



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DOMÓTICO INALÁMBRICO BASADO EN EL PROTOCOLO
DE REDES DE COMUNICACIÓN ZIGBEE Y SISTEMA DE
SUPERVISIÓN HMI PARA LA SEGURIDAD Y EFICIENCIA
DE CONSUMO ENERGÉTICO EN HOGARES
ECUATORIANOS”.**

**CARLA GISSELA ARAQUE MENA
CRISTIAN DANILO SÁNCHEZ JÁCOME**

**Tesis presentada como requisito previo a la obtención del
grado de:**

INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

2012

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ARAQUE MENA CARLA GISSELA
SÁNCHEZ JÁCOME CRISTIAN DANILO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DOMÓTICO INALÁMBRICO BASADO EN EL PROTOCOLO DE REDES DE COMUNICACIÓN ZIGBEE Y SISTEMA DE SUPERVISIÓN HMI PARA LA SEGURIDAD Y EFICIENCIA DE CONSUMO ENERGÉTICO EN HOGARES ECUATORIANOS”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conformes las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Septiembre de 2012.

Carla Araque M.

Cristian Sánchez J.

CERTIFICADO

ING. WILSON TRÁVEZ (DIRECTOR)

ING. DAVID RIVAS (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DOMÓTICO INALÁMBRICO BASADO EN EL PROTOCOLO DE REDES DE COMUNICACIÓN ZIGBEE Y SISTEMA DE SUPERVISIÓN HMI PARA LA SEGURIDAD Y EFICIENCIA DE CONSUMO ENERGÉTICO EN HOGARES ECUATORIANOS” realizado por los señores: ARAQUE MENA CARLA GISSELA Y SÁNCHEZ JÁCOME CRISTIAN DANILO, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan a los señores: ARAQUE MENA CARLA GISSELA Y SÁNCHEZ JÁCOME CRISTIAN DANILO que lo entreguen al ING. EDDIE GALARZA, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Septiembre de 2012.

Ing. Wilson Trávez.

DIRECTOR

Ing. David Rivas.

CODIRECTOR

AUTORIZACIÓN

Nosotros, ARAQUE MENA CARLA GISSELA
SÁNCHEZ JÁCOME CRISTIAN DANILO

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DOMÓTICO INALÁMBRICO BASADO EN EL PROTOCOLO DE REDES DE COMUNICACIÓN ZIGBEE Y SISTEMA DE SUPERVISIÓN HMI PARA LA SEGURIDAD Y EFICIENCIA DE CONSUMO ENERGÉTICO EN HOGARES ECUATORIANOS” cuyo contenido, ideas y criterios son de NUESTRA exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Septiembre de 2012.

Carla Araque M.
171808681-0

Cristian Sánchez J.
050298378-6

DEDICATORIA

La presente tesis le dedico con mucho cariño y amor a mis padres EDISON y LILIAN, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera y vida personal, y por el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final.

A mi hija Miley que es la razón de mi vida, ojala pueda servirle de ejemplo para su superación en la vida.

A Cristian por ser mi mejor amigo y compañero; y por ese optimismo que siempre me impulso a seguir adelante para culminar este proyecto.

Carla Araque M.

DEDICATORIA

A mis padres Mario Sánchez y Mary Jácome, quienes con su buen ejemplo han sido guía fundamental y pilar de mi vida, ya que superando todo inconveniente, con paciencia e infinita comprensión siempre me han apoyado e impulsado a seguir adelante; guiándome por el camino del bien.

A Carla por ser mi fuente de sabiduría y amor en los momentos de alegría y tristezas que me ha brindado la vida.

A toda mi familia y amigos quienes siempre han estado junto a mí, compartiendo sus experiencias, triunfos y derrotas, entregándome su sabiduría para ser un mejor ser humano.

Cristian Sánchez J.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios quien nos dio la vida y la ha llenado de bendiciones en todo este tiempo, a él que con su infinito amor nos ha dado la sabiduría suficiente para culminar nuestra carrera universitaria.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento, reconocimiento y cariño a nuestros padres, por su apoyo incondicional y todo el esfuerzo que hicieron para darnos una formación académica y sobre todo humanista y espiritual, gracias por los sacrificios y la paciencia que demostraron todos estos años; gracias a ustedes hemos llegado a donde estamos.

Agradecemos también de manera especial a nuestro director y codirector, quiénes con sus conocimientos y apoyo supieron guiarnos el desarrollo de la presente tesis desde el inicio hasta su culminación.

Gracias a todas aquellas personas que de una u otra forma nos ayudaron a crecer como personas y como profesionales.

Carla y Cristian.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 IMPORTANCIA DEL PROYECTO	4
1.3 DOMÓTICA E INMÓTICA.....	5
1.3.1 Hogar Digital	7
1.3.2 Hacia un Ambiente Inteligente	8
1.3.3 Prestaciones de un Sistema Domótico.....	8
a.- Seguridad.....	9
b.- Confort.	9
c.- Ahorro Energético.	10
d.- Comunicaciones.	11
1.3.4 Dispositivos que componen un Sistema Domótico.....	12
a.- Controladores.	12
b.- Medio de transmisión.....	13
c.- Actuadores.....	13
d.- Sensores.....	13
e.- Interface.....	14
1.3.5 La Arquitectura.....	15
a.- Arquitectura Centralizada.	15
b.- Arquitectura Descentralizada.....	16
c.- Arquitectura Distribuida.....	16
d.- Arquitectura Híbrida / Mixta.....	17
1.4 REDES ALÁMBRICAS E INALÁMBRICAS.....	18
1.4.1 Red Alámbrica:.....	18
1.4.2 Red Inalámbrica:	19

1.4.3	Ventajas de redes inalámbricas en comparación con alámbricas:	20
	a.- Movilidad.....	20
	b.- Flexibilidad.....	20
	c.- Ahorro de costos.....	21
	d.- Escalabilidad.....	21
	e.- Productividad.....	21
	f.- Versatilidad.....	22
	g.- Espacio.....	22
1.4.4	Desventajas de redes inalámbricas en comparación con alámbricas	22
	a.- Alcance.....	23
	b.- Menor ancho de banda.....	23
	c.- Mayor inversión inicial.....	23
	d.- Seguridad.....	23
	e.- Interferencias.....	24
	f.- Incertidumbre tecnológica.....	24
1.5	REDES DOMÉSTICAS	25
1.5.1	Red de Datos	25
1.5.2	Red Multimedia	26
1.5.3	Red de Control	27
1.6	TOPOLOGÍAS DE RED	27
1.6.1	Topología Tipo Bus	28
1.6.2	Topología Tipo Estrella	28
1.6.3	Topología de Anillo.....	29
1.6.4	Topología de Malla.....	30
1.7	PROTOCOLO ZIGBEE	31
1.7.1	Estándar IEEE 802.15.4.....	31
1.7.2	Características del Protocolo ZigBee para Domótica	33
1.7.3	Ventajas del Protocolo ZigBee	34
1.7.4	Desventajas del Protocolo ZigBee	34

1.7.5	Estructura.....	35
1.7.6	Tipos de Dispositivos	36
	a.- Coordinador ZigBee.....	37
	b.- Router ZigBee.....	37
	c.- Dispositivo final ZigBee.....	37
1.7.7	Funcionalidad.....	37
	a.- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD).....	38
	b.- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD).	38
1.7.8	Topología	38
1.7.9	Tipos de Tráfico De Datos.....	39
	a.- Cuando el dato es periódico.	40
	b.- Cuando el dato es intermitente.	40
	c.- Cuando el dato es repetitivo.....	40
1.7.10	Estrategias de Conexión de los dispositivos en una Red ZigBee 40	
	a.- Con baliza.....	41
	b.- Sin baliza.	42
1.7.11	Comunicación y descubrimiento de dispositivos	42
1.7.12	Seguridad.....	43
	a.- Modelo básico de seguridad.	44
	b.- Arquitectura de seguridad.....	45
1.7.13	Técnicas de Modulación.....	46
	a.- Modulación OQPSK (offset quadrature phase shift keying).....	47
	b.- Modulación BPSK (binary phase shift keying).	47
1.7.14	ZigBee y su espectro compartido con WLAN.....	48
1.7.15	Estructura de la Trama del Estandar IEEE 802.15.4.....	48
1.7.16	Aplicaciones	49
	a.- Red de sensores.....	50
	b.- Automatización de edificios y hogares.....	51
	c.- Control industrial.	52
	d.- Agricultura y control ambiental.....	52

e.- Cuidados médicos.	53
f.- Otras aplicaciones.	54
1.7.17 Comparativas ZigBee – Bluetooth – Wifi.....	55
a.- Bluetooth.....	55
b.- Wi-Fi.	56

2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA 58

2.1 ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO ZIGBEE	58
2.1.1 Requerimientos del Sistema Domótico Inalámbrico ZigBee	58
2.2 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA VIVIENDA.....	59
2.3 DISEÑO Y NECESIDAD DEL SISTEMA DOMÓTICO	60
2.3.1 Distribución de la cantidad de cargas de la vivienda.....	61
2.3.2 Distribución de las horas de uso más comunes	62
2.3.3 Necesidades de la Red ZigBee	63
2.4 DISEÑO DE LA RED ZIGBEE.....	64
2.4.1 Determinación de las Áreas a controlar y vigilar	64
a.- Áreas 1-8-11-22	65
b.- Áreas 3-5-13-19.....	66
c.- Área 2	66
d.- Áreas 2-3-4-5-6-7-9-10-12-13-14-15-16-18-19-20-21	66
e.- Área 17	67
2.5 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES	67
2.5.1 Wireless Gateway	68
2.5.2 Interruptor ZigBee	69
2.5.3 Toma inteligente.....	69
2.5.4 Sensor de movimiento Infrarrojo	70
2.5.5 Sensor de puertas y ventanas.....	72
2.5.6 Bloqueo de cajón inalámbrico	73
2.5.7 Transmisor infrarrojo inalámbrico	73
2.5.8 Sensor de gas inflamable.....	74

2.5.9	Tablet PC	75
2.6	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO.....	75
2.7	IMPLEMENTACIÓN DEL HMI.....	78
2.7.1	Ingreso de Contraseña.....	79
2.7.2	Función de Control	79
	a.- Escena de Control	80
	b.- Control de seguridad.....	80
	c.- Control de Luz.....	81
	d.- Control de Tomacorrientes.....	82
2.7.3	Configuración de Funciones.....	82
	a.- Configuración de Sensores.....	83
	b.- Configuración de Escenas	83
	c.- Configuración de Áreas.....	84
	d.- Configuración de Cuentas	85
2.7.4	Funciones Extras.....	86
	a.- Clima.....	86
	b.- Grabación de Mensajes	86
	c.- Sincronización de Datos	87
3	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
3.1	PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	88
3.1.1	Pruebas de Conectividad	88
3.1.2	Pruebas de Funcionalidad.....	90
	a.- Tiempo de respuesta (Wireshark).....	91
	b.- Analizador de espectros (WI – SPY).....	96
3.2	COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	99
3.2.1	Equipos Activos y Sensores	99
3.2.2	Mano de Obra	100
3.2.3	Gastos Varios.....	100
3.2.4	Costo Total.....	100
3.3	ALCANCES Y LIMITACIONES	101

3.3.1 Alcances.....	101
3.3.2 Limitaciones	102
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
4.1 CONCLUSIONES	103
4.2 RECOMENDACIONES	104
ANEXOS.....	106
A. Distribución de sensores y actuadores en la planta baja.....	107
B. Distribución de sensores y actuadores en la planta baja.....	108
C. Distribución de sensores y actuadores en la planta baja.....	109
BIBLIOGRAFÍA	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Hogar digital.....	7
Figura 1.2. Apertura de puerta por medio de huella digital.	9
Figura 1.3. Confort familiar en el hogar.....	10
Figura 1.4. Ahorro de energía.	11
Figura 1.5. Comunicaciones en el hogar.	11
Figura 1.6. Controlador domótico de una vivienda.....	12
Figura 1.7. Actuador ZigBee switch de 3 vías serie.	13
Figura 1.8. Sensor de movimiento y de luminosidad.	14
Figura 1.9. Interface para el control domótico.....	14
Figura 1.10. Esquema de Arquitectura Centralizada.	15
Figura 1.11. Esquema de Arquitectura Descentralizada.....	16
Figura 1.12. Esquema de Arquitectura Distribuida.....	17
Figura 1.13. Esquema de Arquitectura Híbrida/Mixta.	18
Figura 1.14. Ejemplo de una red alámbrica.	19
Figura 1.15. Ejemplo de una red inalámbrica.	19
Figura 1.16. Topología tipo bus.	28
Figura 1.17. Topología tipo estrella.....	29
Figura 1.18. Topología tipo anillo.....	30
Figura 1.19. Topología tipo malla.....	31
Figura 1.20. Pila del protocolo ZigBee.	32
Figura 1.21. Estructura del protocolo ZigBee.....	36
Figura 1.22. Topologías del protocolo ZigBee	39
Figura 1.23. Modulación OQPSK.....	47
Figura 1.24. Modulación BPSK.	48
Figura 1.25. Formato de la trama IEEE 802.15.4.....	49
Figura 1.26. Arquitectura de un nodo de una Red de Sensores.	51
Figura 1.27. Aplicación de ZigBee en Domótica.	51
Figura 1.28. Aplicación de ZigBee en Control Industrial.	52

Figura 1.29. Aplicación de ZigBee en agricultura.....	52
Figura 1.30. Aplicación de ZigBee en cuidados médicos.....	54
Figura 1.31. Primer teléfono móvil en implementar ZigBee.	55
Figura 2.1 Distribución de la carga eléctrica.	62
Figura 2.2 Esquema del sistema ZigBee.	64
Figura 2.3. Wireless Gateway protocolo ZigBee.	68
Figura 2.4 Interruptores ZigBee de 1, 2 y 3 vías.	69
Figura 2.5 Toma inteligente ZigBee.	70
Figura 2.6 Sensor de movimiento infrarrojo ZigBee.....	70
Figura 2.7. Ángulo de cobertura del sensor IR en el pasillo 1.....	71
Figura 2.8. Ángulo de cobertura del sensor IR en el pasillo 2.....	71
Figura 2.9. Ángulo de cobertura del sensor IR en el pasillo 3.....	71
Figura 2.10. Ángulo de cobertura del sensor IR en el local.	72
Figura 2.11 Sensor ZigBee de puertas y ventanas.	72
Figura 2.12 Bloqueo de cajón inalámbrico ZigBee.....	73
Figura 2.13 Transmisor infrarrojo inalámbrico ZigBee.	74
Figura 2.14 Sensor de gas inflamable ZigBee.	74
Figura 2.15 Tablet PC.....	75
Figura 2.16 Diagrama de conexión de los interruptores.	76
Figura 2.17. Red ZigBee con topología tipo malla.	77
Figura 2.18 Diagrama de la red inalámbrica domótica.....	78
Figura 2.19 Interfaz del ingreso de contraseña.....	79
Figura 2.20 Interfaz: Escena de control.	80
Figura 2.21 Interfaz: Control de seguridad.....	81
Figura 2.22. Interfaz: Control de luz.....	81
Figura 2.23 Interfaz: Control de tomacorrientes.....	82
Figura 2.24 Interfaz: Configuración de sensores.	83
Figura 2.25. Interfaz: Configuración de escenas.....	84
Figura 2.26. Interfaz: Eventos de simulación de presencia y rutinarios. ...	84
Figura 2.27. Interfaz: Configuración de áreas.....	85
Figura 2.28. Interfaz: Configuración de cuentas.	85

Figura 2.29. Interfaz: Clima.....	86
Figura 2.30. Interfaz: Grabación de mensajes.	87
Figura 2.31 Interfaz: Sincronización de datos.....	87
Figura 3.1 Conectividad entre la PC y el Gateway ZigBee	89
Figura 3.2 Leds indicadores de la conexión entre el Gateway ZigBee y el router HG520c.	89
Figura 3.3 Conexión de los interruptores y sensores en la red ZigBee....	90
Figura 3.4 Encendido y apagado de luces desde la tablet PC.....	90
Figura 3.5. Interfaz del programa Wireshark.....	91
Figura 3.6. Análisis del tiempo de respuesta de los interruptores.....	94
Figura 3.7. Análisis del tiempo de respuesta de los sensores.	95
Figura 3.8. Analizador de espectros wi-spy.	96
Figura 3.9. Vista espectral del software chanalyzer.....	97
Figura 3.10. Vista planar del software chanalyzer.	97
Figura 3.11. Panel de información del software chanalyzer.....	97
Figura 3.12. Vista espectral, planar y panel de información de la red de comunicación domótica.	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Comparación de tecnologías inalámbricas.	57
Tabla 2.1. Distribución y dimensiones de las instalaciones de la vivienda.	59
Tabla 2.2 Distribución de las cargas en la vivienda.	61
Tabla 2.3. Distribución de las horas de uso en la vivienda.	63
Tabla 2.4. Distribución de áreas de la vivienda.....	65
Tabla 3.1. Tiempo de respuesta de los interruptores ZigBee.	93
Tabla 3.2. Tiempo de respuesta de los sensores ZigBee.	95
Tabla 3.3. Costos Equipos Activos y Sensores.....	99
Tabla 3.4. Costos Mano de Obra	100
Tabla 3.5. Costos Gastos Varios	100
Tabla 3.6. Costo Total.....	100

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto de tesis es obtener un sistema domótico inalámbrico en una vivienda ubicada en la ciudad de Salcedo, este sistema permite disfrutar de las prestaciones de la domótica que son el ahorro energético, seguridad, confort y comunicaciones; por medio de un software en una Tablet PC.

El proyecto de tesis consta de cuatro capítulos principales; el primer capítulo, *Fundamentos Teóricos*, se explica los antecedentes, técnicas y conceptos básicos relacionados a la red inalámbrica ZigBee.

El segundo capítulo, *Diseño e implementación del sistema*, consiste en detallar los requisitos y diseño del sistema, la descripción de la vivienda, el diseño de la red, como también los componentes e implementación del HMI para que a través de la experimentación obtener los resultados deseados.

El tercer capítulo, *Pruebas y Análisis de Resultados*, contiene los procedimientos que se realizaron a lo largo del proyecto de tesis, como las pruebas de conectividad y funcionalidad, así como también los alcances y limitaciones del proyecto en mención.

El cuarto capítulo, indica las *Conclusiones y Recomendaciones* que se obtuvo durante toda la ejecución del proyecto.

También contiene figuras, tablas y anexos que ayudan al entendimiento y reproducción total del proyecto, desde el análisis hasta la implementación y funcionamiento de la red ZigBee, dejando abierta la posibilidad de extender el alcance y rendimiento del sistema.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to obtain a wireless home automation system in a house located in the city of Salcedo, this system allows you to enjoy the benefits of home automation are energy savings, safety, comfort and communications through a software on a Tablet PC.

The thesis consists of four main chapters, the first chapter, *Theoretical Foundations*, explained the history, techniques and basic concepts related to the ZigBee wireless network.

The second chapter, *Design and Implementation of the System* is to detail the requirements and system design, the description of the house, the design of the network, as well as components and implementation of HMI through to get the results of experimentation desired.

The third chapter, *Testing and Analysis*, contains the procedures that were performed during the thesis project, such as testing connectivity and functionality, as well as the scope and limitations of the project in question.

The fourth chapter shows the *Conclusions and Recommendations* obtained during the entire project implementation.

It also contains figures, tables and appendices that help the understanding and reproduction of the project, from analysis to implementation and operation of the ZigBee network, leaving open the possibility of extending the range and performance of the system.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El concepto de automatización tiene muchos años de existencia como tal, desde que a un estudiante se le ocurrió conectar dos cables eléctricos a las manecillas de un reloj despertador, para que poco tiempo después, y movidos por dichas manecillas, los cables cerraran un circuito formado por una pila y una lámpara. Ese pudo ser el momento en que nació la idea de temporizar una función eléctrica. Más adelante se fueron perfeccionando los sistemas, primitivos al principio y mucho más sofisticados más tarde, hasta llegar al momento actual donde fundamentalmente las industrias basan gran cantidad de fases de producción en distintos tipos de elementos automáticos o temporizados, desde el sonido de la sirena de entrada de los trabajadores, hasta el precalentamiento de hornos para que cuando lleguen los distintos operarios encuentren sus puestos de trabajo en condiciones óptimas.

La idea de la moderna automatización del hogar para proporcionar a los usuarios mayor comodidad, ahorro de energía y por supuesto dinero, tiene pocos años, y fue desarrollada y patentada por una empresa escocesa utilizando un novedoso sistema de transmisión de señales a través de la red eléctrica. Más tarde se fue perfeccionando dicha idea y se utilizaron una serie de emisores que se enchufaban en una parte de la red eléctrica y que eran capaces de emitir una señal que circulaba a través de ella. A su vez, otra serie de receptores, que igualmente iban enchufados en otra parte de la red, eran los encargados de recibir dicha señal y de

transformarla en una acción, por ejemplo activar un relé o contacto eléctrico.

La enciclopedia Larousse define en 1988 el término domótica como el siguiente: ¹"el concepto de vivienda que integra todos los automatismos en materia de seguridad, gestión de la energía, comunicaciones, etc.". Es decir, el objetivo es asegurar al usuario de la vivienda un aumento del confort, de la seguridad, del ahorro energético y las facilidades de comunicación. Una definición más técnica del concepto sería: "conjunto de servicios de la vivienda garantizado por sistemas que realizan varias funciones, los cuales pueden estar conectados entre sí y a redes interiores y exteriores de comunicación. Gracias a ello se obtiene un notable ahorro de energía, una eficaz gestión técnica de la vivienda, una buena comunicación con el exterior y un alto nivel de seguridad".

Para que un sistema pueda ser considerado "inteligente" ha de incorporar elementos o sistemas basados en las nuevas tecnologías de la información, cuyo uso en la vivienda genera nuevas aplicaciones y tendencias basadas en la capacidad de proceso de información y en la integración y comunicación entre los equipos e instalaciones. Así concebida, una vivienda inteligente puede ofrecer una amplia gama de aplicaciones.

1.2 IMPORTANCIA DEL PROYECTO

El área de la domótica es muy importante en el país, ya que en Ecuador no se desarrolla mucha tecnología y es conveniente que cuente con tecnología de este tipo para que empiece a competir con los países desarrollados, que toman a la domótica ya no solamente como un lujo

¹ <http://www.infotronica.estudio3.com.ar/info.php>

para personas con un nivel económico alto sino más bien como una necesidad para su desarrollo.

Los humanos por naturaleza prefieren realizar sus actividades de la manera más cómoda posible, es por eso que día a día la tecnología evoluciona para automatizar y mejorar los procesos cotidianos. El objetivo del proyecto es proporcionar la respuesta a muchas personas que requieren de una mayor automatización en el hogar; es decir, la domótica permite tener un control fácil y automático sobre dicho hogar.

La investigación se realiza por la exigencia que toda persona tiene, el cual es tener un hogar confortable en donde se sienta seguro con un sistema de seguridad que le proporcione la confianza suficiente para su cuidado y el de su familia, así como el ahorro económico que representa el proporcionar un hogar automatizado en el cual se pueda controlar el uso de la energía eléctrica en luces y artefactos eléctricos.

Además otro de los sectores que se beneficia con la tesis son las personas con capacidades especiales y personas mayores con problemas de movilidad, ya que ayuda en una gran parte con sus tareas cotidianas, en personas con problemas degenerativos el hogar inteligente les brinda la opción de poder ir usando sus opciones de forma progresiva, a medida que vaya perdiendo su movilidad o autonomía, y de esta manera, su vida podrá seguir de forma autónoma con esos apoyos.

1.3 DOMÓTICA E INMÓTICA²

El significado del término Domótica, si bien resulta altamente complicado en tanto que recoge conceptos en cambio permanentes y bajo discusiones continuas. La Domótica se aplica a los sistemas y dispositivos

² <http://es.scribd.com/doc/72493151/Reporte-de-investigacion-DOMOTICA>

que proporcionan algún nivel de automatización dentro de la casa, pudiendo ser desde un simple temporizador para encender y apagar una luz o aparato a una hora determinada, hasta los más complejos sistemas capaces de interactuar con cualquier elemento eléctrico del hogar. La vivienda domótica es por tanto aquella que integra un conjunto de automatismo en materia de electricidad, electrónica, robótica, informática y telecomunicaciones, con el objetivo de asegurar al usuario un aumento del confort, la seguridad, el ahorro energético, las facilidades de comunicación y las posibilidades de entretenimiento. Se pretende con ello integrar todos los aparatos del hogar a fin de que funcionen de la forma más eficaz posible y con la necesidad de una intervención mínima o inexistente por parte del usuario.

Como regla nemotécnica se puede recurrir a la descomposición siguiente: Domo-TIC-A. Por Domo se entiende casa, por TIC Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, y por A automatización.

Por otra parte, se viene hablando de Inmótica para referirse a la automatización de edificios terciarios o de servicios, como combinación de la voz latina *immobilis*, aquello que está fijo, de donde deriva el término castellano inmueble y de la ya vista automática. Este concepto se identifica habitualmente también como *building management system*, en referencia a la coordinación y gestión de las instalaciones con que se encuentran equipadas las edificaciones, así como a su capacidad de comunicación, regulación y control. El origen del término Inmótica es también francés y, aunque es de uso bastante común en España todavía no ha sido recogido por el diccionario de la RAE.³

Un elemento de confusión importante es la práctica común de no distinguir entre ambas disciplinas, Domótica e Inmótica. Si bien los

³ RAE: Real Academia Española

elementos y componentes utilizados en viviendas y en edificios terciarios son fuertemente similares, la Domótica es la automatización de un edificio destinado únicamente a vivienda, y por otro lado, la automatización que no es destinado a vivienda, se la denomina Inmótica.

1.3.1 Hogar Digital

Una denominación que gana posiciones en los últimos años es la de hogar digital, como muestra la figura 1.1. Este término encierra un concepto más amplio que el tradicionalmente asociado a la Domótica: por hogar digital se entiende tanto automatización (con el soporte de la electrónica digital) como, sobre todo, comunicación (basada en redes digitales internas y externas) capaz de proporcionar todo un conjunto de teleservicios.⁴



Figura 1.1. Hogar digital.

El gran progreso tecnológico en los sistemas de telecomunicación de los últimos años, así como el desarrollo y expansión de Internet, se ha incrementado notablemente la capacidad para crear, transmitir, almacenar y procesar información. Este fenómeno ha venido acompañado de una convergencia indudable en los antiguamente autónomos sectores de las

⁴ Teleservicios: conjunto de servicios que hacen uso de los servicios portadores como llamadas de emergencia, los SMS, el tráfico IP

comunicaciones, la informática y el entretenimiento, todo ello gracias a la digitalización.

Este escenario se traslada a las viviendas como el marco en el que se materializa la convergencia de entretenimiento, comunicaciones y gestión digital del hogar gracias al necesario soporte de infraestructuras y mantenimiento y por medio de servicios avanzados o teleservicios.

1.3.2 Hacia un Ambiente Inteligente⁵

El hogar es tan solo uno más de los múltiples escenarios susceptibles de experimentar profundas transformaciones como consecuencia de la innovación tecnológica. Las oficinas, los centros comerciales, los automóviles, los aeropuertos y por supuesto las viviendas son algunos espacios idóneos para el despliegue del Ambiente Inteligente.

Por Ambiente Inteligente se refiere a entornos que incorporan tecnología capaz de detectar la presencia en ellos de individuos y de responder en secuencia. Estos espacios se caracterizan por su ubicuidad, puesto que el usuario está rodeado por una multitud de sistemas interconectados; su transparencia, dado que estos equipos se integran en objetos cotidianos y tienden a desaparecer ante nuestros ojos; e inteligencia, pues el propio entorno es capaz de reconocer a las personas que lo habitan, adaptarse de forma dinámica a ellas y aprender de su comportamiento y preferencias.

1.3.3 Prestaciones de un Sistema Domótico

Un sistema domótico ofrece una serie de prestaciones relacionadas con aspectos muy diferentes de la actividad que se desarrolla en una vivienda

⁵ MARTIN, Hugo; SAES, Fernando: Domótica. Un enfoque sociotécnico, primera edición, 2006, España, Editorial Fundación Rogelio Segovia.

y dirigidas todas a mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en ella; estas prestaciones son:

- Seguridad
- Confort
- Ahorro Energético
- Comunicaciones

a.- Seguridad.

Mediante el sistema se puede realizar simulaciones de presencia en la vivienda, así como si se provee de detectores de intrusión (*Figura 1.2.*), movimiento, fuga de agua entre otros, el sistema mediante una centralita puede avisar a una central de alarmas o bien a teléfonos particulares programados en caso de que haya una intrusión o alguna avería técnica en la vivienda, además se puede conocer el estado de la vivienda desde cualquier lugar del mundo.



Figura 1.2. Apertura de puerta por medio de huella digital.

b.- Confort.

Mediante la administración de estos dispositivos se puede actuar sobre ellos desde sus propios pulsadores o si lo prefiere para mayor comodidad

mediante mandos a distancia se puede controlar todos los dispositivos ya sea luces, persianas o bien electrodomésticos, desde un mismo sitio, además según el mando de elección puede configurarlo de tal forma que con un solo mando pueda controlar, por ejemplo, el sistema de luces de encendido, apagado o manejar la intensidad de dicha luz y que este mismo mando le sirva para actuar sobre el televisor para cambiar los canales o actuar sobre el DVD (*Figura 1.3.*) , sin necesidad de cambiar de mando.



Figura 1.3. Confort familiar en el hogar.

c.- Ahorro Energético.

Se puede adecuar el sistema para que a determinadas horas ponga en funcionamiento algún tipo de elemento o que encienda o apague las luces según sea necesario (*Figura 1.4.*), de esta forma hay un aumento de ahorro eléctrico, por ejemplo, si se abandona la vivienda y desea que al regreso la vivienda se encuentre con una temperatura agradable, ya no es necesario que al salir deje en funcionamiento la calefacción, sólo necesita realizar una llamada telefónica antes de su regreso para poner en marcha la calefacción.



Figura 1.4. Ahorro de energía.

d.- Comunicaciones.

Son los sistemas o infraestructuras de comunicaciones que posee el hogar; puede incluir transmisión de voz y datos con redes locales (LAN) para compartir acceso de alta velocidad a Internet (*Figura 1.5.*), recursos y el intercambio entre todos los equipos. Además se puede disfrutar de nuevos servicios como Telefonía sobre IP⁶ y Televisión digital.



Figura 1.5. Comunicaciones en el hogar.

⁶ IP: sigla del Protocolo de Internet. Estándar que se emplea para el envío y recepción de información mediante una red que reúne paquetes conmutados.

1.3.4 Dispositivos que componen un Sistema Domótico

La amplitud de una solución de domótica puede variar desde un único dispositivo, que realiza una sola acción, hasta amplios sistemas que controlan prácticamente todas las instalaciones dentro de la vivienda. Los distintos dispositivos de los sistemas de domótica se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Controladores.
- Medio de transmisión.
- Actuadores.
- Sensores.
- Interface.

a.- Controladores.

Son los que permiten actuar sobre el sistema, bien de una forma automática por decisión tomada por centrales domóticas previamente programadas (que incluso puede ser un PC), pulsadores, teclados, pantallas táctiles (*Figura 1.6.*), mandos a distancia por infrarrojos IR (locales), por radiofrecuencia RF (hasta 50 metros), por teléfono, SMS o por PC (de forma local e incluso a través de Internet). Estos elementos emiten órdenes que necesitan un medio de transmisión.



Figura 1.6. Controlador domótico de una vivienda.

b.- Medio de transmisión.

Transporta la información entre los distintos dispositivos por un cableado propio. Según la tecnología aplicada existen distintos medios, fibra óptica, bus dedicado, red eléctrica, línea telefónica, TCP/IP, siendo estos de forma alámbrica o inalámbrica.

c.- Actuadores.

Reciben las órdenes del controlador y las transforman en señales de aviso, regulación o conmutación (*Figura 1.7.*). Los actuadores ejercen acciones sobre los elementos a controlar en el hogar.



Figura 1.7. Actuador ZigBee switch de 3 vías serie.

d.- Sensores.

Son los "ojos del sistema", o "la adquisición de datos" del sistema, pueden ser todo lo sofisticados que se desee, lo necesario es que lo pueda entender el sistema.

Los datos pueden ser órdenes directas a los actuadores o pueden ir previamente a una central domótica, en función de la programación en ella introducida saldrá la orden final al actuador correspondiente.

Ejemplos de sensores son los termostatos, los detectores de fuga de agua, de gas, de humo y/o fuego, de concentración de CO, de movimiento como indica la figura 1.8.



Figura 1.8. Sensor de movimiento y de luminosidad.

e.- Interface.

Las interfaces se refiere a los dispositivos (pantallas, móvil, Internet, conectores) y los formatos (binario, audio) en que se muestra la información del sistema para los usuarios (u otros sistemas) y donde los mismos pueden interactuar con el sistema, como se puede apreciar en la figura 1.9.



Figura 1.9. Interface para el control domótico.

Es preciso destacar que todos los dispositivos del sistema de domótica no tienen que estar físicamente separados, sino varias funcionalidades pueden estar combinadas en un equipo.

Por ejemplo un equipo de central de domótica puede ser compuesto por un controlador, actuadores, sensores y varias interfaces.

1.3.5 La Arquitectura⁷

La arquitectura de los sistemas de domótica hace referencia a la estructura de su red. La clasificación se realiza en base de donde reside la “inteligencia” del sistema domótico. Las principales arquitecturas son:

- Arquitectura Centralizada.
- Arquitectura Descentralizada.
- Arquitectura Distribuida.
- Arquitectura Híbrida / Mixta.

a.- Arquitectura Centralizada.

En un sistema de domótica de arquitectura centralizada como se muestra en la figura 1.10, un controlador centralizado, envía la información a los actuadores e interfaces según el programa, la configuración y la información que recibe de los sensores, sistemas interconectados y usuarios.

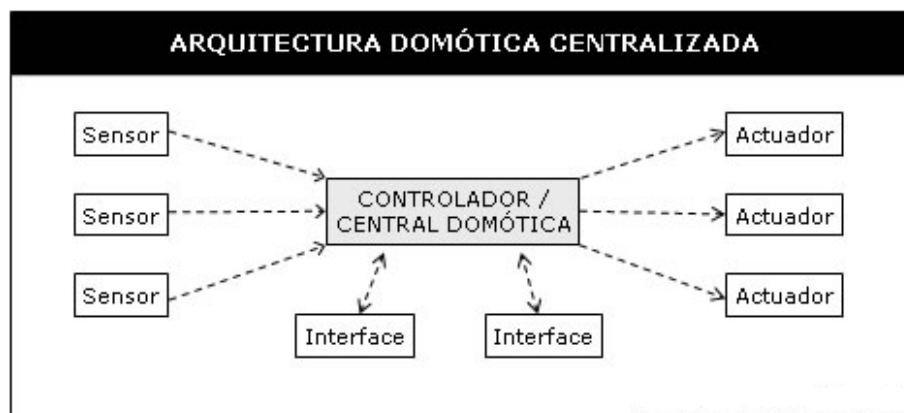


Figura 1.10. Esquema de Arquitectura Centralizada.

⁷ <http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=14>

b.- Arquitectura Descentralizada.

En un sistema de domótica de arquitectura descentralizada como se muestra en la figura 1.11, hay varios controladores, interconectados por un bus, que envía información entre ellos y a los actuadores e interfaces conectados a los controladores, según el programa, la configuración y la información que recibe de los sensores, sistemas interconectados y usuarios.

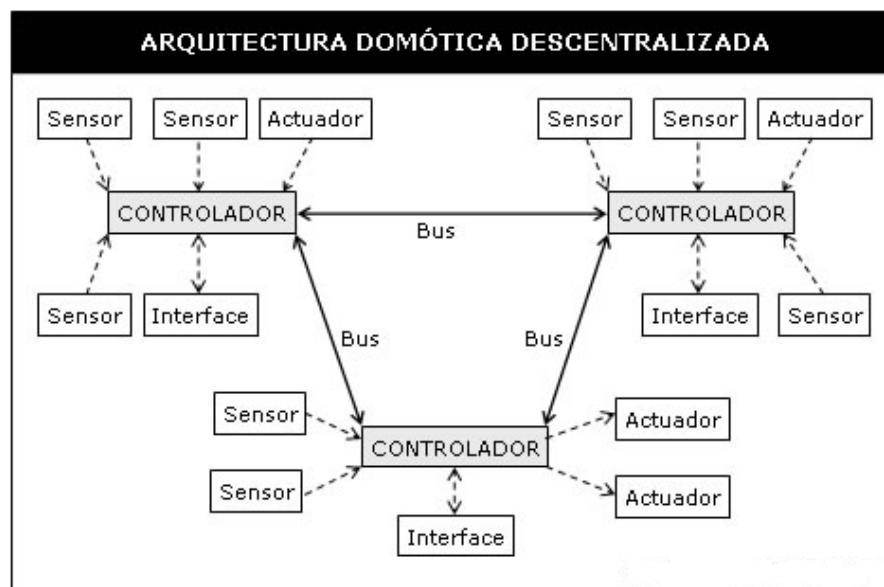


Figura 1.11. Esquema de Arquitectura Descentralizada.

c.- Arquitectura Distribuida.

En un sistema de domótica de arquitectura distribuida como se muestra en la figura 1.12, cada sensor y actuador es también un controlador capaz de actuar y enviar información al sistema según el programa, la configuración, la información que capta por sí mismo y la que recibe de los otros dispositivos del sistema.

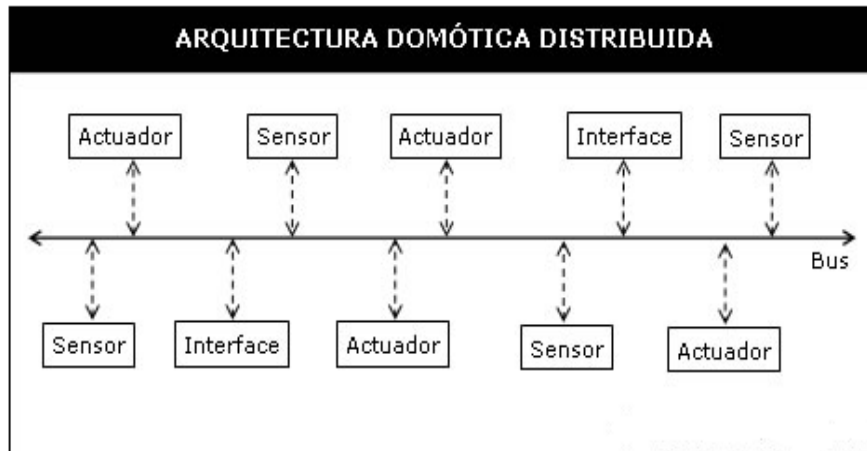


Figura 1.12. Esquema de Arquitectura Distribuida.

d.- Arquitectura Híbrida / Mixta.

En un sistema de domótica de arquitectura híbrida como se muestra en la figura 1.13 (también denominado arquitectura mixta) se combinan las arquitecturas de los sistemas centralizadas, descentralizadas y distribuidas.

A la vez que puede disponer de un controlador central o varios controladores descentralizados, los dispositivos de interfaces, sensores y actuadores pueden también ser controladores (como en un sistema distribuido)⁸ y procesar la información según el programa, la configuración, la información que capta por sí mismo, y tanto actúa como envía a otros dispositivos de la red, sin que necesariamente pase por otro controlador.

⁸ Sistemas Distribuidos: Sistemas cuyos componentes hardware y software, conectados en red, se comunican y coordinan sus acciones mediante el paso de mensajes, para el logro de un objetivo.

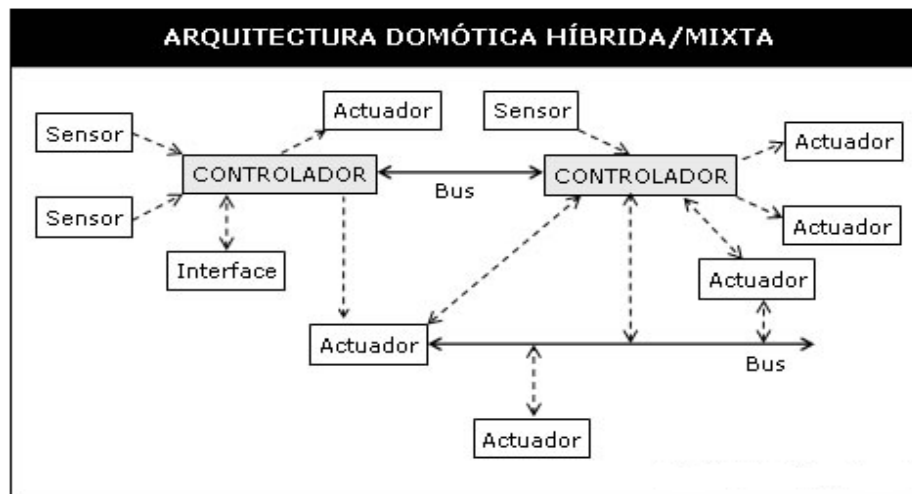


Figura 1.13. Esquema de Arquitectura Híbrida/Mixta.

1.4 REDES ALÁMBRICAS E INALÁMBRICAS

Se entiende por red a un sistema de comunicaciones que conecta a varias unidades y que les permite intercambiar información. La red permite comunicarse con otros usuarios y compartir archivos y periféricos. Las redes pueden ser:

- Alámbricas
- Inalámbricas

1.4.1 Red Alámbrica:

Una red alámbrica significa que todo el circuito está interconectado totalmente con cable conductor. Las redes alámbricas son mejores cuando usted necesita mover grandes cantidades de datos a altas velocidades, como medios multimedia de calidad profesional.

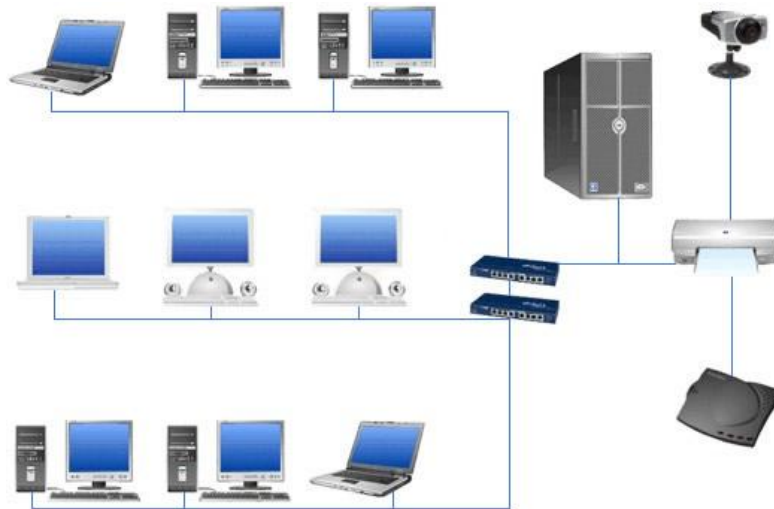


Figura 1.14. Ejemplo de una red alámbrica.

1.4.2 Red Inalámbrica:

Las redes inalámbricas son aquella que se comunican por un medio de transmisión no guiado (sin cable) mediante ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de antenas. Con las redes inalámbricas el usuario puede desplazar al equipo dentro de una determinada área geográfica sin necesidad de desconectarle de la red.



Figura 1.15. Ejemplo de una red inalámbrica.

1.4.3 Ventajas de redes inalámbricas en comparación con alámbricas:

Las principales ventajas que ofrecen las redes inalámbricas frente a las redes cableadas son las siguientes:

- Movilidad.
- Flexibilidad.
- Ahorro de costos.
- Escalabilidad.
- Productividad.
- Versatilidad.
- Espacio.

a.- Movilidad.

La libertad de movimientos es uno de los beneficios más evidentes las redes inalámbricas. Un computador o cualquier otro dispositivo (por ejemplo, una PDA⁹ o una webcam) se puede situar en cualquier punto dentro del área de cobertura de la red sin tener que depender de que si es posible o no hacer llegar un cable hasta este sitio. Ya no es necesario estar atado a un cable para navegar en Internet, imprimir un documento o acceder a los recursos compartidos.

b.- Flexibilidad.

Las redes inalámbricas no solo le permiten conectarse mientras se desplaza con una computadora portátil, sino que también le permiten colocar una computadora de sobremesa en cualquier lugar sin tener que

⁹ PDA: personal digital assistant, ordenador de bolsillo, organizador personal o una agenda electrónica de bolsillo

hacer el más mínimo cambio de configuración de la red. A veces extender una red cableada no es una tarea fácil ni barata. Las redes inalámbricas evitan estos problemas. Si en un momento dado existe la necesidad de que varias personas se conecten en la red en la sala de reuniones, la conexión inalámbrica evita llenar el suelo de cables. En sitios donde pueda haber invitados que necesiten conexión a Internet (centros de formación, hoteles, cafés, entornos de negocio o empresariales) las redes inalámbricas suponen una alternativa mucho más viable que las redes cableadas.

c.- Ahorro de costos.

Diseñar o instalar una red cableada puede llegar a alcanzar un alto costo, no solamente económico, sino en tiempo y molestias. En entornos domésticos y en determinados entornos empresariales donde no se dispone de una red cableada porque su instalación presenta problemas, la instalación de una red inalámbrica permite ahorrar costos al permitir compartir recursos: acceso a Internet, impresoras, etc.

d.- Escalabilidad.

Se le llama escalabilidad a la facilidad de expandir la red después de su instalación inicial. Conectar una nueva computadora cuando se dispone de una red inalámbrica es algo tan sencillo como instalarle una tarjeta y listo. Con las redes cableadas esto requiere instalar un nuevo cableado o lo que es peor, esperar hasta que el nuevo cableado quede instalado.

e.- Productividad.

Con el uso de la tecnología inalámbrica se determina que la empresa

incremente su productividad y eficacia, de este modo el empleado se dedica exclusivamente a lo que sabe hacer mejor y se evita los inconvenientes de tipo tecnológico.

f.- Versatilidad.

La tecnología inalámbrica es aplicable no solo a empresas de electrónica o industriales, debido a su amplia gama es aplicable a todo tipo de empresas sin tener en cuenta su perfil, sin embargo se debe contar con una inversión considerable para su implementación.

g.- Espacio.

En las redes alámbricas en ocasiones existe dificultad y expectativas de expansión es otro de los problemas más comunes, ya que cuando se piensa tener un número definido de nodos en una oficina, la mayoría del tiempo hay necesidades de construir uno nuevo y ya no se tiene espacio en los switches instalados.

1.4.4 Desventajas de redes inalámbricas en comparación con alámbricas

Las redes inalámbricas también tienen unos puntos negativos en su comparativa con las redes de cable. Los principales inconvenientes de las redes inalámbricas son los siguientes:

- Alcance.
- Menor ancho de banda.
- Mayor inversión inicial.
- Seguridad.
- Interferencias.

- Incertidumbre tecnológica.

a.- Alcance.

Las redes de cable actuales trabajan a 1 Gbps, mientras que las redes inalámbricas lo hacen a 54 Mbps en doble canal con el estándar IEEE 802.11g. Se piensa que para los próximos años las redes alámbricas con cable UTP categoría 5e alcancen los 10 Gbps.

b.- Menor ancho de banda.

El ancho de banda se divide entre todos los usuarios que se encuentren conectados a la red, lo que afecta el rendimiento de la misma.

c.- Mayor inversión inicial.

Para la mayoría de las configuraciones de la red local, el costo de los equipos de red inalámbricos es superior al de los equipos de red cableada.

d.- Seguridad.

Las redes inalámbricas tienen la particularidad de no necesitar un medio físico para funcionar. Esto fundamentalmente es una ventaja, pero se convierte en una desventaja cuando se piensa que cualquier persona con una computadora portátil solo necesita estar dentro del área de cobertura de la red para poder intentar acceder a ella.

Como el área de cobertura no está definida por paredes o por ningún otro medio físico, a los posibles intrusos no les hace falta estar dentro de un

edificio o estar conectado a un cable. Además, el sistema de seguridad que incorporan las redes Wi-Fi no es de lo más fiables.

e.- Interferencias.

Las redes inalámbricas funcionan con la utilización del medio radio electrónico en la banda de 2,4 GHZ. Esta banda de frecuencias no requiere de licencia administrativa para ser utilizada por lo que muchos equipos del mercado, como teléfonos inalámbricos, microondas, etc., utilizan esta misma banda de frecuencias.

Este hecho hace que no se tenga la garantía del entorno radioelectrónico completamente limpio para que la red inalámbrica funcione a su más alto rendimiento.

Cuando mayores sean las interferencias producidas por otros equipos, menor será el rendimiento de la red. No obstante, el hecho de tener probabilidades de sufrir interferencias no quiere decir que se tengan.

La mayoría de las redes inalámbricas funcionan perfectamente sin mayores problemas en este sentido.

f.- Incertidumbre tecnológica.

La tecnología que actualmente se utiliza y que ha adquirido una mayor popularidad es la conocida como Wi-Fi (IEEE 802.11). Sin embargo, ya existen tecnologías que ofrecen una mayor velocidad de transmisión y unos mayores niveles de seguridad. Lo cierto es que los fabricantes harán todo lo posible para que los nuevos dispositivos sean compatibles con los actuales.

1.5 REDES DOMÉSTICAS

Las redes domésticas permiten la comunicación de los diferentes dispositivos de la vivienda entre sí y con el exterior a través de la pasarela¹⁰ residencial. En redes domésticas se distingue tres tipos de redes:

- Red de datos
- Red multimedia o de entretenimiento
- Red de control.

1.5.1 Red de Datos

La red de datos se emplea para la interconexión de computadoras, impresoras, escáneres, etc. Esta red permite compartir recursos informáticos, comunicar mensajes con destino, bien dentro de la vivienda, bien hacia el exterior, con la intermediación de la pasarela residencial, y todo ello de forma simultánea al posible uso del teléfono.

El primer sistema de comunicaciones para el que se creó de forma generalizada una red específica en los hogares es el telefónico. Con la progresiva evolución de las demandas de comunicación de los hogares, en respuesta a la necesidad creciente de intercambiar y transferir información de unos equipos a otros en cualquier lugar y momento, se ha producido un cambio en la red telefónica doméstica convencional hacia una red que, sin abandonar sus prestaciones en materia de voz, permita la transmisión de datos entre equipos domésticos y con el exterior.

En los primeros momentos las redes de datos eran sistemas centralizados, aislados del resto de dispositivos de la vivienda. Así, los

¹⁰ Pasarela: dispositivo dedicado a intercomunicar sistemas de protocolos incompatibles.

periféricos informáticos (ratón, teclado, impresora, altavoces) iban conectados directamente a un único PC mediante cable. Ahora la presencia de múltiples dispositivos inteligentes como varios PC o PDAs han dado lugar a sistemas distribuidos en los que la inteligencia se sitúa en los terminales.

En la práctica, dada la diversidad de tecnologías disponibles para las redes de datos residenciales, no termina de imponerse una tecnología única que interconecte todos los equipos, sino que aparecen islas de tecnología, que únicamente cubren las demandas de interconexión entre un conjunto reducido de dispositivos. Es el caso de la convivencia en una misma vivienda de una isla Bluetooth¹¹, que, por ejemplo, conecte teléfonos móviles y agendas electrónicas, y otra USB¹² que ponga en contacto el PC con la impresora y el escáner. Las distintas subredes con diferentes tecnologías deben ser transparentes para el usuario y puede hacer uso de ellas como si se tratase de una red de datos única.

1.5.2 Red Multimedia

La red multimedia es aquella a la que se conectan los distintos equipos de entretenimiento o electrodomésticos de línea marrón del hogar: vídeos, radios, cámaras, televisores, videoconsolas, etc.

Algunas de las aplicaciones soportadas por esta red son los videojuegos en red, la difusión de la señal de televisión de pago desde el decodificador al resto de estancias de la vivienda, el envío de audio y vídeo desde el portero automático.

¹¹ Bluetooth: tecnología de ondas de radio de corto alcance (2.4 GHz de frecuencia) cuyo objetivo es el simplificar las comunicaciones entre dispositivos informáticos, como ordenadores, teléfonos móviles, otros

¹² USB: Bus Universal en Serie. Se trata de un concepto de la informática para nombrar al puerto que permite conectar periféricos a una computadora.

No obstante, se observa en los últimos años una fuerte tendencia a la convergencia de las redes de datos y multimedia, gracias a la aparición de nuevos estándares de compresión audiovisual, a la creciente versatilidad de los equipos informáticos y al incremento del ancho de banda disponible en las tecnologías de datos.

1.5.3 Red de Control

La red de control de dispositivos domóticos es la responsable del control sobre la automatización de la vivienda. Aunque esta red es independiente de las redes de datos y multimedia, puede interactuar con ellas a través de la pasarela residencial, pero esta independencia tiende a desaparecer en la actualidad con la introducción en el mercado de los primeros sensores y actuadores basados en protocolos IP.

1.6 TOPOLOGÍAS DE RED¹³

La topología de una red es el arreglo físico o lógico en el cual los dispositivos o nodos de una red (computadoras, impresoras, servidores, hubs¹⁴, switches¹⁵, enrutadores, etc.) se interconectan entre sí sobre un medio de comunicación.

Existen varias topologías de red básicas, pero también existen redes híbridas que combinan una o más de las topologías anteriores en una misma red.

- Topología tipo bus
- Topología tipo estrella
- Topología tipo anillo
- Topología tipo malla

¹³ <http://blog.espol.edu.ec/pmilan/2011/08/29/topologia-de-redes/>

¹⁴ Hub: Equipo de redes que permite conectar entre sí otros equipos o dispositivos retransmitiendo los paquetes de datos desde cualquiera de ellos hacia todos los demás.

¹⁵ Switches: dispositivo de red que tiene la misión de realizar una interconexión entre distintas redes.

1.6.1 Topología Tipo Bus

La topología de bus está caracterizada por una dorsal principal con dispositivos de red interconectados a lo largo de la dorsal como muestra la figura 1.16.

Las redes de buses son consideradas como topologías pasivas. Las computadoras "escuchan" al bus. Cuando están listas para transmitir, ellas se aseguran que no haya nadie más transmitiendo en el bus, y entonces envían sus paquetes de información.

Las redes de bus basadas en contención típicamente emplean la arquitectura de red Ethernet.

Las redes de bus son fáciles de instalar y de extender. Son muy susceptibles a quebraduras de cable, conectores y cortos en el cable que son muy difíciles de encontrar. Un problema físico en la red, tal como un conector T, puede tumbar toda la red.

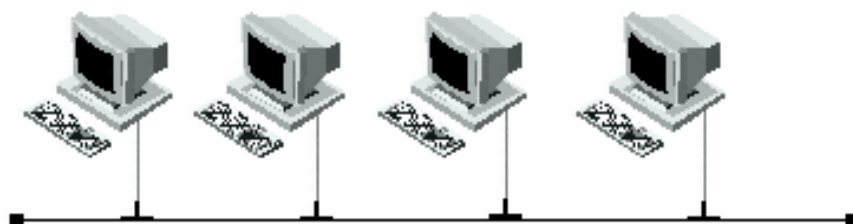


Figura 1.16. Topología tipo bus.

1.6.2 Topología Tipo Estrella

En la topología de estrella, las computadoras en la red se conectan a un dispositivo central que se conoce como concentrador (hub) o a un conmutador de paquetes (switch) como muestra la figura 1.17.

Debido a que la topología estrella utiliza un cable de conexión para cada computadora, es muy fácil de expandir, sólo dependerá del número de puertos disponibles en el hub o switch (aunque se pueden conectar hubs o switches en cadena para así incrementar el número de puertos).

La desventaja de esta topología es la centralización de la comunicación, ya que si el hub falla, toda la red se cae.

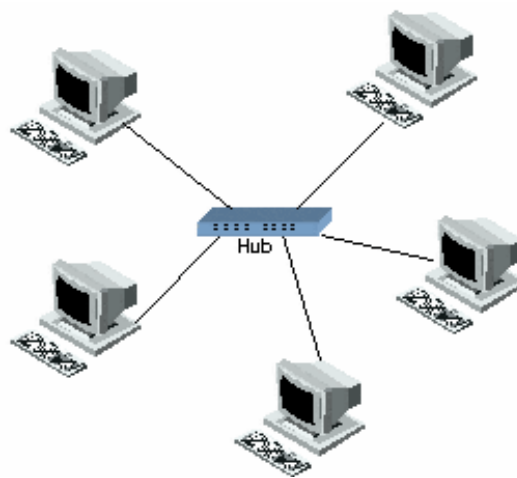


Figura 1.17. Topología tipo estrella.

1.6.3 Topología de Anillo

La topología de anillo conecta los dispositivos de red uno tras otro sobre el cable en un círculo físico. La topología de anillo mueve información sobre el cable en una dirección y es considerada como una topología activa. Las computadoras en la red retransmiten los paquetes que reciben y los envían a la siguiente computadora en la red como muestra la figura 1.18.

El acceso al medio de la red es otorgado a una computadora en particular en la red por un "token"¹⁶. El token circula alrededor del anillo y cuando

¹⁶ Token: Serie especial de bits que viajan a través de las líneas de las redes.

una computadora desea enviar datos, espera al token y se posiciona de él. La computadora entonces envía los datos sobre el cable. La computadora destino envía un mensaje que fueron recibidos correctamente. La computadora que transmitió los datos, crea un nuevo token y los envía a la siguiente computadora, empezando el ritual de paso de token o estafeta (token passing)¹⁷ nuevamente.

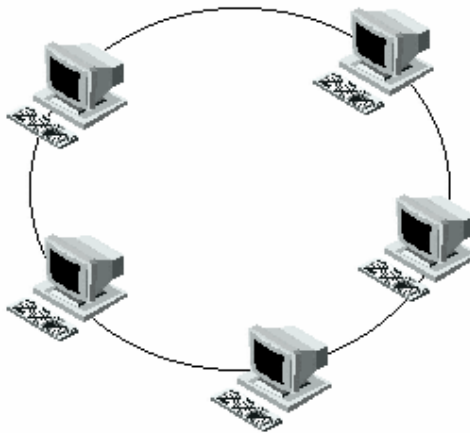


Figura 1.18. Topología tipo anillo.

1.6.4 Topología de Malla

La topología de malla (mesh) utiliza conexiones redundantes entre los dispositivos de la red así como una estrategia de tolerancia a fallas. Cada dispositivo en la red está conectado a todos los demás (todos conectados con todos) como muestra la figura 1.19.

Este tipo de tecnología requiere mucho cable si se utiliza el cable como medio de transmisión, pero también puede ser inalámbrica. Una ventaja de esta tecnología es que debido a la redundancia, la red puede seguir operando si una conexión se rompe y puede presentar caminos alternativos para la transmisión de datos y en consecuencia aumenta la confiabilidad de la red.

¹⁷ token passing: Protocolo, que se utiliza en redes Arcnet y Token Ring, se basa en un esquema libre de colisiones, dado que la señal token se pasa de un nodo o estación al siguiente nodo.

Las redes de malla son más difíciles y caras para instalar que las otras topologías de red debido al gran número de conexiones requeridas.

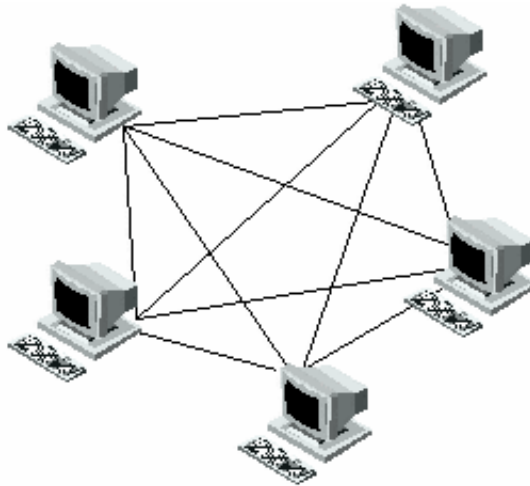


Figura 1.19. Topología tipo malla.

1.7 PROTOCOLO ZIGBEE

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal área network, WPAN).

Su objetivo son las aplicaciones para redes Wireless que requieren de comunicaciones seguras y fiables con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

1.7.1 Estándar IEEE 802.15.4¹⁸

IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas

¹⁸http://www.dea.icaei.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Alberto_Gasc%C3%B3n_Zigbee%20y%20el%20Est%C3%A1ndar%20IEEE%20802.15.4.pdf

de transmisión de datos (low-rate wireless personal area network, LR-WPAN). La actual revisión del estándar se aprobó en 2006. El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el responsable de su desarrollo.

También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre como muestra la figura 1.20.

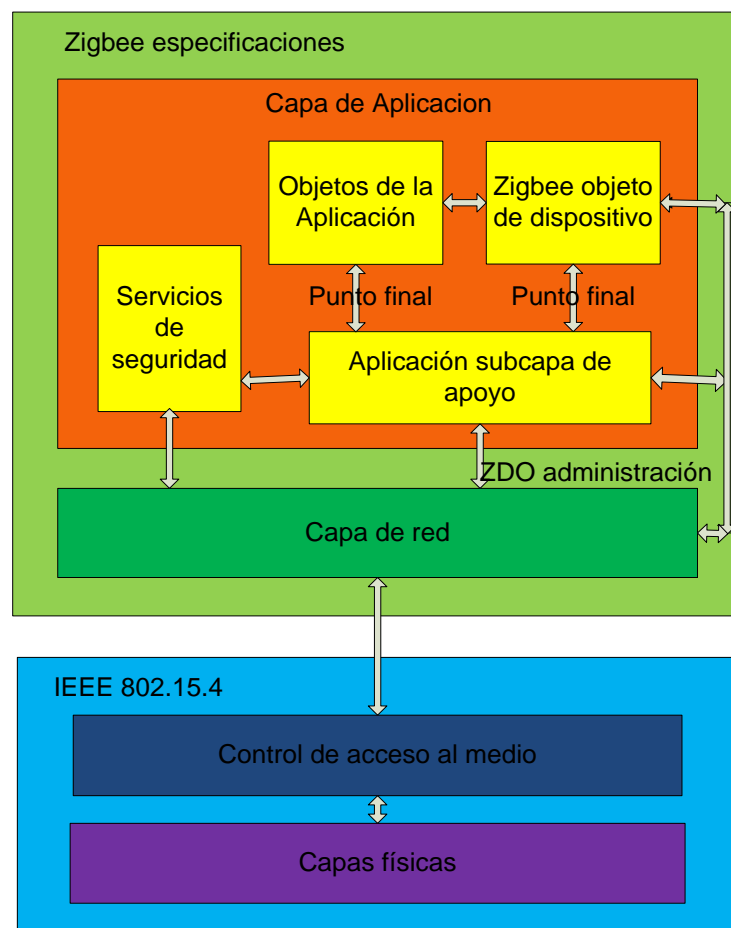


Figura 1.20. Pila del protocolo ZigBee.

1.7.2 Características del Protocolo ZigBee para Domótica

- ZigBee, también conocido como "HomeRF Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s.
- Los rangos de alcance son de 10 m a 75 m.
- Puede usar las bandas libres ISM de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU).
- Un sensor equipado con un transceiver¹⁹ ZigBee puede ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años.
- La fabricación de un transmisor ZigBee consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente.
- Diferentes tipos de topologías como estrella, punto a punto, malla, árbol.
- Acceso de canal mediante CSMA/CA (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).
- La escalabilidad de red es un mejor soporte para las redes más grandes, ofrece más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.
- La fragmentación es una nueva capacidad para dividir mensajes más largos y permitir la interacción con otros protocolos y sistemas.
- La agilidad de frecuencia permite cambiar los canales de una red en forma dinámica en caso que de ocurrir interferencias.
- La gestión automatizada de direcciones de dispositivos permite optimizar la gestión de red agregada y herramientas de configuración en grandes redes.
- La localización grupal ofrece una optimización adicional de tráfico necesaria para las grandes redes.

¹⁹ Transceiver: Dispositivo que recibe la potencia de un sistema mecánico, electromagnético o acústico y lo transmite a otro, generalmente en forma distinta.

- La recolección centralizada de datos permite sintonizado específicamente para optimizar el flujo de información en las grandes redes.

1.7.3 Ventajas del Protocolo ZigBee

- Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto.
- Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.
- Opera en la banda libre de ISM 2.4 Ghz para conexiones inalámbricas.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.
- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
- Detección de Energía.
- Baja ciclo de trabajo - Proporciona larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Hasta 65.000 nodos en una red.
- 128-bit AES de cifrado - Provee conexiones seguras entre dispositivos.
- Son más baratos y de construcción más sencilla.

1.7.4 Desventajas del Protocolo ZigBee

- La tasa de transferencia es muy baja.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías.
- ZigBee trabaja de manera que no puede ser compatible con bluetooth en todos sus aspectos porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos.

- Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN.

1.7.5 Estructura

Siguiendo el estándar del modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection), como muestra la figura 1.21, aparece la estructura de la arquitectura en capas. Las primeras dos capas, la física y la de acceso al medio MAC²⁰, son definidas por el estándar IEEE 802.15.4. Las capas superiores son definidas por la Alianza ZigBee y corresponden a las capas de red y de aplicación las cuales contienen los perfiles del uso, ajustes de la seguridad y la mensajería.

Los cometidos principales de la capa de red son permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer un interfaz adecuado para su uso por parte del nivel inmediatamente superior. Sus capacidades, incluyendo el ruteo, son las típicas de un nivel de red clásico.

Por una parte, la entidad de datos crea y gestiona las unidades de datos del nivel de red a partir del payload²¹ del nivel de aplicación y realiza el ruteo en base a la topología de la red en la que el dispositivo se encuentra. Por otra, las funciones de control del nivel controlan la configuración de nuevos dispositivos y el establecimiento de nuevas redes; puede decidir si un dispositivo colindante pertenece a la red e identifica nuevos routers y vecinos.

El control puede detectar así mismo la presencia de receptores, lo que posibilita la comunicación directa y la sincronización a nivel MAC.

²⁰ MAC: control de acceso al medio, es un identificador de 48 bits que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red.

²¹ Payload: Área de datos, contiene los datos que se desean trasladar.

La trama general de operaciones (GOF) es una capa que existe entre la de aplicaciones y el resto de capas. La GOF suele cubrir varios elementos que son comunes a todos los dispositivos, como el subdireccionamiento, los modos de direccionamientos y la descripción de dispositivos, como el tipo de dispositivo, potencia, modos de dormir y coordinadores de cada uno.

La capa de aplicación es el más alto definido por la especificación y, por tanto, la interfaz efectiva entre el nodo ZigBee y sus usuarios. En él se ubican la mayor parte de los componentes definidos por la especificación: tanto los objetos de dispositivo ZigBee (ZigBee device objects, ZDO) como los procedimientos de control y los objetos de aplicación que se encuentran aquí.

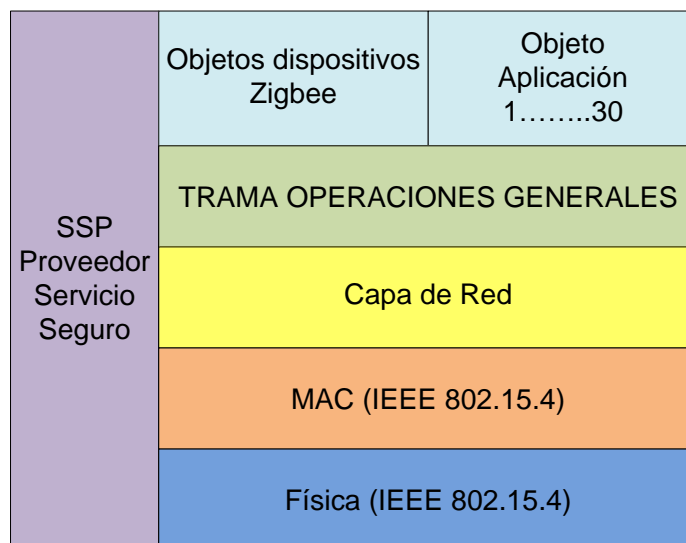


Figura 1.21. Estructura del protocolo ZigBee.

1.7.6 Tipos de Dispositivos²²

Se define tres tipos distintos de dispositivos ZigBee según su desempeño en la red:

²² <http://es.scribd.com/doc/81538205/2/TIPOS-DE-TRAFICO-SOPORTADO-POR-ZIGBEE-4>

- a.- Coordinador Zigbee.
- b.- Router ZigBee.
- c.- Dispositivo final ZigBee.

a.- Coordinador ZigBee.

El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, requiere memoria y capacidad de computación.

b.- Router ZigBee.

Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.

c.- Dispositivo final ZigBee.

Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías.

1.7.7 Funcionalidad

Basándose en la funcionalidad, puede plantearse una segunda clasificación:

- a.- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD).
- b.- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD).

a.- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD).

También conocidos como nodo activo. Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee, o ser usado en dispositivos de red que actúen de interfaces con los usuarios.

b.- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD).

También conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas con el objetivo de conseguir un bajo costo y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

Un nodo ZigBee (tanto activo como pasivo) reduce su consumo gracias a que puede permanecer dormido la mayor parte del tiempo (incluso muchos días seguidos). Cuando se requiere su uso, el nodo ZigBee es capaz de despertar en un tiempo mínimo, para volverse a dormir cuando deje de ser requerido. Un nodo cualquiera despierta en aproximadamente 15 ms. Además de este tiempo, se muestran otras medidas de tiempo de funciones comunes:

- Nueva enumeración de los nodos esclavo (por parte del coordinador): aproximadamente 30 ms.
- Acceso al canal entre un nodo activo y uno pasivo: aproximadamente 15 ms.

1.7.8 Topología

En una red ZigBee puede haber hasta 254 nodos, no obstante, según la agrupación que se haga, se puede crear hasta 255 conjuntos/clusters de nodos con lo cual se puede llegar a tener 64770 nodos para lo que existe

la posibilidad de utilizar tres topologías de red como puede verse en la figura 1.22.

- Topología en estrella: el coordinador se sitúa en el centro.
- Topología en árbol: el coordinador será la raíz del árbol.
- Topología de malla: al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.

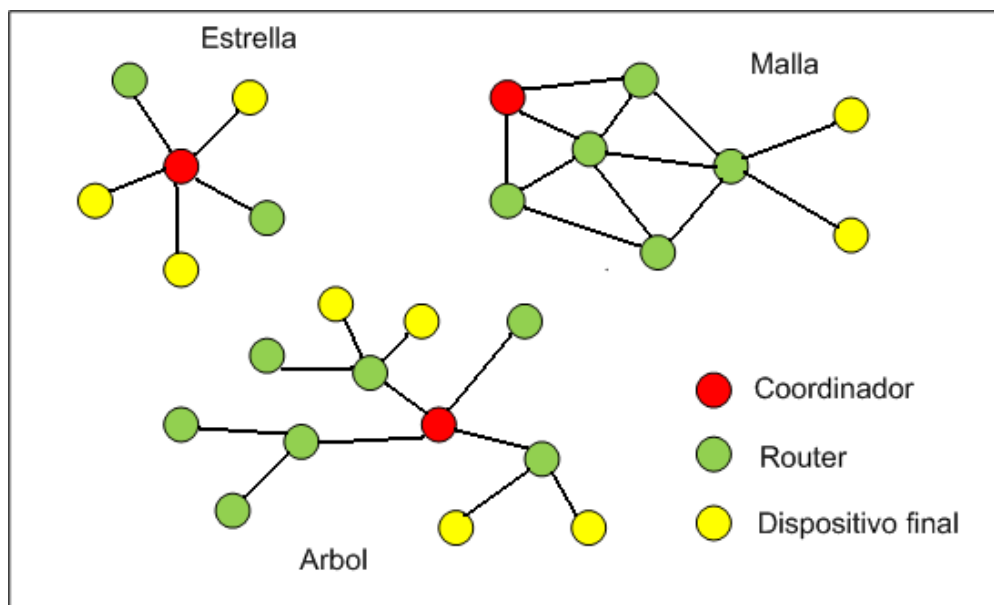


Figura 1.22. Topologías del protocolo ZigBee

La topología más interesante (y una de las causas por las que parece que puede triunfar ZigBee) es la topología de malla. Ésta permite que si, en un momento dado, un nodo del camino falla y se cae, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador.

1.7.9 Tipos de Tráfico De Datos

ZigBee/IEEE 802.15.4 dirige tres tipos de tráfico típicos:

- a.- Dato periódico.
- b.- Dato intermitente.
- c.- Dato repetitivo.

a.- Cuando el dato es periódico.

La aplicación dicta la proporción, el sensor se activa, chequea los datos y luego desactiva.

b.- Cuando el dato es intermitente.

La aplicación, u otro estímulo, determinan la proporción, como en el caso de los detectores de humo. El dispositivo necesita sólo conectarse a la red cuando la comunicación se hace necesaria. Este tipo habilita el ahorro óptimo en la energía.

c.- Cuando el dato es repetitivo.

La proporción es de antemano fija. Depende de las hendeduras de tiempo repartidas, los dispositivos operan para las duraciones fijas.

1.7.10 Estrategias de Conexión de los dispositivos en una Red ZigBee

Las redes ZigBee son diseñadas para conservar la energía en los nodos esclavos. De esta forma se consigue el bajo consumo de energía. La estrategia consiste en que, durante mucho tiempo, un dispositivo esclavo está en modo dormido, de tal forma que solo se despierta por una fracción de segundo para confirmar que está vivo en la red de dispositivos de la que forma parte. Esta transición del modo dormido al modo despierto

(modo en el que realmente transmite), dura unos 15ms, y la enumeración de "esclavos" dura alrededor de 30ms.

En las redes ZigBee, se pueden usar dos tipos de entornos o sistemas:

- a.- Con baliza.
- b.- Sin baliza.

a.- Con baliza.

Es un mecanismo de control del consumo de energía en la red. Permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. En este modelo, los dos caminos de la red tienen un distribuidor que se encarga de controlar el canal y dirigir las transmisiones. Las balizas que dan nombre a este tipo de entorno, se usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red, identificando la red domótica, y describiendo la estructura de la supertrama. Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de red y pueden variar desde los 15ms hasta los 4 minutos.

Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos que conforman la red, escuchan a dicho coordinador durante el "balizamiento" (envío de mensajes a todos los dispositivos broadcast²³, entre 0,015 y 252 segundos). Un dispositivo que quiera intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él. En el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a "dormir", y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el

²³ Broadcast: Forma de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea

coordinador. En cuanto el coordinador termina el "balizamiento", vuelve a "dormirse".

b.- Sin baliza.

Se usa el acceso múltiple al sistema ZigBee en una red punto a punto cercano. En este tipo, cada dispositivo es autónomo, logra iniciar una conversación, en la cual los otros pueden interferir. A veces, puede ocurrir que el dispositivo destino no alcanza a oír la petición, o que el canal esté ocupado.

Este sistema se usa típicamente en los sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos (sensores, detectores de movimiento o de rotura de cristales), duermen prácticamente todo el tiempo. Para que se les tenga en cuenta, estos elementos se "despiertan" de forma regular para anunciar que siguen en la red. Cuando se produce un evento el sensor despierta instantáneamente detecta algo y transmite la alarma correspondiente. En ese momento el coordinador de red, recibe el mensaje enviado por el sensor y activa la alarma. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo.

1.7.11 Comunicación y descubrimiento de dispositivos

Para que los dispositivos que forman una aplicación puedan comunicarse, deben utilizar un protocolo de aplicación compartido. Estas convenciones se agrupan en perfiles. Las decisiones de asociación se deciden en base a la coincidencia entre identificadores de clusters de entrada y salida, que son únicos en el contexto de un perfil dado y se asocian a un flujo de datos de entrada o salida en un dispositivo; las tablas de asociaciones mantienen los pares de identificadores fuente y destino.

En base a la información disponible, el descubrimiento de dispositivos puede adecuarse utilizando varios métodos distintos. Si se conoce la dirección de red, se pide la dirección IEEE utilizando unicast²⁴. Si no es así, se pide por broadcast, y la dirección IEEE forma parte de la respuesta.

Los dispositivos finales responden con la dirección propia solicitada, mientras que routers y coordinadores envían también las direcciones de todos los dispositivos asociados a ellos.

El direccionamiento directo utiliza la dirección de radio y el número de endpoint; por su parte, el indirecto necesita toda la información relevante (dirección, endpoint, cluster y atributo) y la envía al coordinador de la red, que mantiene esta información por él y traduce sus peticiones de comunicación.

El direccionamiento indirecto es especialmente útil para favorecer el uso de dispositivos muy sencillos y minimizar el almacenamiento interno necesario. También pueden hacer broadcast a todos los endpoints de un dispositivo, y direccionamiento de grupos para comunicarse con grupos de endpoints de uno o varios dispositivos distintos.

1.7.12 Seguridad

La seguridad de las transmisiones y de los datos son puntos clave en la tecnología ZigBee, la misma que utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica 4 servicios de seguridad.

²⁴ Unicast: Protocolos o dispositivos que pueden transmitir paquetes de datos de una dirección IP a otra directamente.

- **Control de accesos:** El dispositivo mantiene una lista de los dispositivos comprobados en la red.
- **Datos Encriptados:** Los cuales usan una encriptación con un código de 128 bits.
- **Integración de tramas:** Protege los datos de ser modificados por otros.
- **Secuencias de refresco:** Comprueba que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

a.- Modelo básico de seguridad.

Las claves son la base de la arquitectura de seguridad y, como tal, su protección es fundamental para la integridad del sistema.

Las claves nunca debe ser transportadas por un canal inseguro, existe una excepción momentánea que se da en la fase inicial de la unión de un dispositivo desconfigurado a una red. Las aplicaciones que se ejecutan en concurrencia al utilizar el mismo transceptor deben, así mismo, confiar entre sí, ya que por motivos de costo no se asume la existencia de unos cortafuegos entre las distintas entidades del nivel de aplicación.

Los distintos niveles definidos dentro de la pila de protocolos no está separados criptográficamente, por lo que se necesita políticas de acceso, que se asume correctas en su diseño. Este modelo de confianza abierta posibilita la compartición de claves disminuyendo el costo de forma significativa.

No obstante, el nivel que genera una trama es siempre el responsable de su seguridad. Todos los datos de las tramas del nivel de red debe estar cifrada, ya que podría haber dispositivos maliciosos, de forma que el

tráfico no autorizado se previene de raíz. De nuevo, la excepción es la transmisión de la clave de red a un dispositivo nuevo, lo que dota a toda la red de un nivel de seguridad único. También es posible utilizar criptografía en enlaces punto a punto.

b.- Arquitectura de seguridad.

ZigBee utiliza claves de 128 bits en sus mecanismos de seguridad. Una clave puede asociarse a una red (utilizable por los niveles de ZigBee y el subnivel MAC) o a un enlace.

Las claves de enlace se establecen en base a una clave maestra que controla la correspondencia entre claves de enlace. Como mínimo la clave maestra inicial debe obtenerse por medios seguros (transporte o preinstalación), ya que la seguridad de toda la red depende de ella en última instancia. Los distintos servicios usan variaciones unidireccionales (one-way) de la clave de enlace para evitar riesgos de seguridad.

Es claro que la distribución de claves es una de las funciones de seguridad más importantes. Una red segura encarga a un dispositivo especial la distribución de claves: el centro de confianza. En un caso ideal los dispositivos llevan de fábrica la dirección del centro de confianza y la clave maestra inicial.

Por tanto, el centro de confianza controla la clave de red y la seguridad punto a punto. Un dispositivo sólo acepta conexiones que se origine con una clave enviada por el centro de confianza, salvo en el caso de la clave maestra inicial. La arquitectura de seguridad está distribuida entre los distintos niveles de la siguiente manera:

- El subnivel MAC puede llevar a cabo comunicaciones fiables de un solo salto. En general, utiliza el nivel de seguridad indicado por los niveles superiores.
- El nivel de red gestiona el ruteo, procesa los mensajes que recibe y puede hacer broadcast de peticiones. Las tramas salientes usan la clave de enlace correspondiente al ruteo realizado, si está disponible; en otro caso, se usa la clave de red.
- El nivel de aplicación ofrece servicios de establecimiento de claves a las aplicaciones, y es responsable de la difusión de los cambios que se producen en sus dispositivos a la red. Estos cambios suele estar provocados por los propios dispositivos (un cambio de estado sencillo) o en el centro de confianza, que puede ordenar la eliminación de un dispositivo de la red. También encamina peticiones de los dispositivos al centro de seguridad y propaga a todos los dispositivos las renovaciones de la clave de red realizadas por el centro. El ZDO mantiene las políticas de seguridad del dispositivo.

1.7.13 Técnicas de Modulación

ZigBee opera en dos bandas de frecuencia:

- 2.4 GHz con tasa máxima de transferencia de 250 Kbps, para este caso, modula en O-QPSK (Modulación con desplazamiento de fase en cuadratura con desplazamiento temporal).
- 868-928 MHz para tasa de datos entre 20 y 40 Kbps, para este otro, modula en BPSK (Modulación con desplazamiento de fase binaria).

a.- Modulación OQPSK (offset quadrature phase shift keying).

La modulación OQPSK consiste en realizar una transición de fase en cada intervalo de señalización de bits, por portadora en cuadratura. En esta modulación se introduce una ligera variación en el proceso de generación de la señal. Se divide el flujo de bit a transmitir en dos partes: los bits pares y los impares.

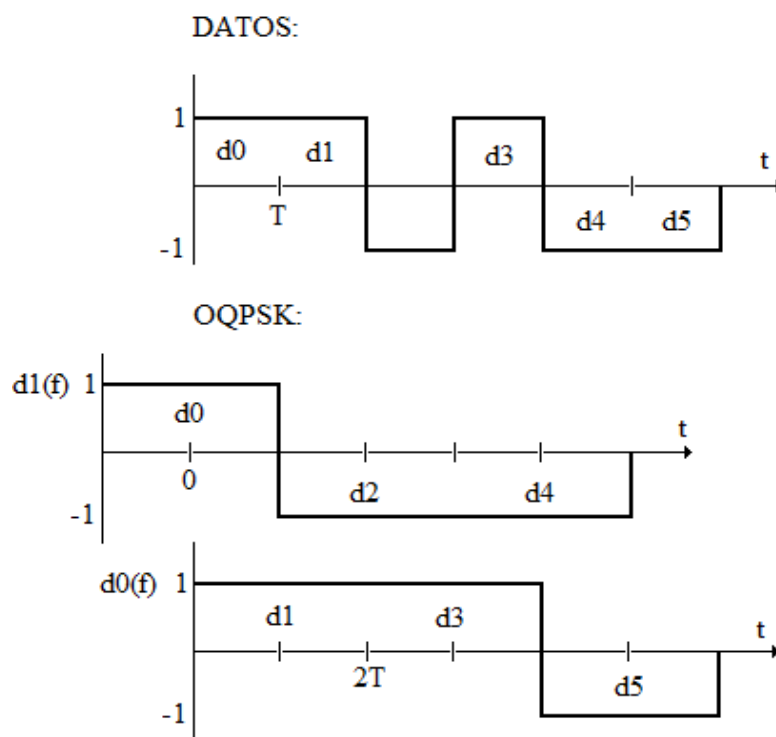


Figura 1.23. Modulación OQPSK.

b.- Modulación BPSK (binary phase shift keying).

En esta modulación se tiene como resultados posibles dos fases de salida para la portadora con una sola frecuencia. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase.

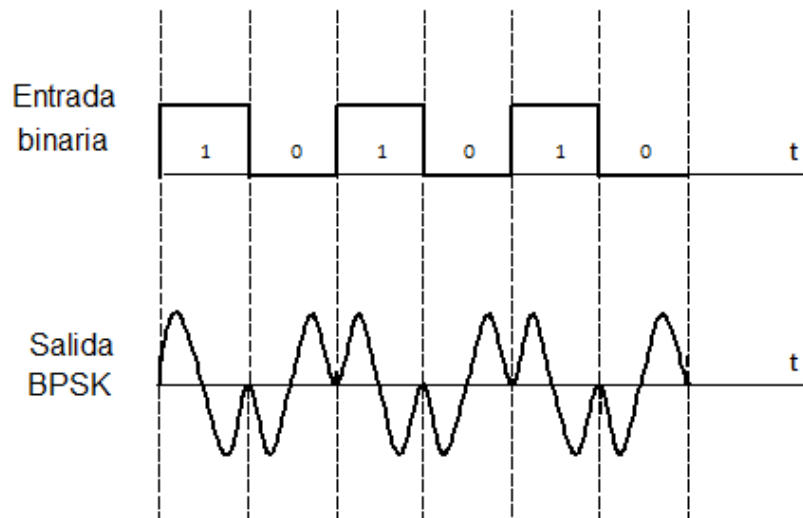


Figura 1.24. Modulación BPSK.

1.7.14 ZigBee y su espectro compartido con WLAN

- Un canal entre 868MHz y 868.6MHz, Ch1 hasta Ch10.
- Diez canales entre 902.0MHz y 928.0MHz, Ch1 hasta Ch10.
- Dieciséis canales entre 2.4GHz y 2.4835GHz, Ch11 hasta Ch26.

El estándar ZigBee especifica una sensibilidad en el receptor de -85dBm en la banda de los 2.4GHz. Y una sensibilidad de -92dBm en la banda 865/915 MHz.

1.7.15 Estructura de la Trama del Estandar IEEE 802.15.4

La estructura de la tramas fue diseñada para tener una complejidad mínima y al mismo tiempo hacerla lo suficientemente robusta para su transmisión en canales con ruido. En la figura 1.25 se muestra la estructura de la trama IEEE 802.15.4.

La subcapa MAC genera un paquete, formado por: el encabezado MAC (MHR, *Mac Header*), la unidad de datos de servicio MAC (MSDU, MAC

Service Data Unit), y el fin de trama (MFR, *MAC Footer*). Este paquete, recibe el nombre de Unidad de Datos del Protocolo MAC (*MPDU*, *MAC Protocol Data Unit*) y puede tener una longitud máxima de 127 bytes.

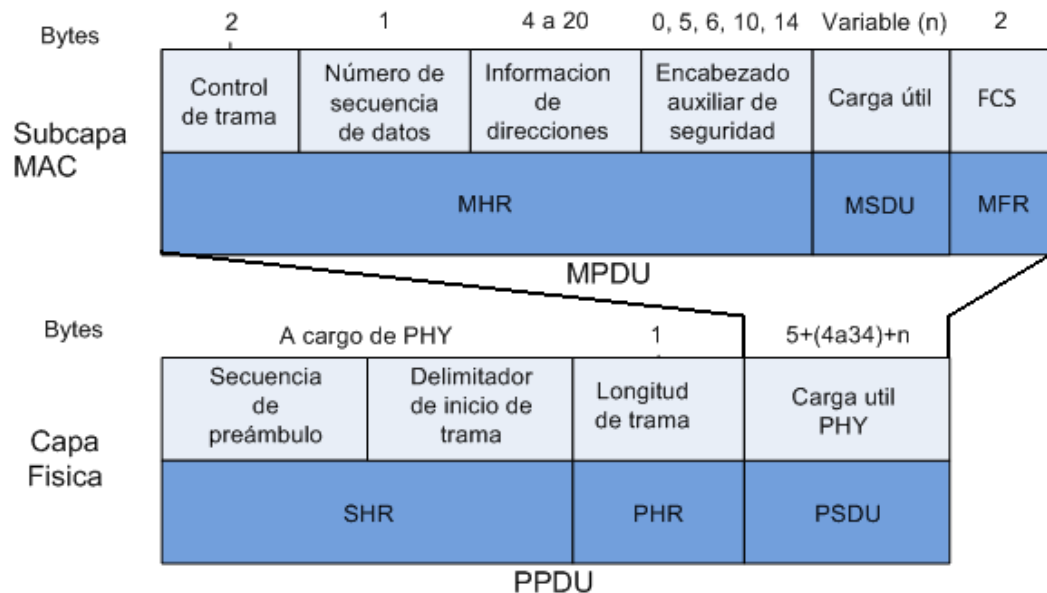


Figura 1.25. Formato de la trama IEEE 802.15.4.

La MPDU pasa a la capa física como la unidad de datos de servicio físico (*PSDU*, *PHY service data unit*) y constituye la carga útil física (PHY payload). La PSDU junto con el encabezado de sincronización (SHR, *Synchronization Header*), y el encabezado físico (PHR, *Physical Header*) forman la unidad de datos del protocolo físico (PPDU, *PHY Protocol Data Unit*). La PPDU puede tener una longitud máxima de 133 bytes.

1.7.16 Aplicaciones²⁵

Básicamente ZigBee tiene su principal aplicación cuando sus nodos se unen para trabajar juntos y formar lo que se denomina “Red de Sensores”. El estándar ZigBee se ha hecho a medida para la monitorización y para aplicaciones de control.

²⁵ <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/206/4/Capitulo%203.pdf>

Por lo tanto, los principales campos de aplicación son:

- a.- Red de sensores.
- b.- Automatización de edificios y hogares.
- c.- Control industrial.
- d.- Agricultura y control ambiental.
- e.- Cuidados médicos.
- f.- Otras aplicaciones.

a.- Red de sensores.

Las redes de sensores están formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación los cuales permiten formar redes inalámbricas Ad-Hoc²⁶ sin infraestructura física preestablecida ni administración central como se muestra en la figura 1.26.

Esta clase de redes se caracterizan por su facilidad de despliegue y por ser autoconfigurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Otra de las características es su gestión eficiente de la energía, que con ello se consigue una alta tasa de autonomía que las hace plenamente operativas.

Cada nodo, como ente individual de una red de sensores, no deja de ser una pequeña computadora, con un pequeño procesador, una memoria de programa y una memoria para almacenar variables, pero al que también se agrega unos pequeños periféricos I/O (entrada/salida) tales como un transceptor radio y un pequeño conversor A/D (Analógico/Digital) que sirve para adquisición de los datos de los sensores locales.

²⁶ Red Ad-Hoc: red formada sin ninguna administración central o no hay un nodo central, sino que consta de nodos móviles que usan una interface inalámbrica para enviar paquetes de datos.

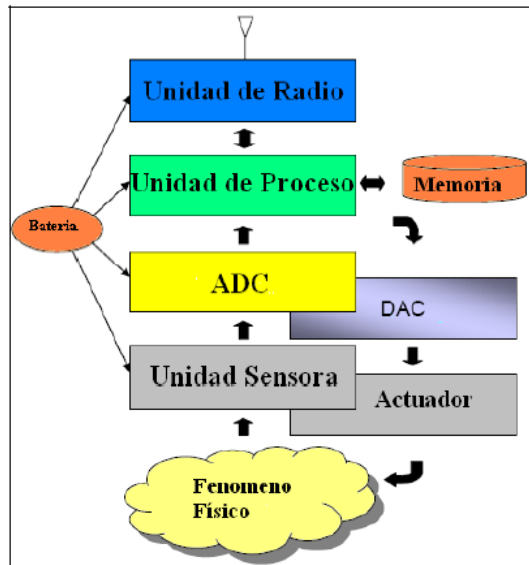


Figura 1.26. Arquitectura de un nodo de una Red de Sensores.

b.- Automatización de edificios y hogares.

ZigBee ofrece seguridad, alarmas (humo, CO2, intrusos), control de aire acondicionado, lectura de contadores de agua, gas, electricidad, control de iluminación, control de accesos, control de riesgo, control de toldos y persianas, control de electrodomésticos, como se muestra en la figura 1.27.



Figura 1.27. Aplicación de ZigBee en Domótica.

c.- Control industrial.

Dentro del campo industrial como indica la figura 1.28 ZigBee es aplicado para: control de procesos, sensores de temperatura, presión y otros, control y asistencia remota, etc.

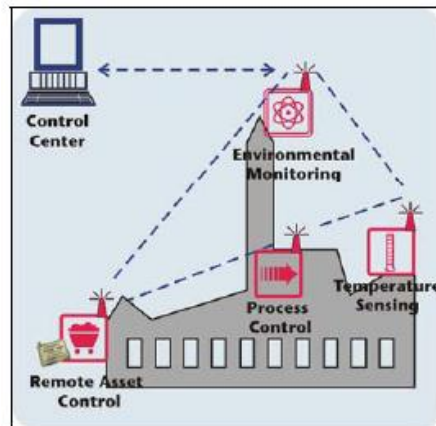


Figura 1.28. Aplicación de ZigBee en Control Industrial.

d.- Agricultura y control ambiental.

ZigBee se utiliza para desarrollar agricultura de precisión. Por ejemplo en un área grande cientos de nodos pueden ser utilizados para que transmitan información como temperatura, nivel de luz y humedad del terreno, para que sea analizada en un centro de procesamiento como muestra la figura 1.29.



Figura 1.29. Aplicación de ZigBee en agricultura.

El control ambiental de vastas áreas de bosque o de océanos, sería imposible sin las redes de sensores. El control de múltiples variables, como temperatura, humedad, fuego, actividad sísmica así como otras.

También ayudan a expertos a diagnosticar o prevenir un problema o urgencia y además minimizar el impacto ambiental de la presencia humana.

e.- Cuidados médicos.

Para supervisar a pacientes con enfermedades crónicas, tales como diabetes y asma, es importante monitorear permanentemente los signos vitales.

La cardiología es el área más prominente de aplicación del monitoreo de los pacientes a través de Electrocardiogramas (ECGs), que indican el estado general del corazón del paciente.

En la mayoría de casos el monitoreo médico requiere de más de un sensor que es conectado al cuerpo humano. Por ejemplo los pacientes con problemas cardiacos deben tener un monitoreo de la presión sanguínea, saturación de oxígeno de la sangre, pulsación cardiaca, temperatura, peso, etc.

Actualmente la tecnología de monitoreo como muestra la figura 1.30 requiere que el paciente utilice una serie de cables para adquirir y procesar las señales vitales. Usando la tecnología de monitoreo inalámbrico, se pueden prevenir y tratar un gran número de enfermedades, pues pueden ser controladas eficazmente.

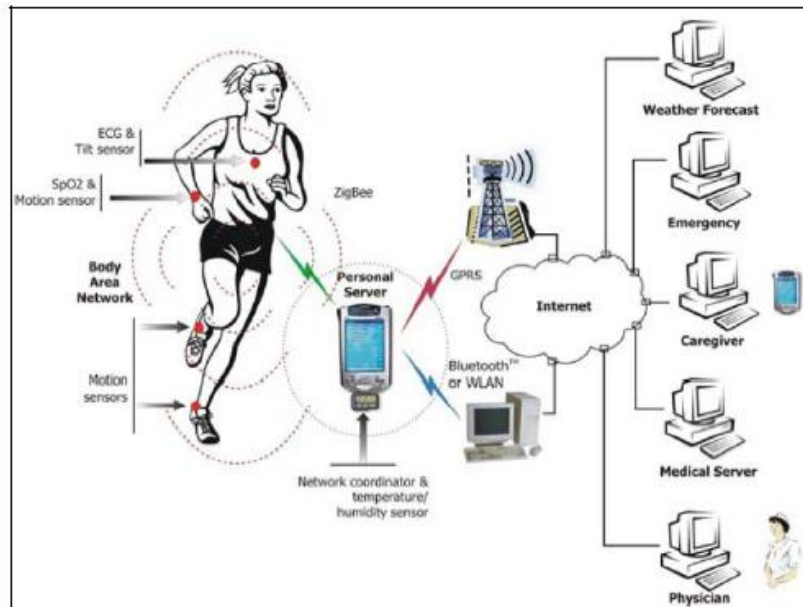


Figura 1.30. Aplicación de ZigBee en cuidados médicos.

ZigBee se combina con otras tecnologías inalámbricas, para brindar un monitoreo completo. En la primera etapa se forma la red WBAN utilizando ZigBee, los datos de cada uno de los sensores son enviados a un coordinador de red WBAN, este coordinador se conecta vía GPRS, WLAN o Bluetooth con un servidor local que se conecta con la red Internet, mediante IP, el médico tratante, servicios de emergencia o un fisiatra tendrán la información del estado del paciente al instante y permanentemente, en el caso de emergencias podrá enviar un equipo médico de ayuda.

f.- Otras aplicaciones.

Debido a su baja velocidad de transmisión de datos y su naturaleza de bajo consumo, también entra en los mercados del control remoto para la electrónica de consumo y lo que se denomina dispositivos para la interface humana, como teclados, ratones y joysticks. También en el automóvil se esperan posibles aplicaciones, como por ejemplo la

monitorización del nivel de presión de las ruedas para mejorar la seguridad del vehículo.

El mercado para las redes ZigBee comprende una amplia variedad de aplicaciones como en la actualidad un gran número de las compañías que forman parte de la ZigBee Alliance se encuentran desarrollando productos que van desde electrodomésticos hasta teléfonos celulares, impulsando el área que más les interesa.



Figura 1.31. Primer teléfono móvil en implementar ZigBee.

1.7.17 Comparativas ZigBee – Bluetooth – Wifi

Hay muchas alternativas inalámbricas asequibles a los diseñadores, comparando ZigBee con algunos de los estándares más populares que comparten la banda de 2.4 GHz sin licencia se tiene algunos parámetros que se puede observar en la tabla 1.1.

a.- Bluetooth.

Es un popular sistema de comunicación inalámbrico basado en el estándar IEEE 802.15.1. Bluetooth trabaja a una velocidad de transmisión de datos de 1 Mbps. Se puede ver que Bluetooth y ZigBee tienen similares corrientes en transmisión, pero ZigBee tiene un recurso

significativamente mejor, más baja corriente en “standby”²⁷. Esto es debido a que los dispositivos en redes Bluetooth deben dar información a la red frecuentemente para mantener la sincronización, así que no pueden ir fácilmente a modo "Sleep".

b.- Wi-Fi.

Es una red que requiere la actividad casi ininterrumpida de los dispositivos en la red. La ventaja de este estándar es la cantidad tremenda de datos que se pueden transferir de un punto a multi-puntos, pero se puede ver que la corriente en transmisión es alta.

Se puede ver que de los tres estándares de radio, solamente ZigBee brinda la flexibilidad de la conexión de redes en malla. También se pueden ver los reducidos requisitos de memoria de programa de ZigBee. Las aplicaciones ZigBee son típicamente muy simples. La potencia está en la conexión de redes y el hecho de que los dispositivos “end point” de ZigBee puedan "dormir".

²⁷ Standby: Término para la posición en la que un dispositivo se encuentra conectado y en espera de recibir llamadas, siempre que esté en cobertura.

Tabla 1.1. Comparación de tecnologías inalámbricas.

COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS			
	Wi-fi	Bluetooth	ZigBee
Bandas de Frecuencias	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz, 868/915MHz
Tamaño de Pila	~1Mb	~1Mb	~20kb
Tasa de Transferencia	11Mbps	1Mbps	250kbps(2.4GHz) 40kbps(915MHz) 20kbps(868MHz)
Números de Canales	11—14	79	16 (2.4GHz) 10(915MHz) 1(868MHz)
Tipos de Datos	Digital	Digital, Audio	Digital (Texto)
Rango de Nodos Internos	100m	10m - 100m	10m - 100m
Números de Dispositivos	32	8	255/65535
Requisitos de Alimentación	Media - Horas de Batería	Media - Días de batería	Muy Baja – Años de Batería
Introducción al Mercado	Alta	Media	Baja
Arquitecturas	Estrella	Estrella	Estrella, Árbol, Punto a Punto y Malla
Mejores de Aplicaciones	Edificio con Internet Adentro	Computadoras y Teléfonos	Control de Bajo Costo y Monitoreo
Consumo de Potencia	400mA transmitiendo, 20mA en reposo	40mA transmitiendo, 0.2mA en reposo	30mA transmitiendo, 3mA en reposo
Precio	Costoso	Accesible	Bajo
Complejidad	Complejo	Complejo	Simple

CAPITULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

2.1 ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO ZIGBEE

El sistema domótico inalámbrico a ser desarrollado debe cumplir con ciertos requisitos mínimos, así como también ciertas especificaciones para todos los dispositivos y sensores que intervienen en la implementación; siendo la principal, que conste de comunicación inalámbrica ZigBee, que permita formar una red con topología tipo malla con pequeños paquetes de información, bajo consumo de energía eléctrica, seguridad y fiabilidad.

2.1.1 Requerimientos del Sistema Domótico Inalámbrico ZigBee

El sistema domótico inalámbrico ZigBee se diseño para cumplir con los siguientes requerimientos y características mínimas:

- Contar con un enrutador o coordinador para la interconexión de redes inalámbricas.
- Capacidad del sistema domótico para unir un sin número de dispositivos y sensores ZigBee a la red con topología tipo malla.
- Sistema HMI inalámbrico para la supervisión a través de una tablet PC.
- Comunicación vía Wi-fi con el HMI.

- Control sobre toda la vivienda de encendido y apagado de luces manual y automático.
- Sistema de seguridad con la utilización de sensores de movimiento y magnéticos con simulaciones rutinarias y alarmas.
- Simulación de presencia.
- Registro de Alarmas.
- Creación de áreas y eventos rutinarios.

2.2 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA VIVIENDA

La vivienda se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi, ciudad de Salcedo en las calles 24 de Mayo y Juan León Mera, es una construcción de 3 pisos de losa distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 2.1. Distribución y dimensiones de las instalaciones de la vivienda.

Planta Baja	Altura: 2,4m
	Dimensiones (m)
Cocina	5x3,3
Comedor	5x3,3
Local	9,5x4,3
Tras tienda	3x3,3
Pozo de Luz	3x3,3
Baño	1,5x2,5
Pasillo	18,5x1
Patio	

Primer Piso	Altura: 2,4m
	Dimensiones (m)
Habitación	4x4,3
Habitación	5x3,3
Baño	1.5x3,3
Baño	1.5x1,75
Cocina	3x3,3
Sala	4,3x10
Pasillo	15x1
Segundo Piso	Altura: 2,4m
	Dimensiones (m)
Habitación	4x4,3
Habitación	5x3,3
Habitación máster	4,3x10
Baño	1.5x3,3
Baño	3x3,3
Pasillo	12x1
Terraza	29x4,3

Existe en total 28 puntos de conexión para interruptores y 32 tomacorrientes distribuidos en las diferentes plantas de la vivienda.

2.3 DISEÑO Y NECESIDAD DEL SISTEMA DOMÓTICO

Para el diseño se necesita conocer las necesidades de la vivienda así como la dimensión y alcance de la misma.

2.3.1 Distribución de la cantidad de cargas de la vivienda

Es importante saber donde se encuentran distribuidas las cargas en las diferentes áreas como se muestra en la tabla 2.2, para determinar los lugares que se necesita aplicar el criterio de diseño.

Tabla 2.2 Distribución de las cargas en la vivienda.

DISTRIBUCIÓN GENERAL DE LAS CARGAS EN LA VIVIENDA		
Áreas	Potencia Eléctrica (Watts)	Tiempo aprox. de uso al día (Horas)
Cocina y comedor	3905	3
Local	4070	24
Pasillo 1	80	3
Baño 1	20	1
Habitación 1	270	4
Baño 2	20	1
Habitación 2	165	4
Pasillo 2	80	3
Baño 3	20	1
Sala	1530	2
Habitación 3	270	4
Baño 4	20	1
Habitación 4	270	4
Pasillo 3	80	3
Baño 5	40	1
Habitación máster	660	4
Cuarto de servicio	2240	4

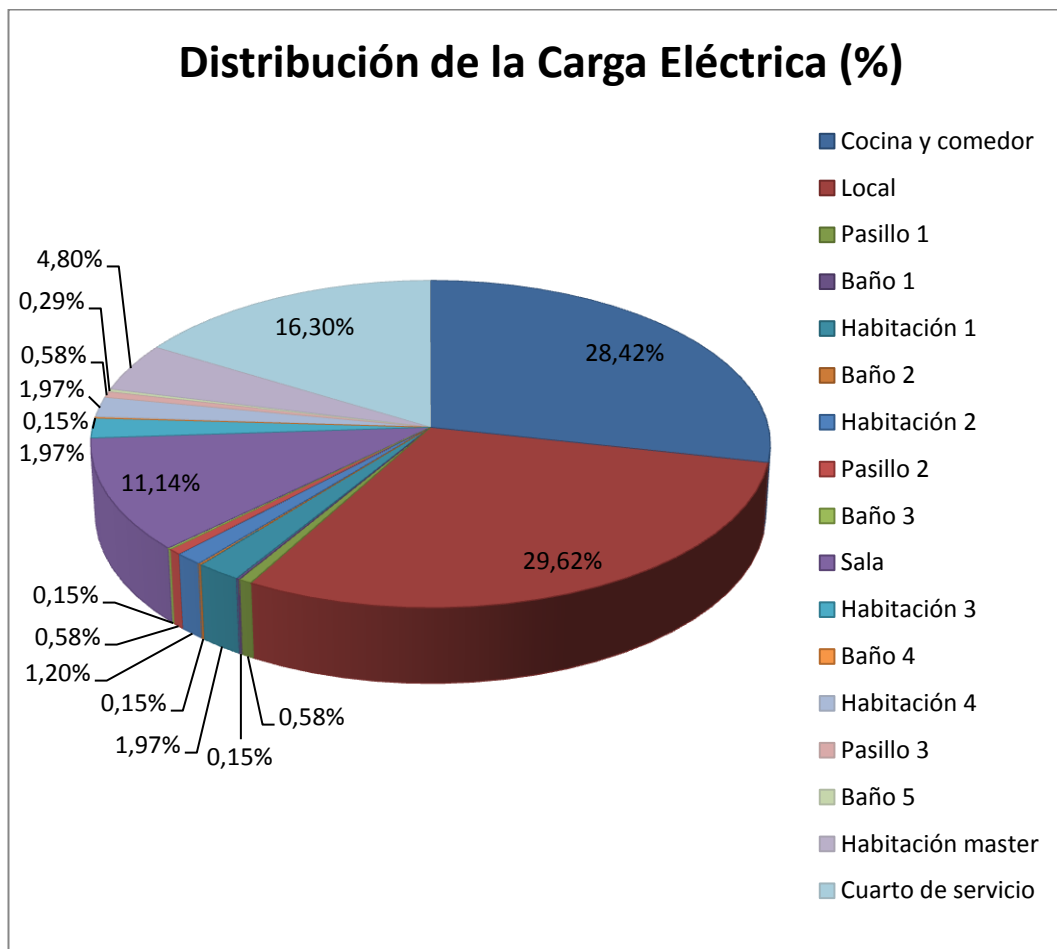


Figura 2.1 Distribución de la carga eléctrica.

El análisis de la figura 2.1 da como resultado que la mayor cantidad de carga existe en los lugares de la cocina y comedor, local, sala, habitación máster y cuarto de servicio, esto debido a que en esos lugares se halla el mayor número de artefactos eléctricos de la vivienda.

2.3.2 Distribución de las horas de uso más comunes

Otra de los puntos a tomar en cuenta para el diseño, es la distribución de las horas de uso más comunes que presentan los usuarios como se indica en la tabla 2.3 para la programación de eventos y el criterio de ahorro de energía.

Tabla 2.3. Distribución de las horas de uso en la vivienda.

Áreas	Horarios		
	Mañana	Tarde	Noche
Cocina y comedor	07:00-08:30	11:00-13:00	19:00-20:30
Frigorífico	00:00-12:00	12:00-18:00	18:00-23:59
Pasillo 1	05:30-06:00		18:30-22:00
Baño 1	06:30-09:30		18:00-22:30
Habitación 1	06:30-09:30		18:00-22:30
Baño 2	06:30-09:30		18:00-22:30
Habitación 2	06:00-08:00		19:00-20:30
Pasillo 2	05:00-06:00		18:30-22:00
Baño 3	06:30-09:30		18:00-22:30
Sala	07:30-9:00		18:00-22:00
Habitación 3	06:00-09:00		18:00-23:00
Baño 4	06:30-09:30		18:00-22:30
Habitación 4	06:00-09:00		18:00-23:00
Pasillo 3	05:00-06:00		18:30-22:00
Baño 5	05:00-06:00		18:30-22:00
Habitación máster	05:00-07:30		17:00-21:30
Cuarto de servicio	09:00-11:00	15:00-18:00	

2.3.3 Necesidades de la Red ZigBee

Ya determinadas las características de la vivienda, se establece los requisitos de la red ZigBee y esquematiza el diseño en la figura 2.2, en donde se cumple los principios básicos de una red inalámbrica ZigBee con los sensores y actuadores que intervienen en la red conectados en malla, así como la conversión de los protocolos ZigBee y wi-fi este último usado para el HMI.

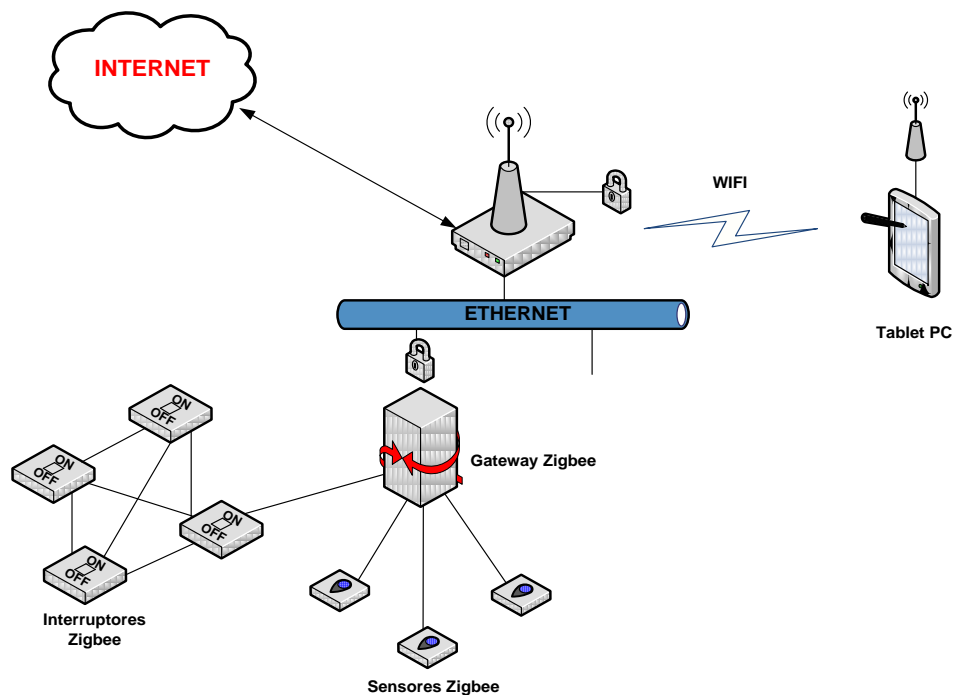


Figura 2.2 Esquema del sistema ZigBee.

2.4 DISEÑO DE LA RED ZIGBEE

El diseño de la red ZigBee se realiza con la ayuda del plano de la infraestructura de la vivienda (Anexo A, B y C) para cumplir la cobertura de todas las áreas y elegir adecuadamente los sensores y dispositivos que intervienen en ella.

2.4.1 Determinación de las Áreas a controlar y vigilar

Una vez descrito físicamente la estructura y necesidades de la vivienda se determina para mayor facilidad áreas para el control y vigilancia del sistema domótico inalámbrico ZigBee:

Tabla 2.4. Distribución de áreas de la vivienda.

PLANTA BAJA	Área 1:	Puerta lanfor (Tienda)
	Área 2:	Iluminación rotulo
	Área 3:	Local
	Área 4:	Trastienda
	Área 5:	Pasillo 1
	Área 6:	Cocina 1 y comedor
	Área 7:	Baño 1
	Área 8:	Puerta pasillo al patio exterior
	Área 9:	Iluminación al patio exterior
PRIMER PISO	Área 10:	Sala
	Área 11:	Ventana de la sala al exterior
	Área 12:	Cocina 2
	Área 13:	Pasillo 2
	Área 14:	Baño 2 y Baño 3
	Área 15:	Habitación 1 y Habitación 2
SEGUNDO PISO	Área 16:	Habitación Máster
	Área 17:	Caja Fuerte
	Área 18:	Habitación 3 y Habitación 4
	Área 19:	Pasillo 3
	Área 20:	Baño 4 y Baño 5
	Área 21:	Iluminación exterior terraza
	Área 22:	Puerta terraza al exterior

a.- Áreas 1-8-11-22

En estas áreas debido a la influencia que tiene con el exterior de la vivienda y al ser las entradas principales a la misma, es indispensable disponer de elementos de seguridad tales como sensores magnéticos en

puertas y ventanas, en caso de que exista vulneración del sistema de seguridad, en el cual se lleva un registro de alarmas que permita saber la hora y fecha de la misma, además de realizar la simulación de un evento de presencia en caso de ocurrir dicha alarma.

b.- Áreas 3-5-13-19

En estos lugares siendo las áreas con un mayor nivel de afluencia de personas se ve necesario colocar sensores de movimiento infrarrojos que colaboren con el sistemas de seguridad, del mismo modo se lleva un registro de alarmas, así como a una determinada hora donde todas las personas estén descansando y no sea necesaria la luz se proceda a apagar automáticamente la iluminación, de esta manera se ahorra energía eléctrica.

c.- Área 2

El local cuenta con un letrero luminoso, en donde es imprescindible realizar un control de eventos que encienda y apague automáticamente a un horario y días establecidos, para el ahorro de energía eléctrica y comodidad del usuario.

d.- Áreas 2-3-4-5-6-7-9-10-12-13-14-15-16-18-19-20-21

En todas estas áreas es necesario la instalación de interruptores que permita accionar las luces de los distintos cuartos de la casa de forma manual, así como también el control automático a través de una manera inalámbrica cuyo control centralizado se encuentra en la tablet PC, donde se puede accionar el interruptor para encender o apagar luces desde cualquier lugar de la casa, además se realiza una creación de eventos que simule presencia y ayude al sistema de seguridad.

e.- Área 17

Debido al valor existente y la delicadeza del lugar, debe ser una de las áreas con mayor precaución, pues se trata de la caja fuerte ubicada en un lugar secreto, donde se encuentra un sensor que indica si la seguridad es vulnerada para que a través del sistema domótico permita registrar e informar y así el usuario pueda tomar las acciones correctivas necesarias.

2.5 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

Para la selección de los componentes se toma en cuenta las características que presentan tales como el alcance y cobertura de los sensores de acuerdo a cada necesidad del área a controlar y que tengan la capacidad de unirse a una red malla,

Para ello se establece los elementos y dispositivos ZigBee necesarios para la implementación del sistema siendo los siguientes:

- Wireless Gateway
- Interruptor Zigbee
- Toma inteligente
- Sensor de movimiento infrarrojo
- Sensor de puertas y ventanas
- Bloqueo de cajón inalámbrico
- Transmisor infrarrojo inalámbrico
- Sensor de gas inflamable
- Tablet PC

2.5.1 Wireless Gateway

Se utiliza el Wireless Gateway debido que es una puerta de enlace inalámbrico que permite gestionar dispositivos de comunicación basados en el protocolo ZigBee, ideal para el sistema domótico a implementar con los diferentes sensores e interruptores; además de que consta de una interfaz estándar de Ethernet que admite conectar a la red inalámbrica ZigBee con LAN e Internet necesaria para el HMI.

A través de la conexión del gateway de enlace inalámbrico, los usuarios pueden controlar todos los productos de protocolo ZigBee por los diversos terminales móviles inteligentes, en este caso la tablet PC y tener una alta velocidad de transmisión inalámbrica de datos seguros y confiables; observar la Figura 2.3.



Figura 2.3. Wireless Gateway protocolo ZigBee.

Entre unos de los puntos más importantes tomados en cuenta para la elección del coordinador, luego de analizar la estructura de la vivienda fue el rango de comunicación, pues es necesario llegar a una distancia de 32 metros máximo, obstaculizado por paredes y muebles que son las áreas más lejanas donde debe llegar la comunicación con los diferentes dispositivos ZigBee, algunas de sus características más importantes son:

- Voltaje de trabajo: 12 VDC
- Rango de comunicación: 50 a 100 metros en interiores
- Ancho de banda: 2.4-2.4835GHz
- Temperatura de trabajo: -10 a 50 °C
- Humedad de trabajo: Max 95% de humedad relativa
- Intensidad de emisión: MAX 21dBm

2.5.2 Interruptor ZigBee

Un objetivo del sistema domótico es el control de luces, para cumplir con esta meta se utiliza el interruptor de pared basado en el diseño de protocolo ZigBee, con el cual el usuario puede controlar el interruptor de forma remota y sin cables a través de cualquier terminal móvil inteligente y es compatible con el coordinador Gateway ZigBee, observar la Figura 2.4.



Figura 2.4 Interruptores ZigBee de 1, 2 y 3 vías.

2.5.3 Toma inteligente

El toma inteligente es un dispositivo basado en el diseño de la tecnología ZigBee, que permite al sistema domótico el control inteligente del interruptor de forma inalámbrica.

Para cumplir con el objetivo de ahorro de energía eléctrica, desconecta las áreas en donde exista la mayor cantidad de carga en las horas que

menos utilicen u horas muertas de uso establecidas anteriormente, observar la Figura 2.5.



Figura 2.5 Toma inteligente ZigBee.

2.5.4 Sensor de movimiento Infrarrojo

El sensor de movimiento infrarrojo es uno de los dispositivos esenciales para el sistema de seguridad, puede detectar los cambios de calor del cuerpo humano en tiempo real en el rango efectivo, y al mismo tiempo, envía la señal de alarma inalámbrica al host para realizar la función de supervisión; observar la Figura 2.6.



Figura 2.6 Sensor de movimiento infrarrojo ZigBee.

Las dimensiones de las áreas es la característica más importante para la selección de los sensores de movimiento, los mismo que se colocan en lugares estratégicos de los pasillos, como se indican en las figuras 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 (Anexos A, B y C; diagramas completos); algunas de las características más importantes del sensor que se elige son:

- Distancia efectiva de detección: 12 metros
- Angulo de detección: 120 grados
- Altura de instalación: 2.0 – 2.5 metros del suelo

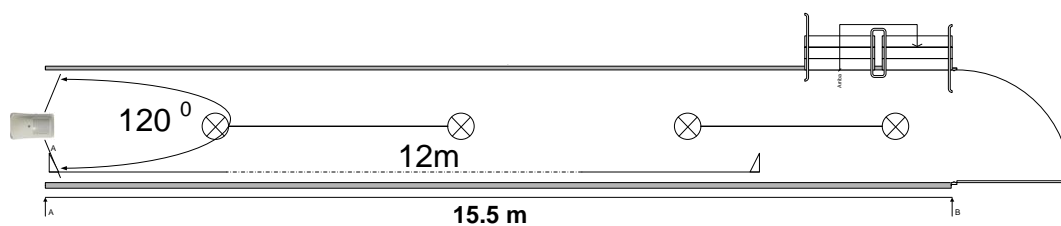


Figura 2.7. Ángulo de cobertura del sensor IR en el pasillo 1.

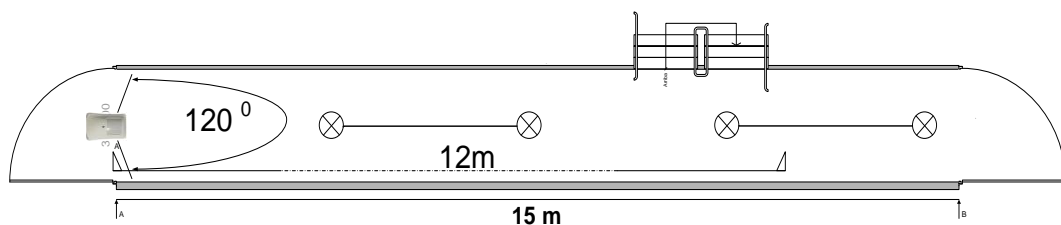


Figura 2.8. Ángulo de cobertura del sensor IR en el pasillo 2.

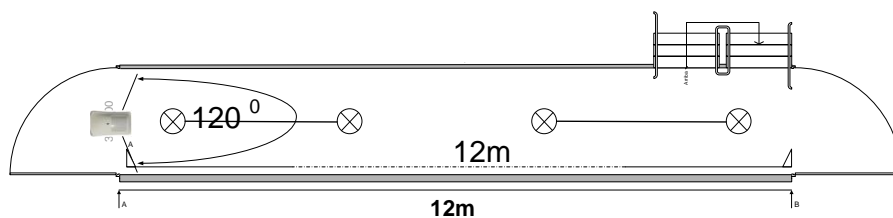


Figura 2.9. Ángulo de cobertura del sensor IR en el pasillo 3.

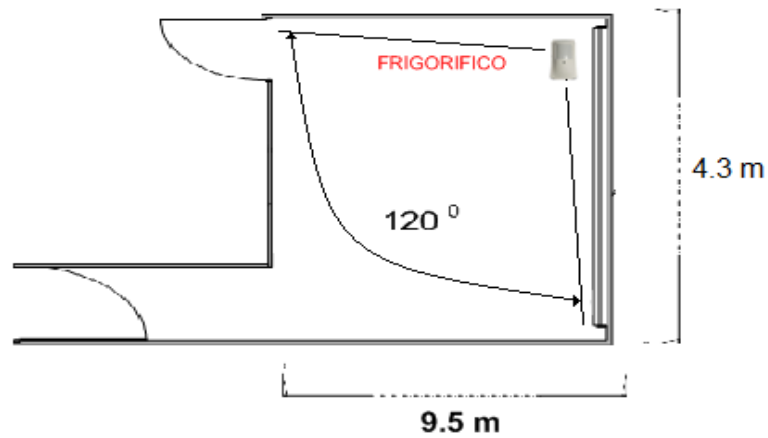


Figura 2.10. Ángulo de cobertura del sensor IR en el local.

2.5.5 Sensor de puertas y ventanas

El sensor inalámbrico tiene el fin de evitar abrir las puertas y ventanas de manera ilegal. Este dispositivo es colocado en las áreas principales de acceso anteriormente establecidas.

El sensor proporciona al sistema de seguridad una señal de alarma cuando la puerta o ventana se abre de forma ilegal. El usuario recibe la información de alarma por el terminal móvil inteligente para tomar las medidas oportunas, así se evita efectivamente cualquier posible pérdida o daño, observar la Figura 2.11.



Figura 2.11 Sensor ZigBee de puertas y ventanas.

2.5.6 Bloqueo de cajón inalámbrico

Ya que uno de los lugares más importantes y de mayor cuidado es la caja fuerte dentro del sistema implementado, el bloqueo de cajón inalámbrico nos proporciona la ayuda necesaria para tener el control de acceso a la misma.

Una vez que se abre el cajón de manera ilegal, la cerradura del cajón inalámbrico envía la señal de alarma a un teléfono móvil, mientras tanto, la información se guarda automáticamente en el registro del coordinador. Tiene una gran importancia para el rastreo de la fuente, el seguimiento de los eventos y así sucesivamente, observar la Figura 2.12.



Figura 2.12 Bloqueo de cajón inalámbrico ZigBee.

2.5.7 Transmisor infrarrojo inalámbrico

Para un mayor confort del usuarios es conveniente el poder controlar todos los dispositivos de mandos a distancia IR como TV, aire acondicionado, sistema electrónico de cortina, etc.

El transmisor IR nos permite controlar desde cualquier lugar de la vivienda mediante la Tablet PC, los diferentes artefactos eléctricos existentes como un control universal, como se indica en la Figura 2.13.



Figura 2.13 Transmisor infrarrojo inalámbrico ZigBee.

2.5.8 Sensor de gas inflamable

Uno de los mayores problemas que existe en los hogares es el de los incendios a causa del gas, para ello es necesario contar con un sensor de gas que detecte la concentración del gas inflamable en particular en el aire.

Para ello se elige el detector gas ZigBee que cuando la concentración alcanza el valor preestablecido, el detector envía la señal de alarma. Además, el detector está equipado con un sensor de temperatura en el interior para detectar la temperatura en el aire, cuando la temperatura supera los 65 °C, se enviará alerta.



Figura 2.14 Sensor de gas inflamable ZigBee.

2.5.9 Tablet PC

La interfaz gráfica de control se realiza en la Tablet PC de la Figura 2.15, para la elección adecuada se toma en cuenta que cumpla con algunas características básicas para que sea compatible con el resto de dispositivos utilizados en el proyecto como:

- Versión del sistema: Android 1.5 +.
- Capacidad de expansión de memoria SD card para almacenamiento de los registros del sistema domótico.
- Capacidad para conectividad Wi-fi o 3G.



Figura 2.15 Tablet PC.

2.6 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO

Una vez seleccionado los equipos a ser utilizados en la red ZigBee, se procede a implementar el sistema domótico para lo cual es necesario modificar el sistema eléctrico de toda la casa debido a la necesidad de alimentar con las dos fases algunos de los dispositivos empleados y cumplir con los requerimientos planteados:

- La instalación eléctrica de los interruptores como se indica en la Figura 2.16, se lo realiza en todas las habitaciones, baños y pasillos en donde exista la necesidad del control de iluminación,

para el encendido y apagado automático de luces, así como para la simulación de eventos de presencia y seguridad.

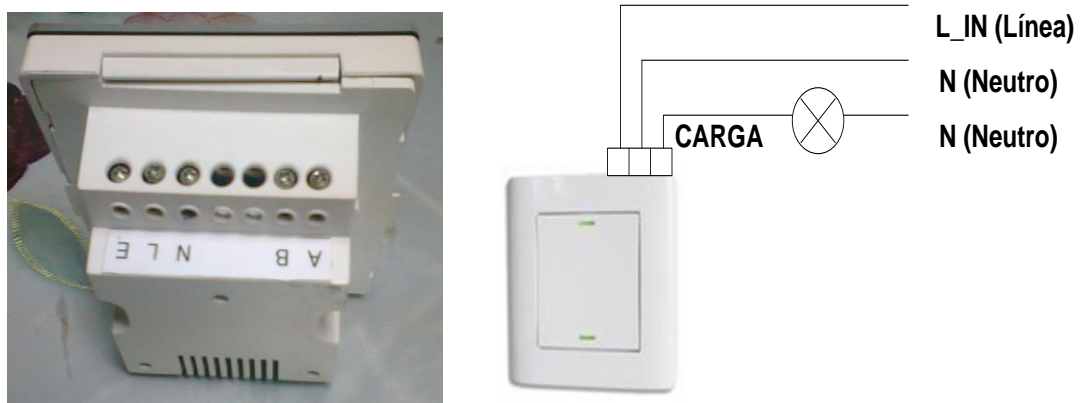


Figura 2.16 Diagrama de conexión de los interruptores.

- Los sensores para el control de luces y la implementación del sistema de seguridad se colocan en lugares estratégicos como en pasillos, puertas y ventanas de acceso al domicilio con el objetivo de abarcar la casa en su totalidad como en los Anexos A, B, C.
- El sistema de control de la red o coordinador se coloca en un lugar donde permita la señal ZigBee abarcar a todos los dispositivos del sistema, el lugar se elige de acuerdo a las características del gateway ZigBee tales como: el alcance del rango de comunicación (de 50 a 100 metros en interiores), la temperatura y humedad de trabajo; se coloca en el centro de la vivienda, es decir el pozo de luz de la primera planta como indica el Anexo B, cuya distancia al dispositivo más lejano es 20 m aproximadamente.
- Otro punto a tomar en cuenta es que como todos los interruptores se encuentran conectados en una red malla, como indica la figura 2.17, no existe problema de pérdida de conexión con el Gateway,

pues si uno de los interruptores se desconecta la red sigue funcionando normalmente.

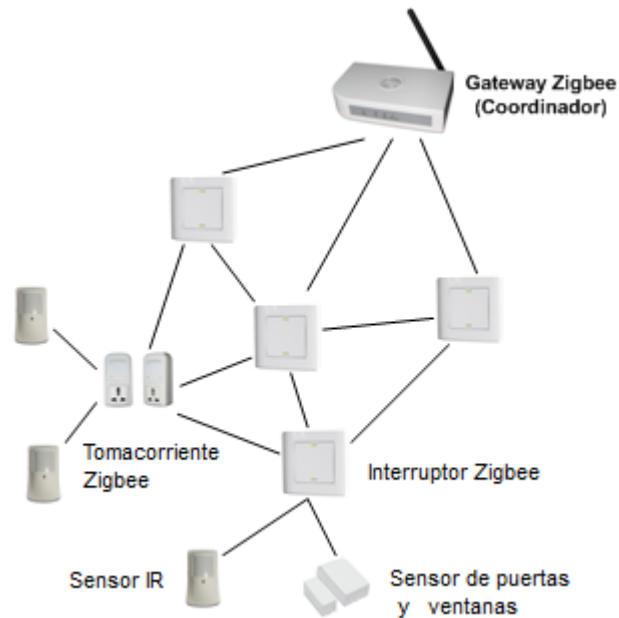


Figura 2.17. Red ZigBee con topología tipo malla.

- El Gateway se conecta mediante Ethernet al módulo de Internet para posteriormente tener el sistema de control en la tablet PC mediante una comunicación Wi-fi; es decir, de la tablet PC envía una señal de control por comunicación Wi-fi al módulo de Internet, este se comunica mediante el cable de red con el Gateway ZigBee, una vez recibida la orden el Gateway envía la señal de control ZigBee a los dispositivos y actuadores del sistema y viceversa como indica la Figura 2.18.

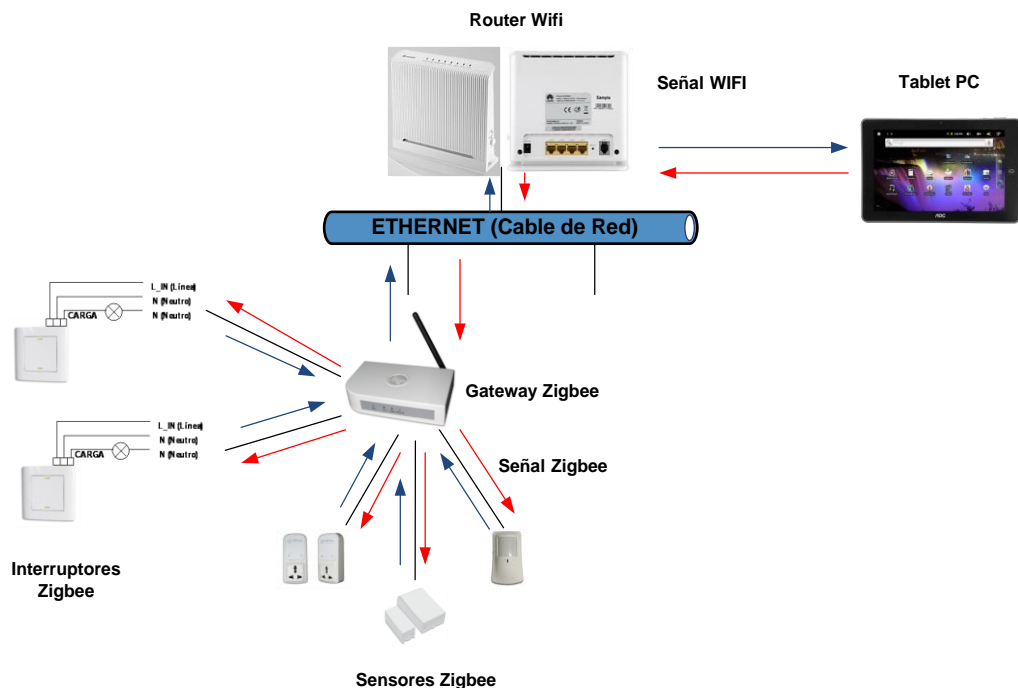


Figura 2.18 Diagrama de la red inalámbrica doméstica.

2.7 IMPLEMENTACIÓN DEL HMI

Para la implementación del HMI se utiliza el programa Smart Home, software desarrollado en la plataforma Android, exclusivamente para gestionar dispositivos ZigBee, desarrollado por la empresa OIT que se encarga de desarrollar dispositivos y equipos ZigBee y a diferencia de otras aplicaciones domésticas como: Creston Mobile Pro G, Smart Home Hacks entre otros, para tablet PC no tiene ningún costo.

El HMI consta de una interfaz gráfica muy amigable con el usuario, en la cual se tiene el control y la programación de todas las áreas, seguridad y escenas de la vivienda.

A continuación se explica el funcionamiento del entorno HMI que consta básicamente de 4 partes para su manejo y configuración que son:

- Ingreso de Contraseña
- Función de control
- Función de configuración
- Funciones extras

2.7.1 Ingreso de Contraseña

El ingreso de la cuenta y la contraseña proporciona la seguridad necesaria al usuario para el acceso al sistema de control domótico como se indica en la figura 2.19.

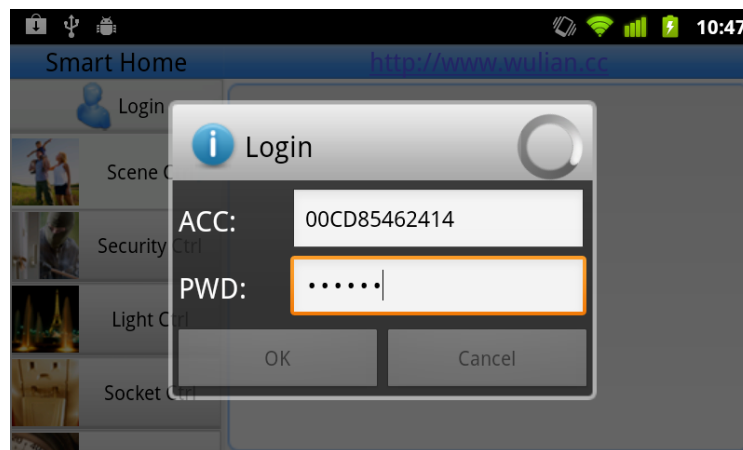


Figura 2.19 Interfaz del ingreso de contraseña.

2.7.2 Función de Control

En la función de control el usuario controla todo el sistema domótico previamente configurado, es decir es la interfaz principal que interactúa con el usuario directamente.

La función de control consta de 8 opciones de las cuales se explica en la tesis solo las 4 utilizadas, por lo que no queda limitada la oportunidad de extender el sistema domótico:

- Escena de control
- Control de seguridad
- Control de luz
- Control de tomacorrientes

a.- Escena de Control

Existe cuatro tipos de modo de escena como en la Figura 2.20: aire libre, casa, dormir y personalizar.

Además tiene la posibilidad de personalizar escenas para definir los asuntos detallados y dependiendo de la necesidad de cada escena.

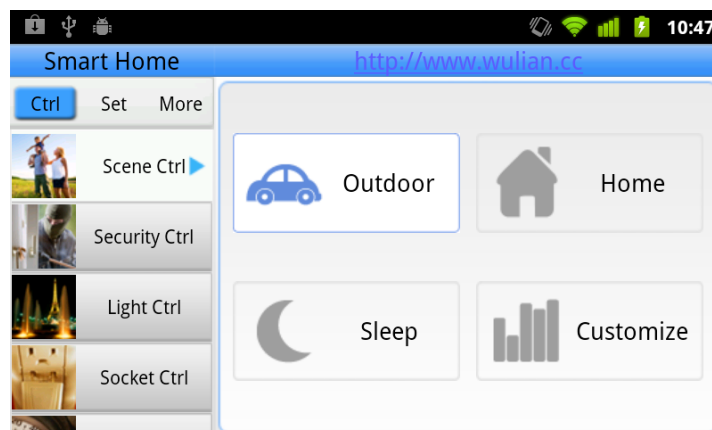


Figura 2.20 Interfaz: Escena de control.

b.- Control de seguridad

El estado de alarma (alarma y normal) y de defensa (activado o desactivado) de todos los dispositivos de seguridad de los sensores son observados y controlados desde la interfaz actual como se indica en la Figura 2.21.

Se puede activar o desactivar cualquiera de los sensores como: los infrarrojos, de puertas y ventanas, los de bloqueo de cajón, de detección de gas, etc, con un solo toque en la tablet PC.

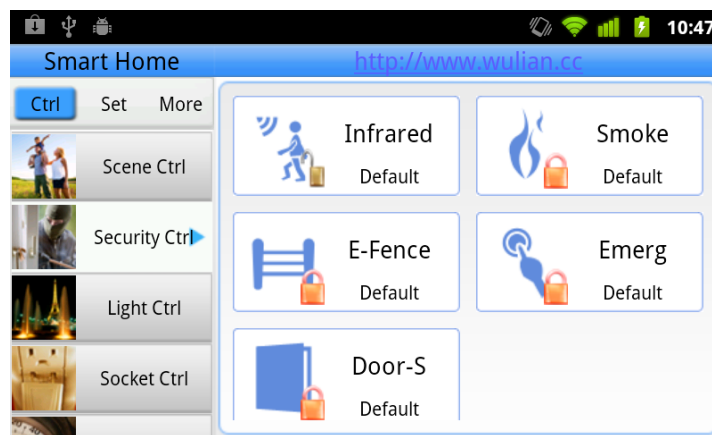


Figura 2.21 Interfaz: Control de seguridad.

c.- Control de Luz

Todos los reguladores e interruptores en cada área se visualizan si están activados o no y se controlan desde esta interfaz como se indica en la Figura 2.22.

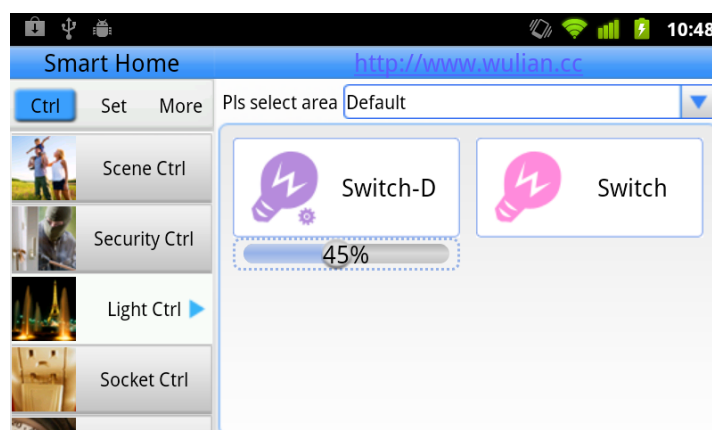


Figura 2.22. Interfaz: Control de luz.

d.- Control de Tomacorrientes

Todos los tomacorrientes son controlados y personalizados desde esta interfaz como se observa en la Figura 2.23, además que permite desconectar cualquier artefacto eléctrico que se encuentre conectado al tomacorriente ZigBee, permitiendo así la gestión de ahorro de energía .

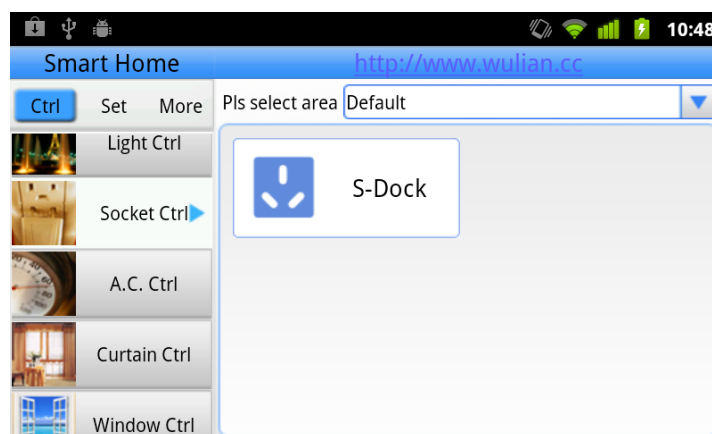


Figura 2.23 Interfaz: Control de tomacorrientes.

2.7.3 Configuración de Funciones

En esta opción (set) se configura el sistema y se otorga las características a los dispositivos, además de personalizar las escenas de acuerdo a las necesidades y conveniencias de la vivienda.

Esta función consta de 4 opciones:

- Configuración de sensores
- Configuración de escenas
- Configuración de áreas
- Configuración de cuentas

a.- Configuración de Sensores

El nombre o etiqueta de cada dispositivo y su área de pertenencia se establecen desde esta interfaz como en la Figura 2.24.

Se puede verificar todos los dispositivos ZigBee que se encuentran enlazados a la red y también aquellos que tuvieron algún conflicto de conexión.

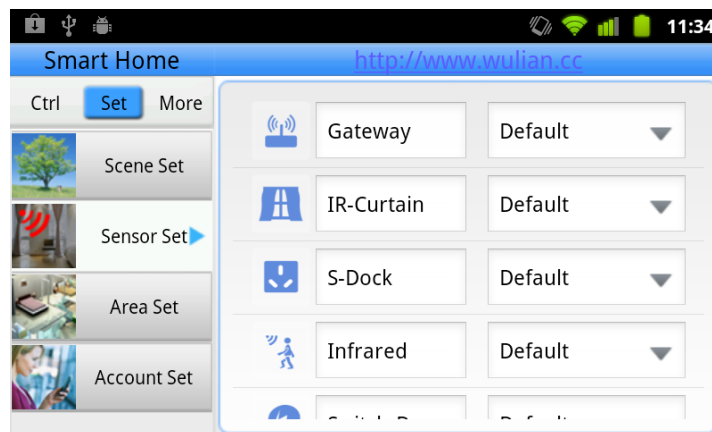


Figura 2.24 Interfaz: Configuración de sensores.

b.- Configuración de Escenas

Aquí es en donde opera el modo de funcionamiento de los dispositivos (sincronización, automatización, control de enlace) en cada modo de escena como en la Figura 2.25.

Las escenas son creadas de acuerdo a las necesidades como por ejemplo: se escoge un interruptor sobre el cual se quiere actuar y se puede programar la hora de encendido de apagado o si se desea que la alarma de un sensor active la luz o la desactive.

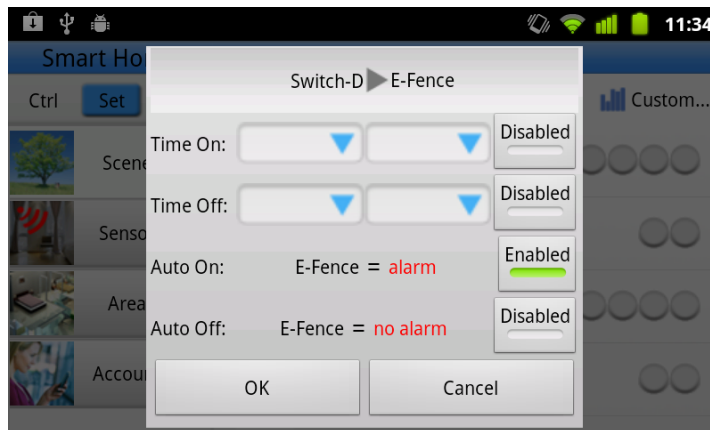


Figura 2.25. Interfaz: Configuración de escenas.

Para el HMI se creó distintas escenas que ayudan al confort y la seguridad del sistema, tanto con las simulaciones de presencia y las simulaciones rutinarias, como se muestra en la Figura 2.26.

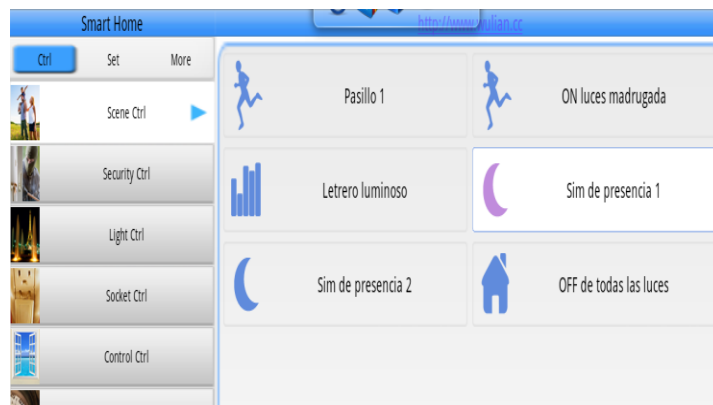


Figura 2.26. Interfaz: Eventos de simulación de presencia y rutinarios.

c.- Configuración de Áreas

Cada nombre de la zona o la adición de áreas personalizadas se establecen desde esta interfaz como en la Figura 2.27.

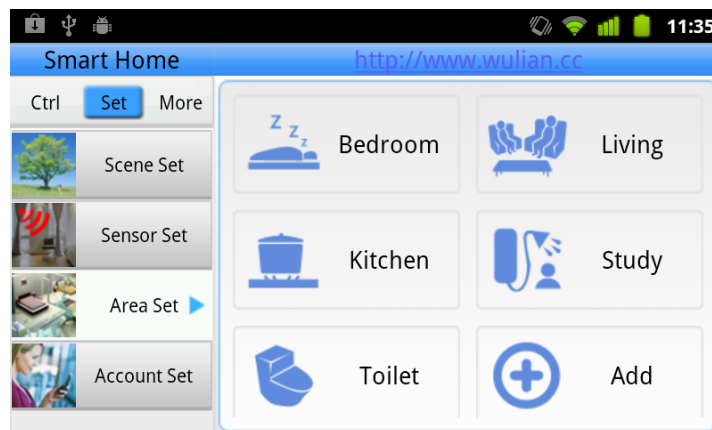


Figura 2.27. Interfaz: Configuración de áreas.

En este caso se creó 4 áreas para el control:

- Planta Baja
- Primer Piso
- Segundo Piso
- Local y trastienda

d.- Configuración de Cuentas

Esta opción permite modificar la cuenta y contraseña inicial como se observa en la figura 2.28; también tiene la capacidad de crear nuevas cuentas de usuario.

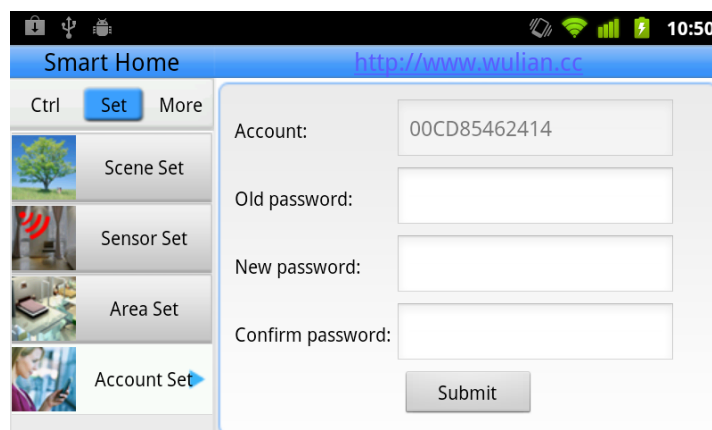


Figura 2.28. Interfaz: Configuración de cuentas.

2.7.4 Funciones Extras

- Clima
- Grabación de mensajes
- Sincronización de datos

a.- Clima

La información del pronóstico del tiempo local se puede observar desde esta opción como se indica en la Figura 2.29.

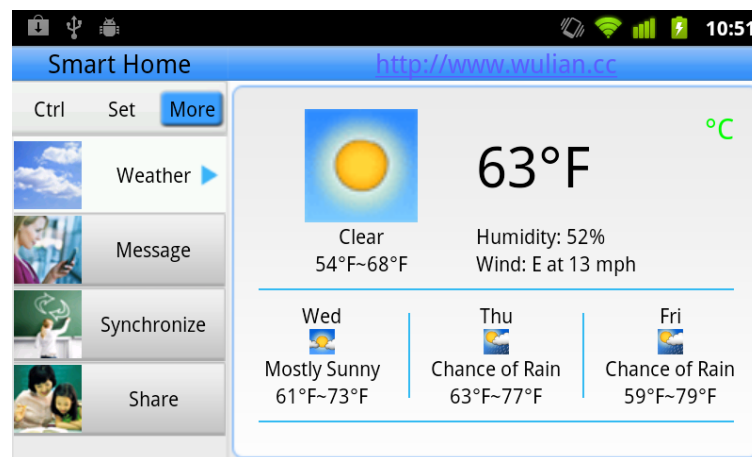


Figura 2.29. Interfaz: Clima.

b.- Grabación de Mensajes

Todas las alarmas ocurridas por vulneración de la seguridad se guardan en esta interfaz indicando fecha y hora de la alarma, además de la falla de algún dispositivo de la red ZigBee como se indica en la Figura 2.30.

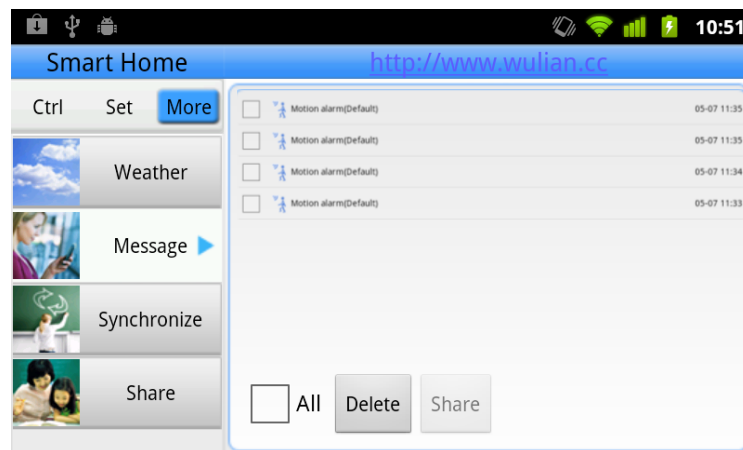


Figura 2.30. Interfaz: Grabación de mensajes.

c.- Sincronización de Datos

En esta opción la configuración de sensores, áreas y escenas se ajustan de manera sincronizada con el servidor local y con la Tablet PC como se indica en la Figura 2.31, esta opción es necesaria una vez puesto en funcionamiento el sistema domótico para no tener errores en la grabación de registros y en el horario de las simulaciones de seguridad y de rutina de los eventos.



Figura 2.31 Interfaz: Sincronización de datos.

CAPÍTULO 3

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES

El objetivo principal del proyecto es el diseño e implementación de un sistema domótico inalámbrico basado en el protocolo de redes de comunicación ZigBee y sistema de supervisión HMI para la seguridad y eficiencia de consumo energético en hogares ecuatorianos, de modo que permita a las personas vivir de una manera cómoda y confiable en la seguridad de su hogar.

Con la finalidad que este objetivo se cumpla se procede a realizar los siguientes escenarios de pruebas.

3.1.1 Pruebas de Conectividad

Primero se prueba la conexión entre el gateway ZigBee y el router HG520c, debido a que esta se realiza mediante el servidor DHCP y la dirección IP es asignada automáticamente las pruebas de conexión se las realiza a través de una computadora mediante líneas de comandos en DOS, para lo cual realizamos un ping al coordinador o gateway ZigBee a la dirección 218.94.143.222 para verificar que exista la conexión de red LAN como indica la Figura 3.1.

```
Microsoft Windows [Versión 6.0.6002]
Copyright (c) 2006 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\USUARIO>ping 218.94.143.222

Haciendo ping a 218.94.143.222 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 218.94.143.222: bytes=32 tiempo=322ms TTL=38
Respuesta desde 218.94.143.222: bytes=32 tiempo=324ms TTL=38
Respuesta desde 218.94.143.222: bytes=32 tiempo=324ms TTL=38
Respuesta desde 218.94.143.222: bytes=32 tiempo=324ms TTL=38

Estadísticas de ping para 218.94.143.222:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 322ms, Máximo = 324ms, Media = 323ms

C:\Users\USUARIO>
```

Figura 3.1 Conectividad entre la PC y el Gateway ZigBee

Otra forma de comprobar la conexión entre el Gateway ZigBee y la red LAN con el router HG520c es que los leds respectivos de cada dispositivos estén activados como indica la Figura 3.2 en donde los indicadores dentro del círculo rojo corresponden al indicador de red activado.



Figura 3.2 Leds indicadores de la conexión entre el Gateway ZigBee y el router HG520c.

Las conexiones a la red de los distintos interruptores y sensores ZigBee se realiza de forma individual con el Gateway ZigBee y las pruebas se ejecutan directamente con la tablet PC para comprobar su correcto funcionamiento y constatar que existe en la red, como ejemplo en la Figura 3.3 que muestra todos los dispositivos ZigBee que se encuentran enlazados a la red.

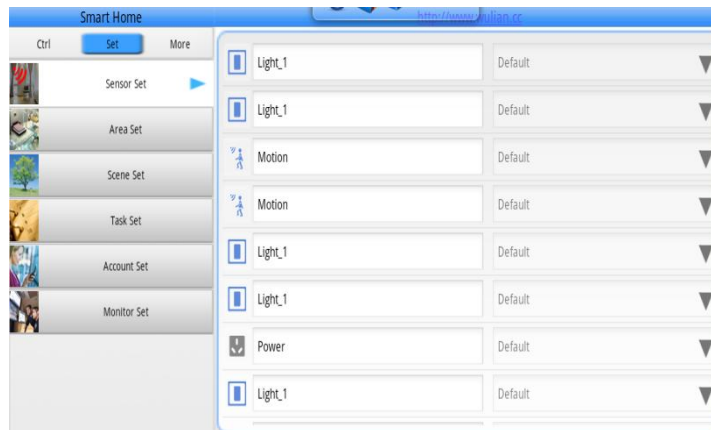


Figura 3.3 Conexión de los interruptores y sensores en la red ZigBee.

3.1.2 Pruebas de Funcionalidad

Para poner a prueba la funcionalidad del sistema domótico inalámbrico ZigBee, una vez comprobado la conectividad de la red y que todos los dispositivos y sensores funcionen correctamente, se pone en funcionamiento completo el sistema como indica la figura 3.4, de manera que es importante conocer el tiempo de respuesta de cada uno de los dispositivos.



Figura 3.4 Encendido y apagado de luces desde la tablet PC.

Para realizar las pruebas de tiempo de respuesta se utiliza el software wireshark que se lo descarga de manera gratuita, el programa es un captador/analizador de paquetes de red, además se realiza una prueba de la señal espectral del funcionamiento de la red ZigBee y wi-fi con ayuda del analizador de espectros wy-spy con el programa de software llamado chanalyzer pro.

a.- Tiempo de respuesta (Wireshark)

Wireshark posee una interfaz gráfica y muchas opciones de organización y filtrado de información. Así, permite ver todo el tráfico que pasa a través de una red (usualmente una red Ethernet, aunque es compatible con algunas otras). A continuación en la figura 3.5 muestra un ejemplo de la captura de la gestión de la red, en donde se observa lo que ocurre cuando se activa y desactiva un interruptor.

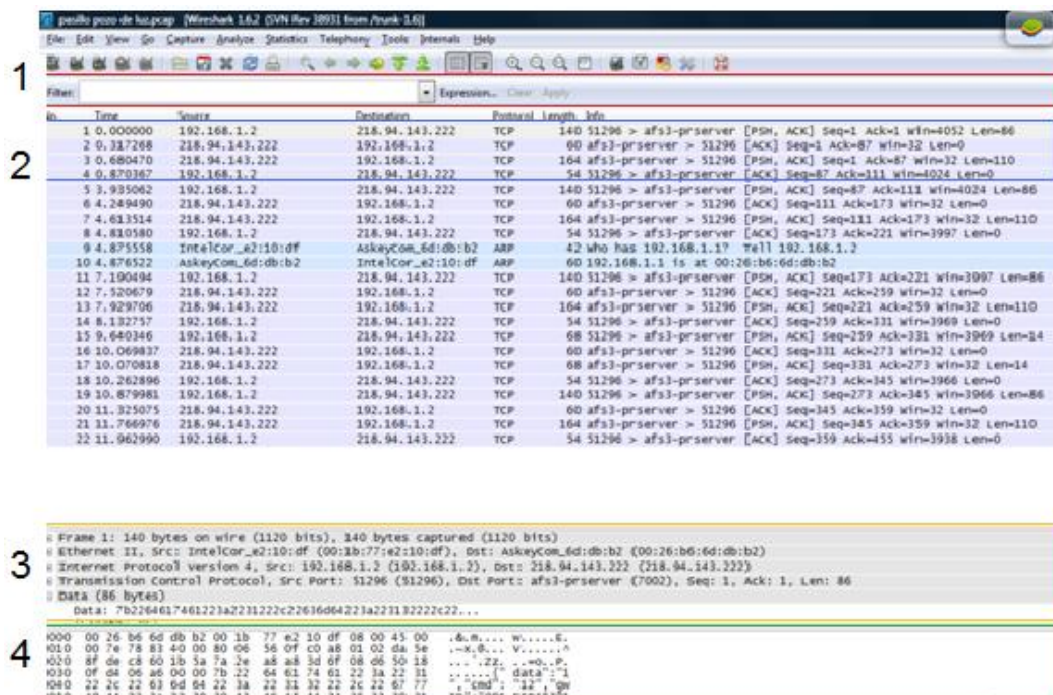


Figura 3.5. Interfaz del programa Wireshark.

La zona 1 es el área de definición de filtros y permite definir patrones de búsqueda para visualizar aquellos paquetes o protocolos de interés.

La zona 2 corresponde a la lista de visualización de todos los paquetes que se capturan en tiempo real al momento de enviar la orden de encendido o apagado hacia un interruptor.

La zona 3 permite desglosar por capas cada una de las cabeceras de los paquetes seleccionados en la zona 2 y facilita moverse por cada uno de los campos de las mismas.

La zona 4 representa, en formato hexadecimal, el paquete en bruto, es decir, tal y como fue capturado por nuestra tarjeta de red.

Wireshark implementa una amplia gama de filtros que facilitan la definición de criterios de búsqueda para los más de 1100 protocolos soportados actualmente; y todo ello por medio de una interfaz sencilla e intuitiva que permite desglosar por capas cada uno de los paquetes capturados. Gracias a que wireshark “entiende” la estructura de los protocolos, se puede visualizar los campos de cada una de las cabeceras y capas que componen los paquetes monitorizados, proporciona un gran abanico de posibilidades al administrador de redes a la hora de abordar ciertas tareas en el análisis de tráfico.

- **Análisis**

A continuación en la tabla se observa los datos obtenidos en el análisis de captura del tiempo de respuesta de los interruptores y sensores de la vivienda.

Tabla 3.1. Tiempo de respuesta de los interruptores ZigBee.

	Ubicación	Especificación	Tiempo de respuesta (seg)
TIENDA Y TRASTIENDA	Área 2	Iluminación rotulo	0,922036
	Área 3	Local	0,902023
	Área 4	Trastienda	0,867526
PLANTA BAJA	Área 7	Baño 1	0,870478
	Área 6	Cocina y comedor	0,872209
	Área 9	Iluminación Patio	0,897258
	Área 5	Pasillo 1 (cocina)	0,871035
	Área 5	Pasillo 1 (pozo de luz)	0,895503
	Área 9	Oficina	1,008032
PRIMER PISO	Área 10	Sala	0,902382
	Área 11	Sala ventana	0,996359
	Área 14	Baño 3 (sala)	1,000044
	Área 15	Habitación 1	0,900429
	Área 15	Habitación 2	0,874620
	Área 14	Baño 2 (cuartos)	0,889798
	Área 13	Pasillo 2 (cuartos)	0,907139
	Área 13	Pasillo 2 (pozo de luz)	0,870367
	Área 13	Pasillo 2 (sala)	0,893919
SEGUNDO PISO	Área 16	Habitación Máster	0,891337
	Área 18	Habitación 3	0,998440
	Área 18	Habitación 4	0,884081
	Área 20	Baño 4 (cuartos)	0,976592
	Área 20	Baño 5 (cuarto máster)	0,879862
	Área 19	Pasillo 3 (cuartos)	0,872107
	Área 19	Pasillo 3 (escaleras)	0,872227
	Área 22	Terraza	0,881238

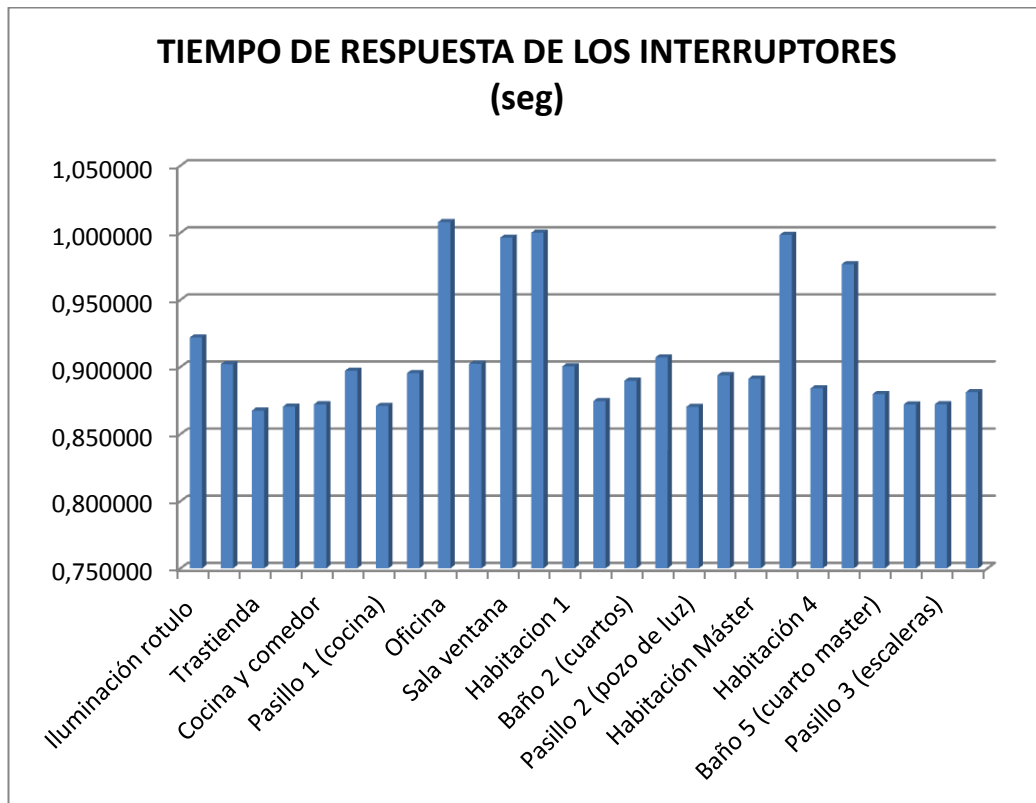


Figura 3.6. Análisis del tiempo de respuesta de los interruptores.

La figura 3.6 muestra el tiempo de respuesta de los interruptores, siendo los interruptores ubicados en las áreas 9-11-14-18-20 los de un mayor tiempo en su respuesta, la diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,140506 segundos, esto se debe a la distancia en que están ubicados y los obstáculos como paredes y muebles que se encuentran en la línea de vista entre los dispositivos ZigBee y el gateway ZigBee.

Se observa que las paredes influyen en el tiempo de respuesta, pues luego de analizar los interruptores que están ubicados a una misma distancia, como es el caso de los interruptores del Primer Piso, el de la habitación 2 que tiene línea de vista directa con el Gateway tiene un tiempo de 0,874620 y el interruptor del pasillo 2 (cuartos) que se encuentra obstaculizado por una pared es de 0,907139, se constata que existe una diferencia clara al momento de responder al control.

Tabla 3.2. Tiempo de respuesta de los sensores ZigBee.

	Ubicación	Especificación	Tiempo de respuesta (seg)
TIENDA Y TRASTIENDA	Área 1	Sens. puert/venta (puerta local)	0,199213
	Área 3	Sens. IR (local)	0,198243
PLANTA BAJA	Área 5	Sens. IR (pasillo 1)	0,195888
	Área 6	Sensor Detect. Gas (cocina)	0,195734
	Área 8	Sens. puert/venta (puerta al patio)	0,196312
PRIMER PISO	Área 11	Sens. puert/venta (ventana sala)	0,194357
	Área 13	Sens. IR (pasillo 2)	0,192069
SEGUNDO PISO	Área 17	Sens. Bloq. de cajón (caja fuerte)	0,195687
	Área 19	Sens. IR (pasillo 3)	0,195062
	Área 22	Sens. puert/venta (puerta terraza)	0,193654

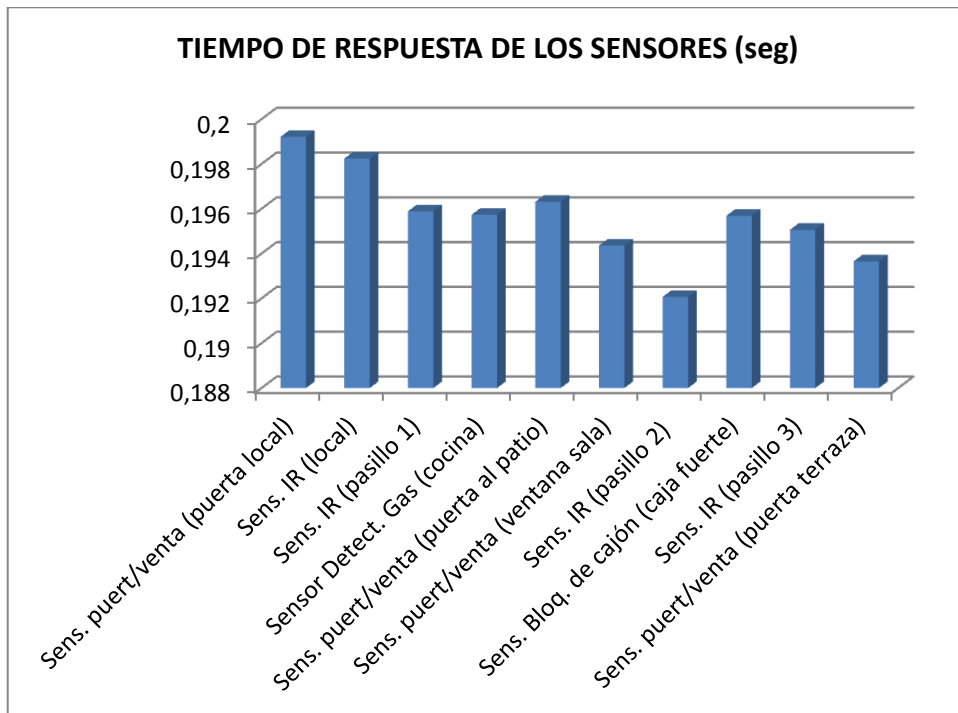


Figura 3.7. Análisis del tiempo de respuesta de los sensores.

La figura 3.7 muestra el tiempo de respuesta de los diferentes sensores; en las áreas 1-3 (local) se encuentran ubicados los sensores con mayor tiempo de respuesta, la diferencia entre el valor más alto y el más bajo es de 0,007144 segundos.

b.- Analizador de espectros (WI – SPY)

El analizador de espectros consta de dos partes: la primera del hardware que es una antena denominada wi-spy como se observa la figura 3.8 y la segunda del software llamado chanalyzer pro.



Figura 3.8. Analizador de espectros wi-spy.

El software chanalyzer ofrece una visión clara de lo que pasa en el aire en forma de gráficos de todo tipo y permite compararlos con muestras incluidas de señales como teléfonos DECT, hornos microondas, señales 802.11, ZigBee, etc.

Algunas de las ventanas permiten visualizar:

Vista espectral.- Contiene una cascada de gráficos, muestra la amplitud en el tiempo para cada frecuencia, como indica la figura 3.9.

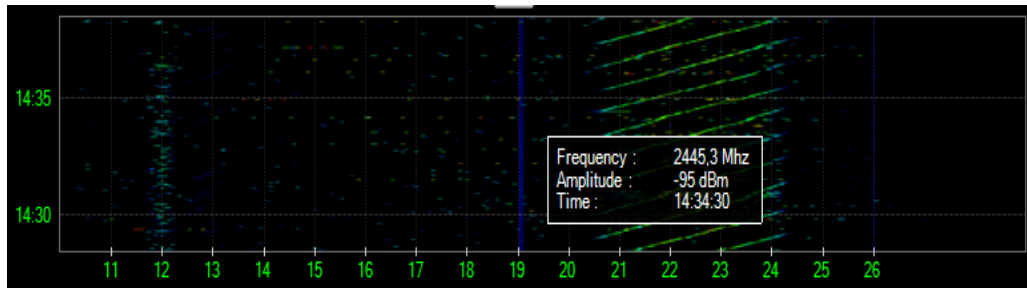


Figura 3.9. Vista espectral del software chanalyzer.

Vista planar.- Esta vista muestra una gráfica de amplitud vs la frecuencia en el plano, como indica la figura 3.10.



Figura 3.10. Vista planar del software chanalyzer.

Panel de información.- Muestra un análisis de todos los canales, amplitud, utilidad, grados entre otros, como indica la figura 3.11.

Channel	Grade	Utilization	Average	Current	Max	Noise Floor	Access Points
4	98.9	0.0%	-102.5	-103	-93.0	-104.0	0
5	100.0	0.0%	-102.5	-102	-93.5	-104.0	0
6	100.0	0.0%	-102.0	-102	-94.0	-103.5	0
7	100.0	0.0%	-102.0	-102	-95.0	-103.5	0
8	99.9	0.0%	-93.0	-101	-71.5	-104.0	0
9	99.4	0.2%	-89.0	-102	-75.0	-103.5	0
9	98.5	0.7%	-85.0	-94	-66.0	-103.5	0
10	98.5	0.8%	-84.5	-103	-65.5	-103.5	0
10	97.7	1.1%	-82.5	-94	-62.5	-103.5	0
10	97.6	1.1%	-82.5	-94	-63.5	-103.5	0
11	97.2	1.2%	-82.0	-94	-63.5	-103.5	0
1	96.7	0.1%	-80.0	-102	-60.0	-104.0	0
1	96.8	0.1%	-80.0	-101	-60.0	-104.0	0

Figura 3.11. Panel de información del software chanalyzer.

Análisis

La figura 3.12 muestra lo que ocurre cuando se encuentra en funcionamiento el sistema domótico con la red ZigBee y wi-fi funcionando conjuntamente.

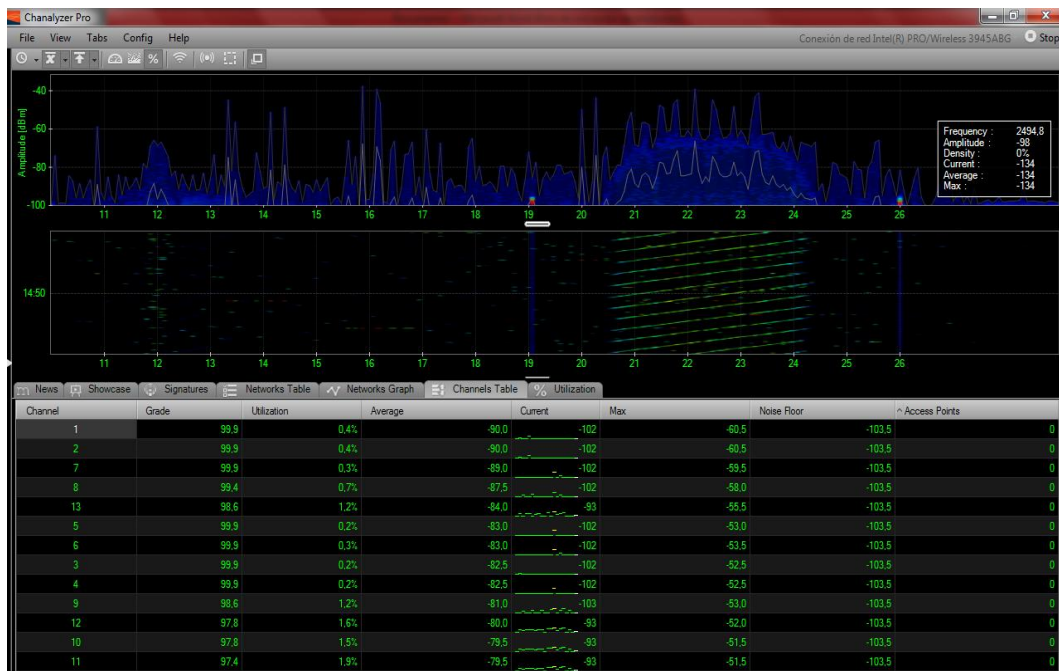


Figura 3.12. Vista espectral, planar y panel de información de la red de comunicación domótica.

Como se puede observar en la figura 3.12 el sistema domótico inalámbrico ocupa la banda entre 2,4 Ghz y 2,483 Ghz, donde el mayor tráfico de concentración corresponde a la banda ocupada por wi-fi que también corresponde al punto de acceso a internet, que es entre 2,44 Ghz y 2,47 Ghz .

También se observa los canales que ocupa el sistema incluido la información "grado" que es una medida de la tranquilidad del canal, esta medida es más alta mientras más silencioso se encuentra el canal.

3.2 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

El costo total del proyecto se lo realiza en base a los equipos y dispositivos ocupados, así como la modificación del sistema eléctrico y la mano de obra para la adaptación de los interruptores ZigBee en la construcción de la vivienda.

3.2.1 Equipos Activos y Sensores

Tabla 3.3. Costos Equipos Activos y Sensores.

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unit	P. Total
Wireless Gateway Zigbee	1	Uni	142	142
Wireless Wall Switch (1 way)	25	Uni	47	1175
Wireless Wall Switch (2 way)	5	Uni	58	290
Wireless Wall Switch (3 way)	2	Uni	67	134
Wireless IR Motion Detector	5	Uni	45	225
Wireless IR Transmitter	2	Uni	40	80
Wireless smart Socket	5	Uni	65	325
Wireless Door Magnetic Sensor	5	Uni	38	190
Wireless Flam Gas Detector	1	Uni	50	50
Wireless Drawer Lock	1	Uni	35	35
Tablet PC	1	Uni	230	230
TOTAL				2876

3.2.2 Mano de Obra

Tabla 3.4. Costos Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unit	P. Total
Albañil	-----	-----	80	80
Apertura ventana	1	Uni	15	15
Mueble de vidrio	1	Uni	15	15
Placas de los interruptores	30	Uni	1,5	45
Otros	-----	-----	50	50
TOTAL				205

3.2.3 Gastos Varios

Tabla 3.5. Costos Gastos Varios

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unit	P. Total
Cable de red	1	Uni	5	5
Rollo cable solido #12	80	Mtrs	0,9	72
Canaleta plástica	1	Uni	0,8	0,8
TOTAL				77,8

3.2.4 Costo Total

Tabla 3.6. Costo Tota

Descripción	P. Total
EQUIPOS ACTIVOS Y SENSORES	2876
MANO DE OBRA	205
GASTOS VARIOS	77,8
TOTAL	3158,8

3.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Para un mejor entendimiento se realiza un análisis acerca de los alcances y limitaciones que tiene el sistema domótico inalámbrico ZigBee.

3.3.1 Alcances

El sistema domótico inalámbrico ZigBee es capaz de controlar una vivienda que ofrece confort, seguridad y ahorro de energía de manera automática a través de una interfaz gráfica por medio de una tablet PC.

El confort se obtiene por medio de escenas rutinarias que el usuario establece de acuerdo a sus necesidades y tiene un alcance de hasta 8 escenas configurables.

La seguridad del sistema se obtiene a través de los diferentes sensores instalados en lugares específicos y de escenas con simulación de presencia, ya sean activados de manera rutinaria o por la activación de un sensor que lleve como consecuencia la activación de una alarma o la simulación de un evento.

El ahorro de energía se lleva a cabo a través de los interruptores y tomacorrientes inteligentes que activa y desactiva luces y aparatos eléctricos de la casa.

El alcance de la señal de control ZigBee a través del Gateway es de 50 a 100 metros en interiores y el router HG520c que proporciona la señal wi-fi para el control desde el HMI de la misma manera.

El número de dispositivos ZigBee que se puede enlazar es de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos como es el concepto básico del protocolo ZigBee.

El HMI es muy amigable y permite establecer áreas, escenas y eventos programables y con la facilidad de etiquetar los dispositivos de acuerdo al entendimiento personalizado del usuario.

El software de control del HMI se puede instalar en cualquier dispositivo que conste de un sistema operativo android, ya sea este, computador, tablet PC o celular.

3.3.2 Limitaciones

Gran parte del sistema domótico depende de la alimentación de la red eléctrica para su propia alimentación, por lo que en caso de una falla eléctrica el sistema queda obsoleto y sin funcionar.

La calidad y el rango de comunicación de los diferentes dispositivos ZigBee dependen mucho del tipo de construcción y el número de obstáculos que se presenten hasta llegar a él.

La señal de control del HMI depende tanto del router HG520c como la calidad de comunicación de la tablet PC o cualquier otro dispositivo electrónico.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Al finalizar el proyecto se logro cumplir con el objetivo general trazado que fue el diseñar e implementar un sistema domótico inalámbrico basado en el protocolo de redes de comunicación ZigBee y sistema de supervisión HMI para la seguridad y eficiencia de consumo energético en hogares ecuatorianos.
- El sistema de red inalámbrico tanto la comunicación ZigBee para la gestión de los diferentes dispositivos y sensores, como la comunicación wi-fi para el HMI y la utilización del internet funciona correctamente sin ningún tipo de interferencia.
- El Gateway ZigBee es la parte principal del sistema domótico pues gestiona y coordina el tráfico de los diferentes dispositivos de la red, se decidió que la ubicación adecuada de acuerdo a las características sería en el centro de la vivienda, que es el pozo de luz en el primer piso.
- El software Smart Home aparte de poseer la característica del control grafico de dispositivos ZigBee, es un programa de entorno amigable, de fácil manipulación y gratuito lo que le hace adecuado para el sistema domótico.
- La red malla que forman los interruptores ZigBee es muy útil y confiable pues un error en un nodo, no implica la caída de toda la red, es decir, la red puede funcionar, incluso cuando un nodo desaparece o la conexión falla, ya que el resto de los nodos evitan el paso por ese punto.
- El sistema eléctrico de la vivienda tuvo que ser modificado para la instalación de los interruptores ZigBee, pues necesitan ser alimentados con las dos líneas para su funcionamiento normal de

la red malla lo que no sucedió con algunos de los sensores que utilizan baterías independientes y su funcionamiento es como end device (dispositivo final).

- El tiempo de respuesta de los diferentes interruptores y sensores ZigBee varía dependiendo la distancia y los obstáculos que se interpongan hasta llegar al coordinador inalámbrico.
- El tiempo de respuesta también depende del número de nodos y el camino que tome hasta llegar al dispositivo ZigBee dentro de la red inalámbrica malla que forman los diferentes dispositivos ZigBee.

4.2 RECOMENDACIONES

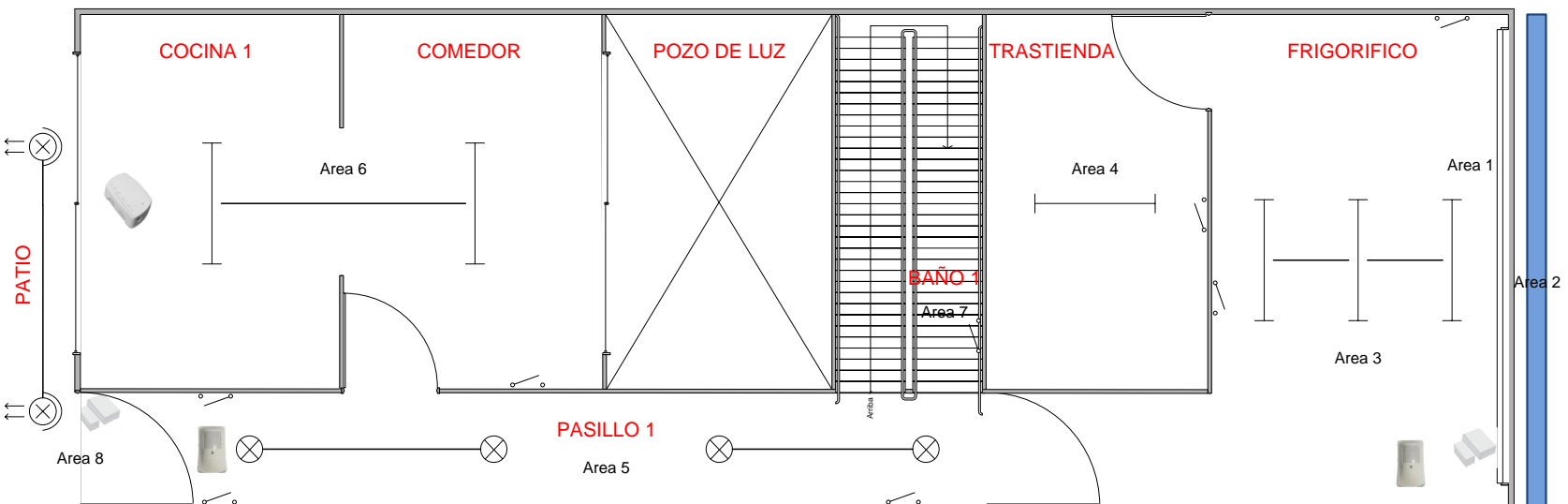
- Al momento de seleccionar la table PC para el HMI, se recomienda tomar en cuenta las características del wireless inalámbrico para evitar pérdidas de la señal wi-fi en algunos puntos de la vivienda.
- Una vez puesto en funcionamiento el sistema domótico inalámbrico es necesario sincronizar todos los dispositivos de la red ZigBee con la del entorno gráfico HMI, ya que puede existir errores en los horarios de ocurrencia de simulaciones de eventos de seguridad y rutinarios, así como los datos de almacenamiento de registros.
- Se recomienda realizar mantenimiento preventivo cada año del sistema domótico tanto de los dispositivos ZigBee como del router HG520c, para garantizar su correcto funcionamiento luego de la instalación. El mantenimiento consta de limpieza de los sensores y verificación de las baterías, sincronización y chequeo del funcionamiento global.
- Para la selección de los elementos a utilizarse se debe realizar un análisis minucioso de la arquitectura y las necesidades de la vivienda previa al diseño del sistema domótico, para no tener problemas de instalación en la fase de implementación.
- Tomar en cuenta que para la implementación de un sistema domótico existen otros dispositivos y equipos más baratos que los









elegidos en esta tesis, debido a la necesidad de la realización con el protocolo ZigBee.

- Es recomendable utilizar el analizador de tráfico de redes wireshark, que aparte de ser gratuito, permite conocer lo que sucede en la red y solucionar problemas que se puedan presentar en la red.

ANEXOS

A



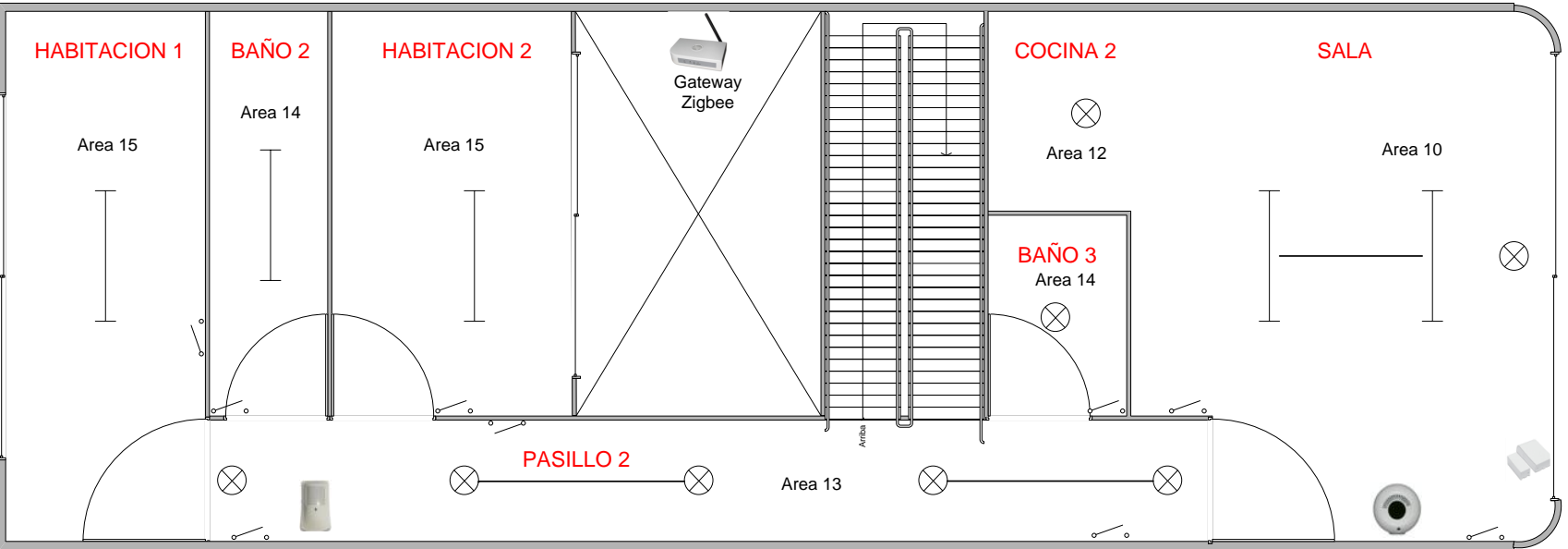
SIMBOLOGIA DE DISPOSITIVOS ZIGBEE	
SIMBOLO	DEFINICION
	Gateway Zigbee
	Interruptor Zigbee
	Sensor Infrarrojo
	Tomacorriente
	Sensor de puerta/ventana
	Sensor bloqueo de cajón
	Sensor Detector de Gas
	Transmisor IR

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

ESPEL

Plano de distribución de sensores y actuadores ubicados en la planta baja

Araque Mena Carla Gissela
Sánchez Jácome Cristian Danilo



CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

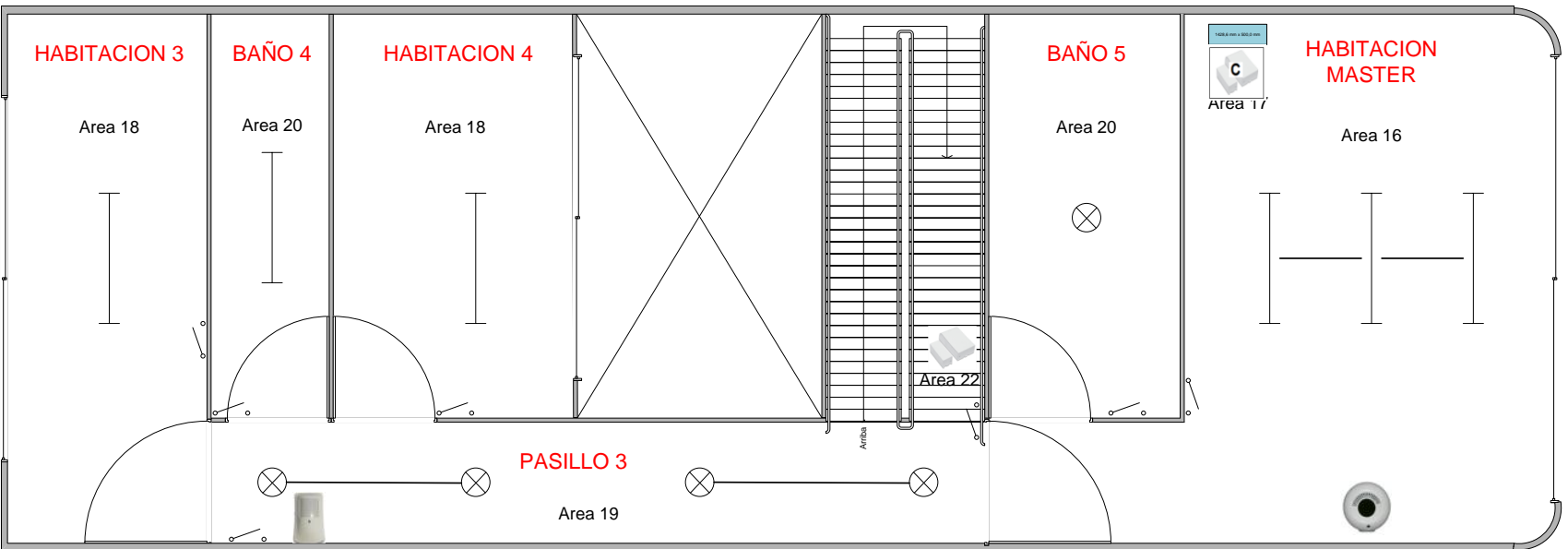
ESPEL

Plano de distribución de sensores y actuadores ubicados en el primer piso

Araque Mena Carla Gissela
 Sánchez Jácome Cristian Danilo

Plano de distribución de sensores y actuadores ubicados en el segundo piso

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN



ESPEL

Araque Mena Carla Gissela
Sánchez Jácome Cristian Danilo

BIBLIOGRAFÍA

CASA, Miguel; RODRÍGUEZ, Antonio; BIEL, Francisco; LÓPEZ, Manuel; LAPEÑA, Javier Esteban: Instalaciones singulares en viviendas y edificios, 2012, Barcelona, Editorial Marcombo.

MARTÍN, Hugo; SÁEZ, Fernando: Domótica: Un enfoque sociotécnico, primera edición, 2006, Madrid, Editorial Fundación Rogelio Segovia.

MORENO, José; RODRÍGUEZ, Elías: Instalaciones automatizadas en viviendas y edificios: equipos e instalaciones electrotécnicas, 1998, España, Editorial Paraninfo.

RODRÍGUEZ, Antonio; CASA, Miguel: Instalaciones domóticas, primera edición, 2010, Barcelona, Editorial Marcombo.

ROMERO, Cristóbal; VÁSQUEZ, Francisco; DE CASTRO, Carlos: Domótica e Inmótica: viviendas y edificios inteligentes, segunda edición, 2007, México, Editorial Alfaomega.

SEBASTIAN, José Maria; GONZÁLEZ, Pedro: Instalaciones eléctricas interiores, 2012, España, Editorial Marcombo.

Alberto Gascón “ZIGBEE Y EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4” [Documento PDF]

http://www.dea.icaei.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Alberto_Ga%20sc%C3%B3n_Zigbee%20y%20el%20Est%C3%A1ndar%20IEEE%20802.15.4.pdf

Carlos Estrada “PROYECTO FINAL ZIGBEE” [Documento PDF].
<http://es.scribd.com/doc/81538205/2/TIPOS-DE-TRAFICO-SOPORTADO-POR-ZIGBEE-4>

CASADOMO “Arquitecturas domóticas” [Documento html].

<http://blog.espol.edu.ec/pmilan/2011/08/29/topologia-de-redes/>

“Domótica e Inmótica” [Documento html].

<http://es.scribd.com/doc/72493151/Reporte-de-investigacion-DOMOTICA>

“El Estándar ZigBee” [Documento PDF].

<http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/206/4/Capitulo%203.pdf>

INFOTRONICA “Domótica” [Documento html].

<http://www.infotronica.estudio3.com.ar/info.php>

AUTORÍA

Latacunga, Septiembre de 2012.

ELABORADO POR:

Carla Araque M.

Cristian Sánchez J.

APROBADO POR:

Ing. Eddie Galarza.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICADO POR:

Dr. Rodrigo Vaca.
SECRETARIO ACADÉMICO