
- [143] K. Atukorala, D. Wijekoon, M. Tharugasini, I. Perera, and C. Silva, "SmartEye Integrated Solution to Home Automation, Security and Monitoring through Mobile Phones," in *2009 Third International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, 2009, pp. 64–69.
- [144] C. Zhou, W. Huang, and X. Zhao, "Study on architecture of smart home management system and key devices," in *Proceedings of 2013 3rd International Conference on Computer Science and Network Technology*, 2013, pp. 1255–1258.

- [145] J. Su, C. Lee, and W. Wu, "The design and implementation of a low-cost and programmable home automation module," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 52, no. 4, pp. 1239–1244, Nov. 2006.
- [146] W. Yifeng, "The design of smart home system based on wireless sensor network," in *2013 IEEE 4th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication*, 2013, pp. 106–108.
- [147] P. Zhang, L. Sun, P. Zhang, R. Hou, G. Tian, and X. Liu, "Wireless Network Design and Implementation in Smart Home," in *2013 6th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, 2013, pp. 167–170.
- [148] A. H. Primicanta, M. Y. Nayan, and M. Awan, "ZigBee-GSM based Automatic Meter Reading system," in *2010 International Conference on Intelligent and Advanced Systems*, 2010, pp. 1–5.
- [149] M. Magno, T. Polonelli, L. Benini, and E. Popovici, "A Low Cost, Highly Scalable Wireless Sensor Network Solution to Achieve Smart LED Light Control for Green Buildings," *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 5, pp. 2963–2973, 2015.
- [150] J. Yao, Z. Zhang, P. Dong, and K. Holtman, "A ZigBee controlled lighting system with improved resistance to wireless interference," in *2014 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile*, 2014, vol. 2, pp. 219–225.
- [151] G. Ozvural and G. K. Kurt, "Advanced approaches for wireless sensor network applications and cloud analytics," in *2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, 2015, no. April, pp. 1–5.

- [152] M. Gamba, A. Gonella, and C. E. Palazzi, "Design issues and solutions in a modern home automation system," in *2015 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, 2015, pp. 1111–1115.
- [153] T. Obaid, H. Rashed, A. A. El Nour, M. Rehan, M. M. Saleh, and M. Tarique, "Zigbee Based Voice Controlled Wireless Smart Home System," *Int. J. Wirel. Mob. Networks*, vol. 6, no. 1, pp. 47–59, 2014.
- [154] O. Ayurzana, B. Ragchaa, and H. Kim, "Development of energy efficient ZigBee module," in *2014 20th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*, 2014, pp. 892–895.
- [155] M. A. Sarijari, M. S. Abdullah, A. Lo, and R. a Rashid, "Experimental studies of the ZigBee frequency agility mechanism in home area networks," in *39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops*, 2014, pp. 711–717.
- [156] Y. Zhang and Q. Li, "Exploiting ZigBee in Reducing WiFi Power Consumption for Mobile Devices," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 1233, no. c, pp. 1–1, 2014.
- [157] E. J. Palacios-Garcia, J. M. Flores-Arias, A. Chen, F. J. Quiles-Latorre, and F. J. Bellido-Outeirino, "Home energy management system based on daily demand prediction and ZigBee network," in *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2015, pp. 315–316.
- [158] S. Sunny, "Implementation of an incampus fire alarm system using ZigBee," in *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 2015 2nd International Conference on*, 2015, pp. 732–737.

- [159] H. J. Patel, M. A. Temple, and R. O. Baldwin, "Improving ZigBee Device Network Authentication Using Ensemble Decision Tree Classifiers With Radio Frequency Distinct Native Attribute Fingerprinting," *IEEE Trans. Reliab.*, vol. 64, no. 1, pp. 221–233, 2015.
- [160] M. E. Rida, F. Liu, Y. Jadi, A. A. A. Algawhari, and A. Askourih, "Indoor Location Position Based on Bluetooth Signal Strength," in *2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering*, 2015, pp. 769–773.
- [161] J. Higuera, W. Hertog, M. Peralvarez, J. Polo, and J. Carreras, "Smart Lighting System ISO/IEC/IEEE 21451 Compatible," *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 5, pp. 2595–2602, 2015.
- [162] Y. Devi and I. Tech, "Wireless Home Automation System Using ZigBee," *Ijser.Org*, vol. 3, no. 8, pp. 1–5, 2014.
- [163] Firdaus, E. Nugroho, and A. Sahroni, "ZigBee and wifi network interface on Wireless Sensor Networks," in *2014 Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEEI)*, 2014, no. November, pp. 54–58.
- [164] A. Meliones, E. Touloupis, J. Perello, and A. Serrat, "Z-Phone: Design and implementation of embedded Voice over Zigbee applications," in *2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 2014, pp. 1–7.
- [165] D. Wang, D. Lo, J. Bhimani, and K. Sugiura, "AnyControl - IoT based Home Appliances Monitoring and Controlling," 2015.
- [166] Á. R. Acero, A. M. Cano, J. Alberto, and J. Builes, "Red de sensores inalámbricos para el monitoreo de alertas tempranas en minas

subterráneas : una solución a la problemática de atmósferas explosivas en la minería de carbón en Colombia Wireless sensor network for early warning monitoring in underground min,” vol. 3461, 2013.

- [167] S. Farahani, “ZigBee/IEEE 802.15.4 Networking Examples.” ZIGBEE WIRELESS NETWORKS AND TRANSCEIVER, 2008.
- [168] L. Prinslin and V. Janani, “Efficient data delivery in mobility aware ZigBee wireless networks,” in *International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES2014)*, 2014, vol. 35, no. 8, pp. 1–5.
- [169] C. Dixon, R. Mahajan, S. Agarwal, A. J. B. Bongshin, L. Stefan, and S. Paramvir, “An Operating System for the Home,” 2012.
- [170] Z-Wave Alliance, “Balance de nuestra asistencia al curso “Z-Wave Fundamentals and Basic Training,” *domotica daVinci*, 2013. .
- [171] A. Hnos, “Solución inalámbrica de Alonso Hnos. en sistemas de intrusión,” *Alonso hnos*, pp. 2–3, 2013.
- [172] V. C. Gungor and F. C. Lambert, “A survey on communication networks for electric system automation,” *Comput. Networks*, vol. 50, no. 7, pp. 877–897, May 2006.
- [173] A. A. B. D. S. Somov, “A Wireless Sensor-Actuator System for Hazardous Gases Detection and Control,” *Sensors Actuators A. Phys.*, 2014.
- [174] D. Arévalo, E. Mantilla, and A. SÁCHICA, “Monitoreo, soporte operativo y documental del sistema de automatización del nuevo edificio de la E3T.,” Universidad Industrial de Santander, 2013.

- [175] T. Instruments, “Wireless Connectivity,” 2014.
- [176] “LM2936 datasheet,” 2014.
- [177] “CC2538 datasheet,” 2014.
- [178] “APDS-9005 datasheet.”
- [179] Panasonic, “MP motion sensor ‘NaPIOn.’”
- [180] J. A. Ramirez, J. A. Buitrago, and H. Jorge Ivan Marin, “Sensor network for monitoring and natural-risk management in the Quindio-Colombia area,” in *2013 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*, 2013, pp. 1–6.

## BIBLIOGRAFÍA

ACERO, Álvaro ROMERO, Alejandro MARÍN CANO, Jovani Alberto, and JIMÉNEZ Builes. "Red de Sensores Inalámbricos Para El Monitoreo de Alertas Tempranas En Minas Subterráneas: Una Solución a La Problemática de Atmósferas Explosivas En La Minería de Carbón En Colombia Wireless Sensor Network for Early Warning Monitoring in Underground Min." 3461. 2013

AGUIRRE, Jefferson, and ZAPATA Oscar. "Estado Del Arte de La Domótica En Colombia." Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin. 2006

AHMAD, ARBAB Waheed, NAEEM Jan, SAEED Iqbal, and CHANKIL Lee. "Implementation of ZigBee-GSM Based Home Security Monitoring and Remote Control System." In 2011 IEEE 54th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), IEEE, 1–4. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6026611> (March 29, 2015).

AHMAD, Shafik. "Smart Metering and Home Automation Solutions for the next Decade." In 2011 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC), IEEE, 200–204. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5958516> (February 26, 2015).

ALHAMOUD, Alaa et al. "Presence Detection, Identification and Tracking in Smart Homes Utilizing Bluetooth Enabled Smartphones." In 39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops, IEEE, 784–89. [en línea] disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6927735> (March 12, 2015).

AL-JEMELI, Marwan, and FAWNIZU A. Hussin. "An Energy Efficient Cross-Layer Network Operation Model for IEEE 802.15.4-Based Mobile Wireless Sensor Networks." *IEEE Sensors Journal* 15(2): 684–92. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6883132> (February 19, 2015).

ALKAR, A.Z., and UMIT Buhur. "An Internet Based Wireless Home Automation System for Multifunctional Devices." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 51(4): 1169–74. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1561840> (March 25, 2015).

ALSHU'EILI, Humaid, GOURAB Sen Gupta, and SUBHAS Mukhopadhyay. "Voice Recognition Based Wireless Home Automation System." In 2011 4th International Conference on Mechatronics (ICOM), IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5937116> (March 24, 2015).

ALVARADO PÉREZ, Jhon Dairo, and BARAJAS GUAVA César. Universidad Industrial de Santander "Estudio Técnico de Potenciales Aplicaciones Domóticas En Seguridad Para El Edificio Eléctrica II." Universidad Industrial de Santander. 2011.

AMARO, Jose Pedro, RUI CORTESAO, Jorge Landeck, and FERREIRA Fernando J. T. E.. "Harvested Power Wireless Sensor Network Solution for Disaggregated Current Estimation in Large Buildings." *IEEE Transactions on Instrumentation and*

Measurement: 1–1. [en línea] disponible en:  
[http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=7003997](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=7003997) (March 26, 2015).

AMARO, Pedro, RUI CORTESAO, Jorge Landeck, and SANTOS Paulo. “Implementing an Advanced Meter Reading Infrastructure Using a Z-Wave Compliant Wireless Sensor Network.” In *Energetics (IYCE), Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on*, Leiria: IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6028316](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6028316) (February 18, 2015).

DARIE Angela, GHENGHEA Mihai, and ION Bogdan. “Supporting Environmental Surveillance by Using Wireless Sensor Networks.” In *2010 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE)*, IEEE, 216–19. [en línea] disponible en:  
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5628512> (March 24, 2015).

APDS-9005 Datasheet.

APOLLONI, Bruno, BASSIS Simone, GALLIANI Gian Luca, and VALERIO Lorenzo. “Wireless Domotic: An Enabling Platform for Granular Intelligence.” In *2010 5th International Conference on Future Information Technology*, IEEE, 1–6. [en línea] disponible en:  
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5482697> (February 25, 2015).

ASENCIO, Gonzalo B. et al. “Interoperabilidad En Sistemas Domóticos Mediante Pasarela Infrarrojos-ZigBee.” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI* 8(4): 397–404. [en línea] disponible en:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1697791211000367> (September 15, 2014).

ASSAF, Leonardo. Gestión de la explotación y conservación sustentable del alumbrado urbano. Sistemas Innovadores de Iluminación. Buenos Aires. 1998.

ATUKORALA, K. et al. “SmartEye Integrated Solution to Home Automation, Security and Monitoring through Mobile Phones.” In 2009 Third International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, IEEE, 64–69. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5337103> (March 29, 2015).

AYURZANA, Odgerel, BYAMBAJAV Ragchaa, and HIESIK Kim. “Development of Energy Efficient ZigBee Module.” In 2014 20th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), , 892–95. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7097903>.

BATISTA, N.C, R MELÍCIO, J.C.O MATIAS, and J.P.S. CATALÃO. “Photovoltaic and Wind Energy Systems Monitoring and Building/home Energy Management Using ZigBee Devices within a Smart Grid.” Energy 49: 306–15. [en línea] disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544212008390> (March 26, 2015).

BAVISKAR, Jaypal et al. “Performance Analysis of ZigBee Based Real Time Home Automation System.” In 2015 International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT), IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7045685> (March 27, 2015).

BEASKOETXEA Gartzia, Unai. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación “Domótica para viviendas construidas.” Universidad Pública de Navarra. 2011.

BELLIDO-OUTEIRINO, Francisco et al. “Building Lighting Automation through the Integration of DALI with Wireless Sensor Networks.” IEEE Transactions on Consumer Electronics 58(1): 47–52. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6170054> (February 27, 2015).

BOCANEGRA, Rodrigo SANABRIA, Carlos RAMIREZ Daniel, and SUAREZ SIERRA Miguel. “Integración de sensores inalámbricos y domótica.” Corporación Universitaria Minuto de Dios “Uniminuto.” 2011.

BONINO, Dario, CASTELLINA Emiliano, and CORNO Fulvio. “Automatic Domotic Device Interoperation.” IEEE Transactions on Consumer Electronics 55(2): 499–506. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5174413> (March 26, 2015).

BONINO, Dario, FULVIO Corno, and DE RUSSIS Luigi. “dWatch: A Personal Wrist Watch for Smart Environments.” Procedia Computer Science 10: 300–307. 2012.

BT ARIPIN, Norhafizah, and M. B. OTHMAN. “Voice Control of Home Appliances Using Android.” In 2014 Electrical Power, Electronics, Communications, Control and Informatics Seminar (EECCIS), IEEE, 142–46. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7003735> (March 28, 2015).

BYUN, Jinsung et al. "An Intelligent Self-Adjusting Sensor for Smart Home Services Based on ZigBee Communications." IEEE Transactions on Consumer Electronics 58(3): 794–802. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6311320> (March 25, 2015).

CAMARGO, Julian, GARCIA Luis, and GAONA Elvis. "Reconocimiento de Voz Humana Aplicado a La Domótica." INGENIM Revista de la faculta de ingeniería 26: 97–106. 2012.

CARELIN Felix,, and RAGLEND I. Jacob. "Home Automation Using GSM." In 2011 International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies, IEEE, 15–19. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6024506> (February 4, 2015). 2011.

CC2538 Datasheet. 2014.

CHENG, Rung Shiang, CHIA Peng Lin, and JIUN Yu Jhou. "A Location-Aware Home Appliance Control System." In 2014 Tenth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, IEEE, 666–69. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6998417> (March 26, 2015).

DANDELSKI, Conrad et al. "Scalability of Dense Wireless Lighting Control Networks." IEEE Communications Magazine 53(1): 157–65. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=7010529](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=7010529) (March 26, 2015).

DEVI, Yu, and IIM Tech. "Wireless Home Automation System Using ZigBee." *Ijser.Org* 3(8): 1–5. [en línea] disponible en: <http://www.ijser.org/researchpaper/Wireless-Home-Automation-System-Using-ZigBee.pdf>.

DEVIDAS, Aryadevi Remanidevi, T. S. SUBEESH, and MANEESHA Vinodini Ramesh. "Design and Implementation of User Interactive Wireless Smart Home Energy Management System." In 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), IEEE, 626–31. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6637245> (March 28, 2015).

DICKEY, Nicholas, DARRELL Banks, and SOMSAK Sukittanon. "Home Automation Using Cloud Network and Mobile Devices." In 2012 Proceedings of IEEE Southeastcon, IEEE, 1–4. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6197003> (March 25, 2015).

DIGNANI, Jorge Pablo. "Análisis Del Protocolo Zigbee." Universidad Nacional de La Plata. 2011.

DIXON, Colin et al. "An Operating System for the Home." In USENIX.

DOMÍNGUEZ, Hugo Martín, and SÁEZ VACAS Fernando. *Domótica : Un Enfoque Sociotécnico*. Primera Ed. Universidad Politécnica de Madrid Ciudad Universitaria. 2012. 2006.

ELKAMCHOUCHI, H., and AHMED EIShafee. "Design and Prototype Implementation of SMS Based Home Automation System." In 2012 IEEE

International Conference on Electronics Design, Systems and Applications (ICEDSA), IEEE, 162–67. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6507788> (January 30, 2015).

ELECTRONIKA Bluetooth.” [en línea] disponible en: [http://electronika2.tripod.com/info\\_files/bluetooth.htm](http://electronika2.tripod.com/info_files/bluetooth.htm).

FARAHANI, S. “ZigBee/IEEE 802.15.4 Networking Examples.” 2008.

FIRDAUS, Eko Nugroho, and ALVIN Sahroni. “ZigBee and Wifi Network Interface on Wireless Sensor Networks.” In 2014 Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEEI), , 54–58. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7067310>.

FOULADI, Behrang, and SAHAND Ghanoun. “Security Evaluation of the Z-Wave Wireless Protocol.” Black hat: 6. 2013.

FUNDACIÓN WIKIMEDIA, Inc. “Near Field Communication.” [en línea] disponible en:[http://es.wikipedia.org/wiki/Near\\_field\\_communication](http://es.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication).

FUZI, MOHD Faris Mohd, ALIF FAISAL Ibrahim, MOHAMMAD HAFIZ Ismail, and NUR SYAKIRA Ab Halim. “HOME FADS: A Dedicated Fire Alert Detection System Using ZigBee Wireless Network.” In 2014 IEEE 5th Control and System Graduate Research Colloquium, IEEE, 53–58. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6908695> (February 26, 2015).

GAMBA, MATTIA, Alessandro Gonella, and PALAZZI. Claudio E “Design Issues and Solutions in a Modern Home Automation System.” In 2015 International

Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), , 1111–15.  
[en línea] disponible  
en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7069505>.

GILL, Khusvinder, SHUANG-HUA Yang, FANG Yao, and XIN Lu. “A Zigbee-Based Home Automation System.” IEEE Transactions on Consumer Electronics 55(2): 422–30. [en línea] disponible  
en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5174403>  
(March 24, 2015).

GUNGOR, V.C., and LAMBERT. F.C. “A Survey on Communication Networks for Electric System Automation.” Computer Networks 50(7): 877–97. [en línea] disponible  
en:<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389128606000193>  
(January 9, 2015).

GUO, WENQI, William M Healy, and ZHOU Mengchu. “Impacts of 2.4-GHz ISM Band Interference on IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Network Reliability in Buildings.” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 61(9): 2533–44. [en línea] disponible  
en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6209430>  
(March 26, 2015).

GUREK, Alper et al. “An Android Based Home Automation System.” In 2013 High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies, IEEE, 121–25. [en línea] disponible  
en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6729769>  
(February 10, 2015).

HAN, Dae-Man, and LIM Jae-Hyun. “Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems Based on Zigbee.” IEEE Transactions on Consumer

Electronics 56(3): 1417–25. [en línea] disponible en:[http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5606278](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5606278) (March 26, 2015).

HAN, Dae-man, and JAE-HYUN Lim. “Smart Home Energy Management System Using IEEE 802.15.4 and Zigbee.” IEEE Transactions on Consumer Electronics 56(3): 1403–10. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5606276> (March 25, 2015).

HAN, JINSOO et al. “Smart Home Energy Management System Including Renewable Energy Based on ZigBee and PLC.” In 2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), IEEE, 544–45. [en línea] disponible en:[http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6851994](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6851994) (March 26, 2015).

HAN, Jinsoo, CHANG-SIC Choi, and ILWOO Lee. “More Efficient Home Energy Management System Based on ZigBee Communication and Infrared Remote Controls.” IEEE Transactions on Consumer Electronics 57(1): 85–89. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5735485> (March 26, 2015).

HASAN, Nazmul, ABDULLAH Al Mamun Khan, NEZAM Uddin, and ABU Farzan Mitul. “Design and Implementation of Touchscreen and Remote Control Based Home Automation System.” In 2013 2nd International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), IEEE, 347–52. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6750361> (February 10, 2015).

HIGUERA, Jorge et al. "Smart Lighting System ISO/IEC/IEEE 21451 Compatible." IEEE Sensors Journal 15(5): 2595–2602. [en línea] disponible en:<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84925125939&partnerID=tZOtx3y1>.

HNOS, ALONSO. "Solución Inalámbrica de Alonso Hnos. En Sistemas de Intrusión." Alonso hnos: 2–3. 2013. [en línea] disponible en:<http://www.alonsohnos.com/>.

HOFLINGER, Fabian, GERD ULRICH Gamm, ALBESA Joan, and REINDL. Leonhard M "Smartphone Remote Control for Home Automation Applications Based on Acoustic Wake-up Receivers." In 2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, IEEE, 1580–83. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6861012> (March 28, 2015).

HONG, Insung, JISUNG Byun, and SEHYUN Park. "Cloud Computing-Based Building Energy Management System with ZigBee Sensor Network." In 2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, IEEE, 547–51. 2012. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6296913> (March 26, 2015).

HONG, SEUNG Ho, and SE HWAN Kim. "Integrated BACnet-ZigBee Communication for Building Energy Management System." In IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IEEE, 5723–28. 2013. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6700072> (March 25, 2015).

HUANG, Li-Chien, HONG-CHAN Chang, CHENG-CHUNG Chen, and CHENG-CHien Kuo. "A ZigBee-Based Monitoring and Protection System for Building Electrical Safety." *Energy and Buildings* 43(6): 1418–26. 2011. [en línea] disponible en:<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778811000454> (October 17, 2014).

HUÉRFANO RODRIGUEZ, Paula Adriana Catalina. *Fundación Universitaria Konrad Lorenz "Estudio Para La Reducción de Consumo Energético En Colombia Basado En Tecnología Domótica."* Fundación Universitaria Konrad Lorenz. 2011.

HUQ, M.Z., and ISLAM S.. "Home Area Network Technology Assessment for Demand Response in Smart Grid Environment." In *Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2010 20th Australasian*, Christchurch: IEEE, 1–6.

IDOUDI, Monaem, HABIB Elkhorchani, and KHALED Grayaa. "Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks Based on ZigBee Technology in Smart Home." In *2013 International Conference on Electrical Engineering and Software Applications*, IEEE, 1–4. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6578423> (March 29, 2015).

INSTRUMENTS, TEXAS. "Wireless Connectivity." 2014.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. *ITU-T Short Range Narrow-Band Digital Radiocommunication Transceivers – PHY and MAC Layer Specifications*. Suiza. 2012

JOHANSEN, Niels Thybo. *2 Zensys A/S Software Design Specification: Z-Wave Protocol Overview*. Zensys A/S. 2006.

KAISER, Arnaud, and BOC Michael. "Energy-Efficient Routing in IPv6 Home Networks." In 2014 23rd International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), IEEE, 1–8. 2014. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6911769> (March 27, 2015).

KANNAN, Prashanth, SAAI KRISHNAN Udayakumar, and K RUWAID Ahmed. "Automation Using Voice Recognition with Python SL4A Script for Android Devices." In 2014 International Conference on Industrial Automation, Information and Communications Technology, IEEE, 1–4. 2014. [en línea] disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6922098> (March 27, 2015).

KEYSON, David V., ABDULLAH Al Mahmud, MARC De Hoogh, and ROB Luxen. "Designing a Portable and Low Cost Home Energy Management Toolkit." *Procedia Computer Science* 19: 646–53. 2013. [en línea] disponible en:<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050913006947> (November 7, 2014).

KIM, Dong, SUNG-YONG Son, and JEONGJOON Lee. "Developments of the in-Home Display Systems for Residential Energy Monitoring." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 59(3): 492–98. 2013. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6626229](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6626229) (March 26, 2015).

KIM, Hyun-soo, JUNGYUB Lee, JU WOOK Jang, and ROUTING A Flood. "BLEmesh: A Wireless Mesh Network Protocol for Bluetooth Low Energy Devices." 2015.

KIM, Taewan, HAKJOON Lee, and YUNMO Chung.. "Advanced Universal Remote Controller for Home Automation and Security." *IEEE Transactions on Consumer*

Electronics 56(4): 2537–42. 2010 [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5681138> (March 26, 2015).

KNIGHT, Miya. “Wireless Security - How Safe Is Z-Wave?” Computing & Control Engineering Journal 17(6): 18–23. 2006.

LANGHAMMER, Nils, and RUEDIGER Kays. “Performance Evaluation of Wireless Home Automation Networks in Indoor Scenarios.” IEEE Transactions on Smart Grid 3(4): 2252–61. 2012. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6287624> (March 24, 2015).

LECCESE, Fabio. “Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a ZigBee Network of Devices and Sensors.” IEEE Transactions on Power Delivery 28(1): 21–28. 2013. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6389795> (March 25, 2015).

LECCESE, Fabio, and ZBIGNIEW Leonowicz. “Intelligent Wireless Street Lighting System.” 2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering: 958–61. 2012. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6221515>.

LEE, Changmin, and LUCA Zappaterra. “Securing Smart Home: Technologies, Security Challenges, and Security Requirements.” In 2014 IEEE Conference on Communications and Network Security, IEEE, 67–72. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6997467> (March 18, 2015).

LEITE, Eurico, VARELA Luis, and PIRES VF. "A ZigBee Wireless Domotic System with Bluetooth Interface." In Industrial Electronics Society, IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE, Dallas, TX, USA: IEEE, 2506–11. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=A+ZigBee+Wireless+Domotic+System+with+Bluetooth+Interface> (March 12, 2015).

LEUNG, Victor C. M. "Comparisons of Home Area Network Connection Alternatives for Multifamily Dwelling Units." In 2011 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security, IEEE, 1–5. 2011. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5720598> (March 25, 2015).

LI, Mingfu, and HUNG-Ju Lin. "Design and Implementation of Smart Home Control Systems Based on Wireless Sensor Networks and Power Line Communications." IEEE Transactions on Industrial Electronics 0046(c): 1–1. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6981976> (March 9, 2015).

LI, Xiaohui, GUANG Chen, BING Zhao, and XIAOBING Liang. "A Kind of Intelligent Lighting Control System Using the EnOcean Network." In 2014 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS), IEEE, 1–5. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6878964> (March 13, 2015).

LI, Yi-Chang et al. "Implementation of a BACnet-EnOcean Gateway in Buildings." In 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid

(IGBSG), IEEE, 1–7. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6835156> (March 13, 2015).

LIAN, Kuang-Yow, SUNG-JUNG Hsiao, and WEN-TSAI Sung. “Intelligent Multi-Sensor Control System Based on Innovative Technology Integration via ZigBee and Wi-Fi Networks.” *Journal of Network and Computer Applications* 36(2): 756–67. 2013

LIANG, Yongen, and SHIMING Wan. “The Design of Smart Home Control System.” In *2014 Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, IEEE*, 311–14. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6995041> (March 28, 2015).

LIEN, Chia-hung, YING-WEN Bai, and MING-BO Lin.. “Remote-Controllable Power Outlet System for Home Power Management.” *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 53(4): 1634–41. 2007 [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4429263> (March 24, 2015).

LIN, H.P. et al. “Integrating ZigBee Lighting Control into Existing Building Automation Systems.” In *IET International Conference on Information Science and Control Engineering 2012 (ICISCE 2012)*, Institution of Engineering and Technology, 3.48–3.48. 2012. [en línea] disponible en: <http://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/cp.2012.2445> (February 27, 2015).

LM2936 Datasheet. 2014.

MA, Yonghong, NING Wei, and MINHUA Lv. "Performance Analysis of Wireless Network Based on IEEE 802.15.4 in Smart Home Environment." In 2012 Fourth International Conference on Multimedia Information Networking and Security, IEEE, 208–11. 2012. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6405663> (March 29, 2015).

MAGHSOODI, Navid Haji, MOHAMMAD Haghnegahdar, AMIR Hossein Jahangir, and ESMAIL Sanaei. "Performance Evaluation of Energy Management System in Smart Home Using Wireless Sensor Network." In Smart Grids (ICSG), 2012 2nd Iranian Conference on, Tehran: IEEE, 1–8. 2012. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6243559](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6243559) (January 20, 2015).

MAGNO, Michele, TOMMASO Polonelli, LUCA Benini, and POPOVICI Emanuel. "A Low Cost, Highly Scalable Wireless Sensor Network Solution to Achieve Smart LED Light Control for Green Buildings." IEEE Sensors Journal 15(5): 2963–73. 2015. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6994782>.

MAITI, A., and SIVANESAN S.. "Cloud Controlled Intrusion Detection and Burglary Prevention Stratagems in Home Automation Systems." In 2012 2nd Baltic Congress on Future Internet Communications, IEEE, 182–86. 2012. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6218000> (March 25, 2015).

MARCOS DE PEIROTÉN, Rodrigo Alejandro. Universidad pontificia comillas - madrid "sistema domótico para una casa inteligente." Universidad Pontificia Comillas. 2013.

MCDERMOTT-WELLS, P. "What Is Bluetooth?" IEEE Potentials 23(5): 33–35. 2005. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1368913> (March 12, 2015).

MEHRABI, Taha, ALAN S Fung, and KAAMRAN Raahemifar. "Optimization of Home Automation Systems Based on Human Motion and Behaviour." In 2014 IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), IEEE, 1–5. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6901099> (March 13, 2015).

MELIONES, A, TOULOUPIIS E, PERELLO J., and SERRAT A. ". Z-Phone: Design and Implementation of Embedded Voice over Zigbee Applications." In 2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), , 1–7. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6912602>.

MENG, Julian. "Partial Discharge Impulsive Noise in Electricity Substations and the Impact on 2.4 GHz and 915 MHz ZigBee Communications." In 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting, IEEE, 1–5. 2013. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6672249> (March 25, 2015).

MOON, Junyoung, JAEGEUN Ha, YOUNGKI Lee, and JAEHOON Choi. "IR-UWB Wide-Beam Antenna for Indoor Home Security Service." In Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, IEEE, 1–2. 2012. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6348048> (March 12, 2015).

MULLA, Afshan et al. "GSM Based Interactive Voice Response System for Wireless Load Control and Monitoring." In 2015 International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT), IEEE, 1–6. 2015. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7045693> (March 27, 2015).

NASRIN, Salma, and RADCLIFFE. P J "Novel Protocol Enables DIY Home Automation." In 2014 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC), IEEE, 212–16. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7020900> (March 27, 2015).

NEDELUCU, Adrian-valentin et al. "Wireless-Based Remote Monitoring and Control of Intelligent Buildings." In 2009 IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments, IEEE, 47–52. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5355999> (March 13, 2015).

OBAID, Thoraya et al. "Zigbee Based Voice Controlled Wireless Smart Home System." International Journal of Wireless & Mobile Networks 6(1): 47–59. 2014. [en línea] disponible en: <http://www.airccse.org/journal/jwmn/6114ijwmn04.pdf>.

OKONKWO, CHIGO M et al. "Ultrawideband Signal Distribution Over Large-Core POF for In-Home Networks." Journal of Lightwave Technology 30(18): 2995–3002. 2012. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6253221> (March 12, 2015).

OLIVA CHÁVEZ, Karen Paola, and MORALES DELGADO Luisa Fernanda. Universidad Industrial de Santander “‘Domótica’: Propuesta de Curso Electivo Para La Formación En Ingeniería Electrónica.” Universidad Industrial de Santander. 2007.

OLTEANU, Alexandru-Corneliu, OPRINA George-Daniel, TAPUS Nicolae, and ZEISBERG Sven. “Enabling Mobile Devices for Home Automation Using ZigBee.” In 2013 19th International Conference on Control Systems and Computer Science, IEEE, 189–95. 2013. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6569264> (March 27, 2015).

OLUWAFEMI, Temitope, SIDHANT Gupta, SHWETAK Patel, and TADAYOSHI Kohno. “Experimental Security Analyses of Non-Networked Compact Fluorescent Lamps: A Case Study of Home Automation Security.” University of Washington Seattle, WA. 2013.

OSTERLIND, Fredrik et al. “Integrating Building Automation Systems and Wireless Sensor Networks.” In 2007 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (EFTA 2007), IEEE, 1376–79. 2007. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4416941](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4416941) (March 26, 2015).

OZVURAL, Gorkem, and GUNES Karabulut Kurt. “Advanced Approaches for Wireless Sensor Network Applications and Cloud Analytics.” In 2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), , 1–5. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7106979>.

PALACIOS-GARCIA, Emilio J. et al. “Home Energy Management System Based on Daily Demand Prediction and ZigBee Network.” In 2015 IEEE International

Conference on Consumer Electronics (ICCE), , 315–16. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7066428>.

Panasonic. “MP Motion Sensor ‘NaPIOn.’”

PARK, Sunghoi, MYEONG-In Choi, BYEONGKWAN Kang, and SEHYUN Park. “Design and Implementation of Smart Energy Management System for Reducing Power Consumption Using ZigBee Wireless Communication Module.” *Procedia Computer Science* 19: 662–68. 2013. [en línea] disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050913006960> (March 15, 2015).

PARK, Yong Tae, PRANESH Sthapit, and JAE-YOUNG Pyun. “Smart Digital Door Lock for the Home Automation.” In *TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference*, IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5396038> (March 27, 2015).

PATEL, Hiren J, MICHAEL A TEMPLE, and RUSTY O Baldwin. “Improving ZigBee Device Network Authentication Using Ensemble Decision Tree Classifiers With Radio Frequency Distinct Native Attribute Fingerprinting.” *IEEE Transactions on Reliability* 64(1): 221–33. 2015. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6981992>.

PATEL, Tejal H, and CHAITALI Panchal. “An Efficient Application of Zigbee Technology in Lighting.” *International Journal of Futuristic Trends in Engineering and Technology* 4(01): 35–37. 2014.

PIYARE, R, and M TAZIL. “Bluetooth Based Home Automation System Using Cell Phone.” In *2011 IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*, IEEE, 192–95. [en línea] disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5973811> (March 12, 2015).

PLOENNIGS, Joern, UWE RysseL, and KLAUS Kabitzsch. "Performance Analysis of the EnOcean Wireless Sensor Network Protocol." In 2010 IEEE 15th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA 2010), IEEE, 1–9. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5641313> (March 13, 2015).

PRABHA, S et al. "Use of ZigBee Module in Corrosion Monitoring." European Chemical ... 3(3): 209–13. 2014. [en línea] disponible en: <http://www.eurchembull.com/index.php/ECB/article/view/1286> (March 24, 2015).

PRIMICANTA, Aryo H, MOHD Yunus Nayan, and MOHAMMAD Awan. "ZigBee-GSM Based Automatic Meter Reading System." In 2010 International Conference on Intelligent and Advanced Systems, IEEE, 1–5. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5716223> (March 29, 2015).

PRINSLIN, L, and V. JANANI. "Efficient Data Delivery in Mobility Aware ZigBee Wireless Networks." In International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES2014), , 1–5. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7033778>.

RAJ, S. VENTYLEES. "Implementation of Pervasive Computing Based High-Secure Smart Home System." In 2012 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, IEEE, 1–8. [en línea] disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6510231> (March 29, 2015).

RAMIREZ, Julian Adolfo, BUITRAGO Jaime Alberto, and H. MARIN Jorge Ivan.. “Sensor Network for Monitoring and Natural-Risk Management in the Quindio-Colombia Area.” In 2013 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM), IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6564826> (April 9, 2015).

RAO, B SRINIVASA, S D V PRASAD, and R MADAN MOHAN. “A Proto-Type for Home Automation Using GSM Technology.” In 2010 International Conference on Power, Control and Embedded Systems, IEEE, 1–4. 2010. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5698706> (March 27, 2015).

RAVENS-CRAFT, Eric. “How Can I Get Started with Home Automation?” ASK LIFEHACKER. 2013. [en línea] disponible en: <http://lifelifehacker.com/how-can-i-get-started-with-home-automation-510246491>.

REINISCH, Christian, WOLFGANG Kastner, GEORG Neugschwandtner, and WOLFGANG Granzer. “Wireless Technologies in Home and Building Automation.” In 2007 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics, IEEE, 93–98. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4384737](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4384737) (February 18, 2015).

REYNOLDS, Franklin. “Whither Bluetooth?” IEEE Pervasive Computing 7(3): 6–8. 2008. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4563901> (March 12, 2015).

RIDA, Mohamed Er et al. "Indoor Location Position Based on Bluetooth Signal Strength." In 2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering, , 769–73. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7120717>.

ROH, Jong-hyuk, and SEUNGHUN Jin. "Device Control Protocol Using Mobile Phone." In 16th International Conference on Advanced Communication Technology, Global IT Research Institute (GIRI), 355–59. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6778981> (March 13, 2015).

ROMERO ACERO, Alvaro, MARIN CANO Alejandro, and JIMENEZ BUILES. Jovani Alberto "SCADA System for Detection of Explosive Atmospheres in Underground Coal Mines Through Wireless Sensor Network." IEEE Latin America Transactions 12(8): 1398–1403. 2014. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=7014506](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=7014506) (March 26, 2015).

SABOUNE, Jamal, and ABDULMOTALEB El Saddik. "Control Your Smart Home with an Autonomously Mobile Smartphone." In 2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW), IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6618401> (March 28, 2015).

SALLABI, F. M., A. M. GAOUDA, A. H. EI-HAG, and M. M. A. SALAMA. "Evaluation of ZigBee Wireless Sensor Networks Under High Power Disturbances." IEEE Transactions on Power Delivery 29(1): 13–20. 2014. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6685930](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6685930) (February 16, 2015).

SANDHYA, S, and K A SUMITHRA Devi. "Analysis of Bluetooth Threats and v4.0 Security Features." In 2012 International Conference on Computing, Communication and Applications, IEEE, 1–4. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6179149> (March 12, 2015).

SARIJARI, Mohd Adib, MOHD SHARIL Abdullah, LO Anthony, and ROZEHA a Rashid. "Experimental Studies of the ZigBee Frequency Agility Mechanism in Home Area Networks." In 39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops, , 711–17. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6927725>.

SCHAEFER, Falk-moritz, GROSS Tobias, and RUDIGER Kays. "Energy Consumption of 6LoWPAN and Zigbee in Home Automation Networks." In 2013 IFIP Wireless Days (WD), IEEE, 1–3. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6686463> (March 27, 2015).

SHAH, Jalpa, LOKESH Pathrabe, and BRIJESH Patel. "Wireless Smart Power Saving System for Home Automation." In 2012 1st International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication & Networking, IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6470107> (February 25, 2015).

SHARMA, Hemraj, and SUKESHA Sharma. "A Review of Sensor Networks: Technologies and Applications." In 2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS), IEEE, 1–4. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6799579> (March 9, 2015).

SHI, Gaotao, RUITAO Xu, YANTAI Shu, and JUN Luo. "Exploiting Temporal and Spatial Variation for WiFi Interference Avoidance in ZigBee Networks." *Int. J. Sensor Networks*. 2011.

SILVA, IMP, and AJC Moreira. "Evaluation of Bluetooth Technology as a Sensor of Urban Mobility." In *Information Systems and Technologies (CISTI), 2012 7th Iberian Conference on*, Madrid: IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6263195](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6263195) (March 12, 2015).

SINGH, Nikhil, and RUPAL Singh. "Remotely Controlled Home Automation System." In *2014 International Conference on Advances in Engineering & Technology Research (ICAETR - 2014)*, IEEE, 1–5. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7012867> (March 27, 2015).

SIRUR, Shruthi, PRANEETH Juturu, HARI Prabhat Gupta, and PRAMOD Reddy Serikar. "A Mesh Network for Mobile Devices Using Bluetooth Low Energy."

SOLER, Alejo Buxeres, and PARADELLS Josep. "Estudio Y Desarrollo de Un Sistema Basado En Una Librería Abierta Para El Uso Del Protocolo Inalámbrico de Domótica Z-Wave." *Universidad Politécnica de Cataluña*. 2014.

SOMOV, A. A. BARANOV D. SPIRJAKIN. "A Wireless Sensor-Actuator System for Hazardous Gases Detection and Control." *Sensors & Actuators: A. Physical*. 2014.

SOMOV, Andrey, BARANOV Alexander, and SPIRJAKIN Denis. "A Wireless Sensor-actuator System for Hazardous Gases Detection and Control." *Sensors and Actuators A: Physical* 210: 157–64. 2014.

SONG, Guangming, FEI Ding, WEIJUAN Zhang, and AIGUO Song. "A Wireless Power Outlet System for Smart Homes." IEEE Transactions on Consumer Electronics 54(4): 1688–91. 2008. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4711221> (March 26, 2015).

SONG, Guangming, ZHIGANG Wei, WEIJUAN Zhang, and AIGUO Song. "A Hybrid Sensor Network System for Home Monitoring Applications." IEEE Transactions on Consumer Electronics 53(4): 1434–39. 2007. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4429234> (March 25, 2015).

SONG, Guangming, YAOXIN Zhou, WEIJUAN Zhang, and AIGUO Song. "A Multi-Interface Gateway Architecture for Home Automation Networks." IEEE Transactions on Consumer Electronics 54(3): 1110–13. 2008. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4637595> (March 24, 2015).

SOTO LATORRE, Andrés Camilo, and VELÁSQUEZ DUQUE Daniel. Escuela de Ingeniería de Antioquia "control de iluminación y temperatura por medio de un sistema domótico para habitación de hospital." Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2012.

SU, Juing-huei, CHYI-SHYONG Lee, and WEI-CHEN Wu. "The Design and Implementation of a Low-Cost and Programmable Home Automation Module." IEEE Transactions on Consumer Electronics 52(4): 1239–44. 2006. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4050050> (March 29, 2015).

SUH, Changsu, and YOUNG-BAE Ko. "Design and Implementation of Intelligent Home Control Systems Based on Active Sensor Networks." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 54(3): 1177–84. 2008. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4637604>.

SUNEHRA, Dhiraj, and AYESHA Bano. "An Intelligent Surveillance with Cloud Storage for Home Security." In 2014 Annual IEEE India Conference (INDICON), IEEE, 1–6. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7030567> (March 26, 2015).

SUNNY, Sunil. "Implementation of an Incampus Fire Alarm System Using ZigBee." In *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2015 2nd International Conference on, New Delhi: IEEE, 732–37.

SURESH, P, J VIJAY Daniel, V. PARTHASARATHY, and R H ASWATHY. "A State of the Art Review on the Internet of Things (IoT) History, Technology and Fields of Deployment." In 2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR), IEEE, 1–8. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7043637> (March 26, 2015).

SURYADEVARA, Nagender Kumar, SUBHAS Chandra Mukhopadhyay, SEAN DIETER Tebje Kelly, and SATINDER Pal Singh Gill.. "WSN-Based Smart Sensors and Actuator for Power Management in Intelligent Buildings." *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 20(2): 564–71. 2015 [en línea] disponible en: [http://www.saifitechsolutions.com/pdfs/mTech/wireless\\_communications/SAIFI\\_WIRELESS\\_COMM\\_109.pdf](http://www.saifitechsolutions.com/pdfs/mTech/wireless_communications/SAIFI_WIRELESS_COMM_109.pdf) (February 2, 2015).

TEJANI, Dhiren, ALI Mohammed A. H. Al-Kuwari, and VIDYASAGAR Potdar. "Energy Conservation in a Smart Home." In 5th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2011), IEEE, 241–46. 2011. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5936632> (February 20, 2015).

TEYMOURZADEH, Rozita. "Smart GSM Based Home Automation System." In 2013 IEEE Conference on Systems, Process & Control (ICSPC), IEEE, 306–9. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6735152> (March 13, 2015).

VARCHOLA, M, and M DRUTAROVSKÝ. "Zigbee Based Home Automation Wireless Sensor Network." Acta Electrotechnica et Informatica 7: 1–8. 2007. [en línea] disponible en: [http://www.researchgate.net/profile/Milos\\_Drutarovsky/publication/228631448\\_Zigbee\\_Based\\_Home\\_Automation\\_Wireless\\_Sensor\\_Network/links/02e7e52e63c543c09d000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Milos_Drutarovsky/publication/228631448_Zigbee_Based_Home_Automation_Wireless_Sensor_Network/links/02e7e52e63c543c09d000000.pdf) (March 13, 2015).

VERA T., Alexander et al. "Aplicación de Las Comunicaciones Inalámbricas a La Domótica." Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia: 63–72. 2004.

VESTERNET Ltd. "Understanding Z-Wave Networks, Nodes & Devices." Vesternet Home Automation Simplified. 2012. [en línea] disponible en: <http://www.vesternet.com/resources/technology-indepth/understanding-z-wave-networks>.

VO, Minh-thanh et al. "Towards Residential Smart Grid: A Practical Design of Wireless Sensor Network and Mini-Web Server Based Low Cost Home Energy

Monitoring System.” In 2013 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2013), IEEE, 540–45. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6698174> (March 26, 2015).

VO, Minh-Thanh, VAN-SU Tran, TUAN-DUC Nguyen, and HUU-TUE Huynh. “Wireless Sensor Network for Multi-Storey Building: Design and Implementation.” In 2013 International Conference on Computing, Management and Telecommunications (ComManTel), IEEE, 175–80. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6482386> (March 24, 2015).

WANG, Dongyu, DIXON Lo, JANAK Bhimani, and KAZUNORI Sugiura. “AnyControl - IoT Based Home Appliances Monitoring and Controlling.” 2015.

WANG, Li-xia. “Research and Implementation of Wireless Home Network in Smart Home.” In 2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA), IEEE, 1127–30. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6976476> (February 26, 2015).

WANG, Teng, BING Zheng, and ZI-LE Liang. “The Design and Implementation of Wireless Intelligent Light Control System Base on Zigbee Light Link.” In 2013 10th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP), IEEE, 122–25. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6716613> (March 25, 2015).

WITHANAGE, Chathura, ASHOK Rahul, CHAU Yuen, and OTTO Kevin.. “A Comparison of the Popular Home Automation Technologies.” In 2014 IEEE

Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), IEEE, 600–605. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6873860> (January 27, 2015).

XIANG, Leijun. “Design of Household Control System Based on ZigBee, GSM and TCP/IP Protocol.” In 2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), IEEE, 1372–75. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6565023> (March 28, 2015).

YANG, Li et al. “Design of Home Automation System Based on ZigBee Wireless Sensor Network.” In 2009 First International Conference on Information Science and Engineering, IEEE, 2610–13. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5455031> (March 13, 2015).

YAO, Jun, ZHIZHONG Zhang, PEILIANG Dong, and KOEN Holtman. “A ZigBee Controlled Lighting System with Improved Resistance to Wireless Interference.” In 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile, 219–25. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6920294>.

YIFENG, Wang. “The Design of Smart Home System Based on Wireless Sensor Network.” In 2013 IEEE 4th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication, IEEE, 106–8. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6835464> (March 29, 2015).

YUKSEKKAYA, B. et al. "A GSM, Internet and Speech Controlled Wireless Interactive Home Automation System." IEEE Transactions on Consumer Electronics 52(3): 837–43. 2006. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1706478> (March 13, 2015).

ZAREEI, Mahdi, AZAR Zarei, RAHMAT Budiarto, and MOHD Adib Omar. "A Comparative Study of Short Range Wireless Sensor Network on High Density Networks." (October): 247–52. 2011.

ZHANG, Chunlong, MIN Zhang, YONGSHENG Su, and WEILIAN Wang. "Smart Home Design Based on ZigBee Wireless Sensor Network." In 7th International Conference on Communications and Networking in China, IEEE, 463–66. 2012. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6417527> (March 29, 2015).

ZHANG, Jun, GUANGMING Song, HUI Wang, and TIANHUA Meng. "Design of a Wireless Sensor Network Based Monitoring System for Home Automation." In 2011 International Conference on Future Computer Sciences and Application, IEEE, 57–60. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5968025> (March 25, 2015).

ZHANG, Peng et al. "Wireless Network Design and Implementation in Smart Home." In 2013 6th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, IEEE, 167–70. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6754698> (March 29, 2015).

ZHANG, Yifan, and QUN Li. "Exploiting ZigBee in Reducing WiFi Power Consumption for Mobile Devices." IEEE Transactions on Mobile Computing 1233(c): 1–1. 2014. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6784092>.

ZHAO, Yong, WANXING Sheng, JUNPING Sun, and WEIJUN Shi. "Research and Thinking of Friendly Smart Home Energy System Based on Smart Power." In 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, IEEE, 4649–54. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6057115> (March 29, 2015).

ZHOU, Chunlai, WENHUI Huang, and XIAOYUN Zhao. "Study on Architecture of Smart Home Management System and Key Devices." In Proceedings of 2013 3rd International Conference on Computer Science and Network Technology, IEEE, 1255–58. [en línea] disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6967330> (March 29, 2015).

ZIGBEE. [en línea] disponible en: [es.wikipedia.org/wiki/ZigBee](http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee).

Z-WAVE. [en línea] disponible en: [en línea] disponible en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>.

Z-WAVE ALLIANCE.. "Balance de Nuestra Asistencia Al Curso "Z-Wave Fundamentals and Basic Training." domotica daVinci: 1. 2013 [en línea] disponible en: <http://blog.domoticadavinci.com/2013/09/un-balance-de-nuestra-asistencia-al.html>.

# ANEXOS

## ANEXO A. CONTROL CENTRAL

Fig. 70. Componentes frontal PCB

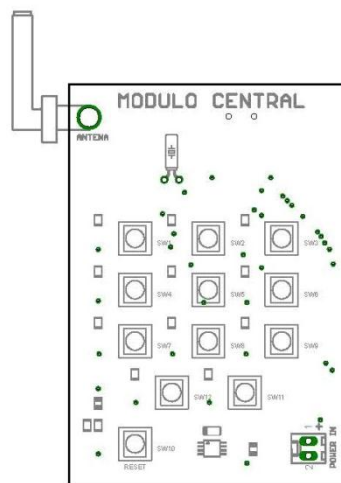
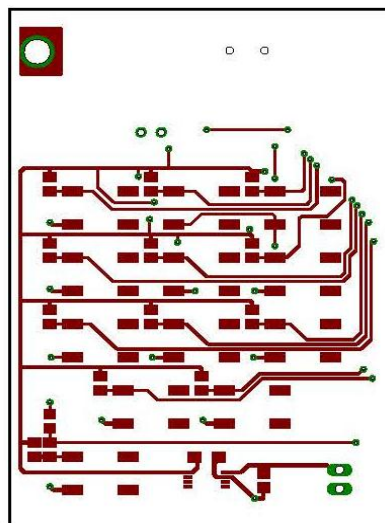
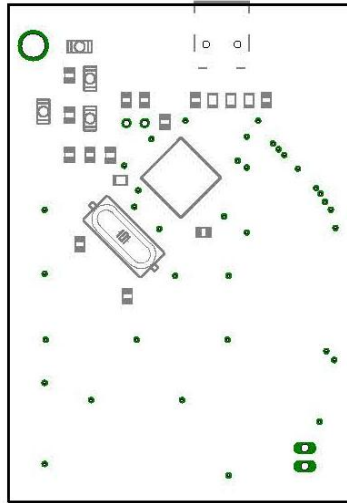


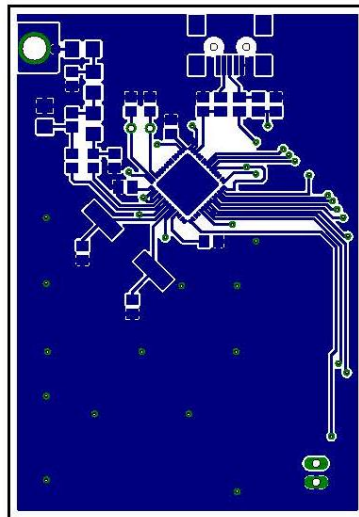
Fig. 1. Capa frontal PCB.



**Fig. 2. Componentes posterior PCB.**



**Fig. 3. Capa posterior PCB.**



## ANEXO B. MODULO LUMINARIAS

Fig. 4. Componentes frontal PCB

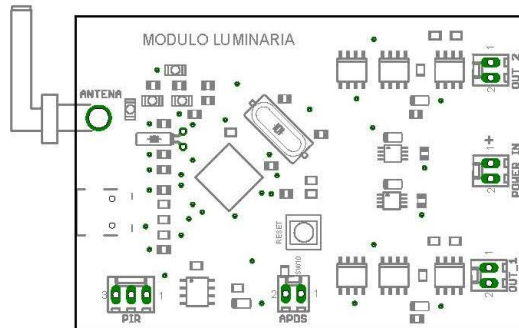


Fig. 5. Capa frontal PCB.

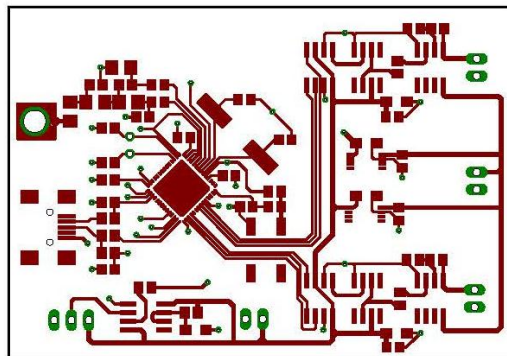
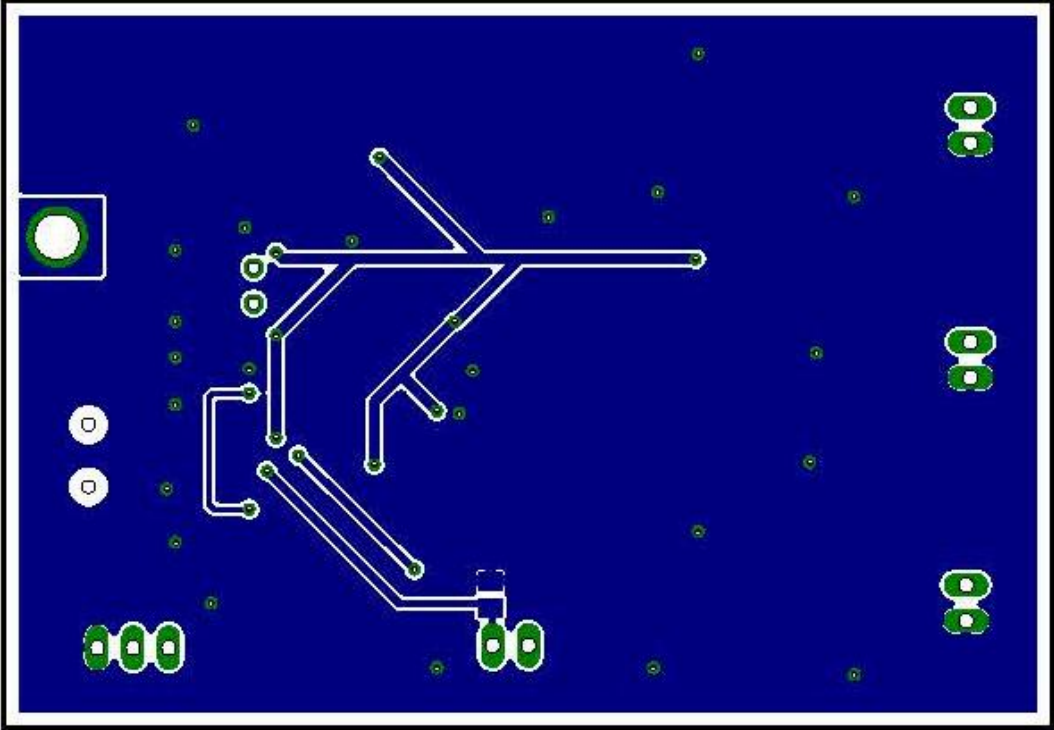


Fig. 6. Capa posterior PCB.



## ANEXO C. MODULO PERSIANAS

Fig. 7. Componentes frontal PCB.

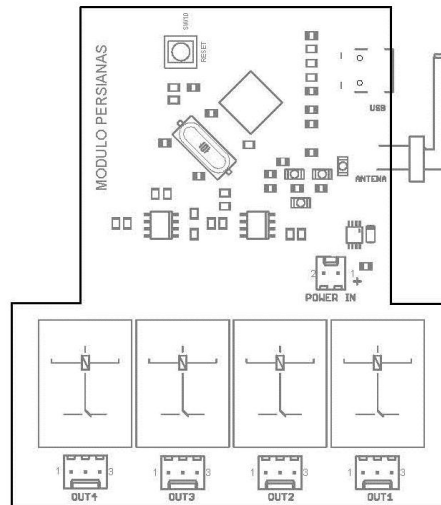
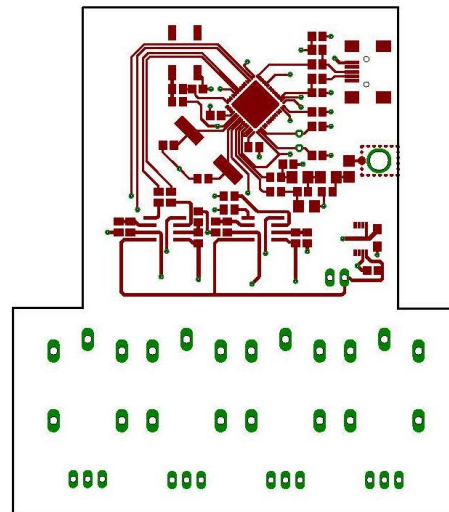


Fig. 8. Capa frontal PCB.



**Fig. 9. Capa posterior PCB.**

