

**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Tesis previa a la Obtención del  
Título de Ingeniero Electrónico

**TÍTULO:**

**“MANUAL PARA LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ZIGBEE PARA  
EDIFICIOS INTELIGENTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”**

**AUTORES:**

**MARÍA AUGUSTA LOYOLA PINOS  
PAÚL ALFONSO BECERRA DELGADO**

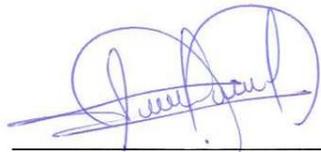
**DIRECTOR:**

**ING. DIEGO CHACÓN TROYA, Mdhd.**

**CUENCA – ECUADOR**

**2015**

Los conceptos, análisis y conclusiones desarrollados en el presente trabajo, son de completa responsabilidad de los autores.



Ma. Augusta Loyola Pinos

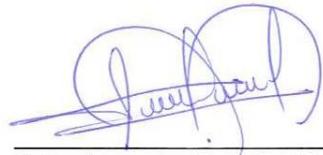


Paúl Becerra Delgado

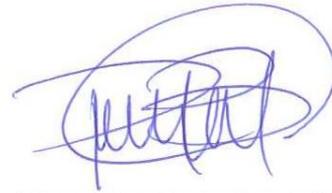
## DECLARACIÓN

Nosotros, María Augusta Loyola Pinos y Paúl Alfonso Becerra Delgado, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Ma. Augusta Loyola Pinos



Paúl Becerra Delgado

## CERTIFICACION

Certifico que el trabajo “MANUAL PARA LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ZIGBEE PARA EDIFICIOS INTELIGENTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”. Realizado por María Augusta Loyola Pinos y Paúl Alfonso Becerra Delgado, fue desarrollado bajo mi supervisión.



---

Ing. Diego Chacón Troya, Mdhd.

## **DEDICATORIA**

Dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis a personas muy especiales que siempre han estado a mi lado.

A mis padres, quienes son los pilares fundamentales en mi vida, y me apoyaron de forma incondicional, a mis hermanos por estar siempre presentes y demostrarme su cariño. Gracias a ustedes he logrado concluir mi carrera y a construir la persona que ahora soy.

**Ma. Augusta**

Este proyecto lo quiero dedicar especialmente a mis padres, por ser pilares fundamentales en mi formación académica y humana ya que gracias a ellos se ha cumplido una meta anhelada. A mis hermanos por tenerme siempre como referente y demostrarles que con sacrificio y de dedicación se pueden lograr muchos objetivos.

También quiero dedicar de manera simbólica a dos mujeres referentes en mi vida, Isabel D. (+) y Jesús M. (+), quienes con sus cuidados y enseñanzas forjaron un camino para la consecución de esta meta.

**Paul B.**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer a Dios que me ha bendecido y dado la sabiduría para superar los obstáculos que se han presentado a lo largo de mi carrera. A mis padres y hermanos, por ser parte importante en mi vida, gracias por su apoyo incondicional y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación; por confiar y creer en mí ya que sin su ayuda no hubiese sido posible cumplir este objetivo.

Al Ing. Diego Chacón, director de tesis por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de este trabajo. A mis amigos, familiares y a todas las personas que han contribuido al desarrollo de mi tesis, Gracias.

Gracias por su ayuda y cariño.

**Ma. Augusta**

Quiero dar mis sinceros agradecimientos, primero a mis padres por estar siempre presentes en los momentos en que más los necesitaba y nunca dudaron de la obtención de este objetivo personal, también agradezco a mis hermanos que siempre formaron un pilar fundamental en mi formación. Agradezco a las personas que están presentes en mi diario vivir amigos y compañeros que gracias a ellos se ha forjado estos ideales.

También expreso mis agradecimientos de manera especial al Ing. Diego Chacón que de forma desinteresada nos brindó todos sus conocimientos para el desarrollo de este proyecto. Gracias también a todas las personas que conforman La Universidad Politécnica Salesiana, por todos los conocimientos impartidos y se esmeran en formar excelentes profesionales.

**Paul B.**

## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1.....	2
1. TECNOLOGÍA ZIGBEE.....	2
1.1 INTRODUCCION .....	2
1.2 DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL NOMBRE ZIGBEE .....	2
1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	5
1.4 DISPOSITIVOS DE UNA RED ZIGBEE .....	7
1.4.1 COORDINADOR ZIGBEE .....	7
1.4.2 ROUTER ZIGBEE.....	7
1.4.3 DISPOSITIVO FINAL.....	7
1.5 TOPOLOGÍA DE LA RED.....	9
1.5.1 TOPOLOGÍA EN ESTRELLA.....	9
1.5.2 TOPOLOGÍA EN ARBOL .....	10
1.5.3 TOPOLOGÍA EN MALLA.....	10
1.6 ARQUITECTURA .....	11
1.6.1 DEFINIDO POR IEEE 802.15.4.....	12
1.6.1.1 Capa Física (Phy) .....	12
1.6.1.2 Capa De Control De Acceso Al Medio (Mac) .....	16
1.6.2 DEFINIDO POR ALIANZA ZIGBEE .....	22
1.6.2.1 Capa de Red (NWK) .....	22
1.6.2.2 Capa De Aplicación (APL) .....	25
1.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	27
CAPÍTULO 2.....	29
2. COMUNICACIÓN INALAMBRICA.....	29
2.1 ESTANDAR 802.15 .....	29
2.2 REDES INALÁMBRICAS .....	29
2.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES .....	29
2.2.2 TIPOS DE REDES .....	30
2.2.3.1 Redes De Área Personal Inalámbrica (WPAN) .....	31
2.2.3.2 Redes De Área Local Inalámbrica (WLAN).....	31
2.2.3.3 Redes De Área Metropolitana Inalámbrica (WMAN).....	33

2.2.3.4	Redes De Área Extendida Inalámbrica (WIDE AREA).....	33
2.2.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	34
2.3	REDES DE AREA PERSONAL INALAMBRICA (WPAN) .....	35
2.3.1	GRUPOS DE TRABAJO .....	36
2.3.1.1	Grupo De Trabajo 802.15.1 .....	36
2.3.1.2	Grupo De Trabajo 802.15.2.....	37
2.3.1.3	Grupo De Trabajo 802.15.3.....	37
2.3.1.4	Grupo De Trabajo 802.15.4.....	37
2.3.2	CLASIFICACION DE LAS REDES WPAN .....	37
2.3.2.1	WPAN De Tasa Alta De Transferencia De Datos .....	38
2.3.2.2	WPAN De Tasa Media De Transferencia De Datos .....	39
2.3.2.3	WPAN De Tasa Baja De Transferencia De Datos .....	40
2.3.3	APLICACIONES DE LAS WPAN's.....	41
2.4	ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTRAS TECNOLOGÍAS WPAN. ....	42
2.4.1	ANÁLISIS COMPARATIVO .....	43
2.4.2	CUADRO COMPARATIVO.....	49
CAPÍTULO 3.....		53
3.	ESTANDAR ZIGBEE PARA EDIFICIOS INTELIGENTES .....	53
3.1	EDIFICIOS INTELIGENTES .....	53
3.1.1	DEFINICIÓN .....	53
3.1.2	INFRAESTRUCTURA.....	54
3.1.2.1	Aspecto Funcional.....	54
3.1.2.2	Aspecto Estructural .....	56
3.1.3	COMPONENTES .....	57
3.1.3.1	Controlador.....	57
3.1.3.2	Sensor .....	57
3.1.3.3	Actuador .....	57
3.1.4	ARQUITECTURA .....	57
3.1.4.1	Arquitectura Centralizada.....	57
3.1.4.2	Arquitectura Distribuida.....	58
3.1.4.3	Arquitectura Mixta O Híbrida .....	58
3.1.5	GRADOS DE INTELIGENCIA .....	59
3.1.5.1	Grado De Inteligencia Mínimo (Grado 1).....	59

3.1.5.2	Grado De Inteligencia Medio (Grado 2) .....	59
3.1.5.3	Grado De Inteligencia Máximo (Grado 3) .....	59
3.2	TECNOLOGIAS PARA CONFORT .....	59
3.2.1	METODOS PARA CONTROL DE ILUMINACIÓN.....	59
3.2.1.1	Regulación Y Control Manual .....	61
3.2.1.2	Regulación Y Control Autónomo.....	63
3.2.2	METODOS PARA CONTROL DE CLIMATIZACIÓN .....	68
3.2.2.1	Control Térmico por Zona.....	69
3.2.2.2	Control Por Hora O Temporizados .....	70
3.3	GESTION DE CONTADORES INTELIGENTES.....	74
3.3.1	PERFIL “ZIGBEE SMART ENERGY” .....	75
3.3.1.1	Tipos de Dispositivos ZigBee Smart Energy .....	76
3.3.2	SISTEMA DE MEDICIÓN AVANZADA AMI.....	77
3.3.2.1	Medidores inteligentes .....	78
CAPÍTULO 4.	.....	81
4.1	CONCLUSIONES .....	81
4.2	RECOMENDACIONES.....	83
Bibliografía	.....	86
Anexos	.....	89

## Índice de Figuras

Figura 1. 1: Promotores de ZigBee Alliance [2].....	3
Figura 1. 2: Participantes de ZigBee Alliance [2].....	4
Figura 1. 3: Tipos de Dispositivos según el papel que desempeña.....	8
Figura 1. 4: Tipos de Dispositivos según su funcionalidad. ....	9
Figura 1. 5: Topología en estrella .....	9
Figura 1. 6: Topología en árbol.....	10
Figura 1. 7: Topología en malla .....	11
Figura 1. 8: Capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee [7] .....	11
Figura 1. 9: Canales de Frecuencias usadas por IEEE 802.15.4-2003 [9].....	15
Figura 1. 10: Tipos de paquetes básicos de ZigBee [10] .....	18
Figura 1. 11: Capa de Aplicación [7].....	25
Figura 2. 1: Redes Inalámbricas.....	30
Figura 2. 2: Clasificación de Redes Inalámbricas .....	30
Figura 2. 3: Redes de Área Personal Inalámbrica .....	31
Figura 2. 4: Redes de Área Local Inalámbrica [14].....	32
Figura 2. 5: Redes de Área Extendida Inalámbrica [14].....	34
Figura 2. 6: Interconexión de Dispositivos. ....	40
Figura 2. 7: Logotipo de la tecnología Bluetooth [4].....	43
Figura 2. 8: Logotipo de la tecnología Z-Wave [18] .....	45
Figura 2. 9: Logotipo de la tecnología EnOcean [19].....	47
Figura 3. 1: Arquitectura Centralizada.....	57
Figura 3. 2: Arquitectura Distribuida .....	58
Figura 3. 3: Arquitectura Mixta o Híbrida .....	58
Figura 3. 4: Control Manual de luminarias desde diferentes dispositivos .....	61
Figura 3. 5: Control Automático de luminarias desde diferentes dispositivos. ....	63
Figura 3. 6: Control del sistema HVAC.....	71
Figura 3. 7: LGATE- 950 [24] .....	72
Figura 3. 8: Esquema de conexión con Gateway BlueBox [25] .....	73
Figura 3. 9: Coordinador/Gateway ZigBee y Modbus [26] .....	74
Figura 3. 10: Estructura del Sistema AMI .....	75
Figura 3. 11: Esquema de Gestión de medidores inteligentes [28].....	78

## Índice de Tablas

Tabla 1. 1: Capa Física IEEE 802.15.4-2003 [9] .....	13
Tabla 1. 2: Capa Física IEEE 802.15.4-2006 [9] .....	13
Tabla 1. 3: Formato general de la trama MAC [4].....	19
Tabla 1. 4: Formato general de la trama de comandos [4].....	20
Tabla 1. 5: Tipos de Comando [11] .....	20
Tabla 1. 6: Formato general de la trama de ACK [4].....	21
Tabla 1. 7: Formato general de la trama Beacon [4].....	21
Tabla 1. 8: Formato general de la trama Red [7] .....	24
Tabla 1. 9: Formato general de la trama de la capa de aplicación [7].....	26
Tabla 2. 1: Clasificación de las redes inalámbricas .....	34
Tabla 2. 2: Grupos de trabajo WPAN .....	37
Tabla 2. 3: Cuadro comparativo .....	49

# GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACL	Asynchronous Connection less
AES 128	Advance Encryption Estándar
AMI	Advanced Metering Infrastructure
APL	Application Layer
APS	Application Support Layer
ASK	Amplitud-Shift keying
BPSK	Binary Phase-Shift keying
CCA	Clear Channel Assessment
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ED	Energy Detection
FCS	Frame Check Sequence
FFD	Full Function Device
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System Mobile Communications
HomeRF	Home Radio Frecuency
HiperLAN2	High Performance Radio LAN 2.0
HVAC	Heating_Ventilation_Air- Conditioning
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IHD	In-Home Display
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific & Medical
LOS	Line Of Sight
LQI	Link Quality Indication
LLC	Logical Link Control
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
LR-WPAN	LowRate – Wireless Personal Area Network
MAC	Medium Access Alayer
MIT	Instituto Tecnológico de Massachusetts
MPDU	MAC Protocol Data Unit
MSDU	MAC Service Data Unit
NWK	Network Layer
O-QPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying
PAN ID	Personal Area Network Identiiifier
POS	Personal Operating Space
PHY	Physical Layer
PLC	Power Line Communication
RF	Radio Frecuency
QoS	Quiality of Service
RFD	Reduced Function Device
SIG	Special Interest Group
SCO	Synchronous Connection Oriented
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UWB	Ultra Wideband
WIFI	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metrpolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
WiMAX	World wide Interoperability for Microwave Access
WSP	Wireless Short Packet
ZC	ZigBee Coordinator
ZDO	ZigBee Device Object
ZR	ZigBee Router
ZED	ZigBee End Device
2G	Segunda Generacion

# INTRODUCCIÓN

Los inicios de ZigBee se dieron en el año de 1998, gracias a la investigación de un grupo de empresas importantes como: Motorola, Mitsubishi, Ember y Honeywell. Esta agrupación se denominó Alianza ZigBee (Actualmente cuenta con un número aproximado de 370 empresas), la cual se encargó del desarrollo de la tecnología inalámbrica para redes de Área Personal denominada LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network), en Mayo del 2003 se concluyó la investigación y a finales del 2004 se ratificó como el estándar IEEE 802.15.4.

El estándar IEEE 802.15.4 se encarga de los niveles inferiores en la pila de protocolos y ZigBee ofrece una solución completa construyendo los niveles superiores que el estándar no cubre. Entre sus principales características tenemos la baja tasa de transmisión de datos, el reducido consumo de batería y la capacidad de formar redes amplias.

La creciente evolución del campo Domótico e Inmótico nos impulsan desarrollar redes de comunicaciones con dispositivos versátiles, eficientes y con mínimos consumos de energía, estas características las engloban los dispositivos de las redes Inalámbricas ZigBee. Gracias a esta constante evolución se ha podido integrar diversos campos tecnológicos como la arquitectura, la construcción, la automatización y las comunicaciones, para poder obtener construcciones capaces de brindar a sus ocupantes bienestar y confort, características principales de los edificios inteligentes.

Las ciudades con visión en el futuro están innovando en la construcción de edificios inteligentes, convirtiéndose en edificios automatizados en donde se garantiza el confort de sus ocupantes, aplicado a la iluminación, climatización y consumo energético inteligente y controlado, por lo que este documento propone ciertas pautas para la correcta implementación de la tecnología inalámbrica ZigBee en edificaciones de la Ciudad de Cuenca debido al rápido crecimiento que esta ciudad presenta en construcciones verticales y a ciertas características que se presentan en los edificios como: diseño con criterio de una ciudad compacta, respeto e integración de áreas verdes y ubicación de acuerdo a las zonas climáticas y sísmicas.

# **CAPÍTULO 1.**

## **1. TECNOLOGÍA ZIGBEE**

### **1.1 INTRODUCCION**

La tecnología ZigBee basa su funcionamiento en el estándar IEEE 802.15.4, el cual involucra la capa física y la de control de acceso al medio para redes inalámbricas de área personal con bajas tasa de transferencia de información, por lo que esta tecnología es la más apropiada para aplicaciones en donde se requiere ciertos niveles de automatización para edificios.

La alianza ZigBee es una asociación abierta y sin ánimo de lucro con un aproximado de 370 miembros encargados en desarrollar estándares innovadores, confiables y fáciles de usar para dispositivos de la red ZigBee. La Alianza promueve la adopción mundial de ZigBee como el estándar para los sistemas de sensores y controles de redes inalámbricas que son usados en zonas de consumo, comerciales e industriales.

En este capítulo se tratara información necesaria para el desarrollo del tema de investigación, en donde se estudiará: la tecnología ZigBee, su origen, los dispositivos que conforman la red, los tipos de topologías, la arquitectura del protocolo y las ventajas y desventajas que esta tecnología nos presenta para la automatización de edificios.

### **1.2 DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL NOMBRE ZIGBEE**

#### **Definición:**

El estándar de comunicaciones ZigBee se lo puede definir como un protocolo de comunicaciones inalámbrico normalizado para redes de área personal (WPAN), basado en el estándar IEEE 802.15.4.

El objetivo principal del estándar es establecer la comunicación inalámbrica entre dispositivos electrónicos de bajo consumo, importantes en las redes de sensores en medios industriales, médicos y principalmente domóticos e inmóticos.

El estándar ZigBee fue desarrollado por ZigBee Alliance cuya organización cuenta con más de 200 empresas vinculadas a la fabricación de semiconductores, entre las más representativas podemos anotar a: Mitsubishi, Motorola, Philips, Honeywell, Invens y entre otras. [1]

La Alianza cuenta con tres niveles de membresía: Promotor, participante y adoptante. [2]

- **Promotores:** El grupo de promotores es el nivel más influyente en la participación de la Alianza. Estos miembros tienen representación en el Consejo de Administración y derechos de voto en la toma de decisiones dentro de de la organización.

Entre los promotores más importantes tenemos:



*Figura 1. 1: Promotores de ZigBee Alliance [2]*

- **Participantes:** En el grupo de participantes los miembros tienen derecho a voto, desempeñan un papel activo en la evolución del desarrollo de la tecnología ZigBee y reciben acceso anticipado a las especificaciones y normas para el desarrollo de productos. Entre ellos tenemos:



Figura 1. 2: Participantes de ZigBee Alliance [2]

- **Los Adoptantes:** Los miembros de esta categoría reciben acceso a las especificaciones y estándares completos de ZigBee.

### Origen del nombre ZigBee

El origen de la palabra ZigBee se debe a la forma de comunicación que emplea este sistema, el cual es muy semejante al movimiento en Zig-Zag utilizado por las abejas en su comunicación.

La técnica que las abejas utilizan para comunicar una nueva fuente de alimento es un sistema silencioso pero poderoso de comunicación. Las abejas al realizar el movimiento Zig-Zag comparten información relacionada con la dirección, distancia y situación en la que se encuentra el alimento descubierto con los demás miembros de la colonia. Es por ello que la supervivencia y futuro de la colonia dependen de la comunicación continua entre cada miembro. [3][4]

La tecnología ZigBee emula esta coordinación en la comunicación y la función que cumplen distintos dispositivos en la red para poder actuar en conjunto y resolver tareas más complejas.

Etimológicamente ZigBee proviene de dos palabras:

- Zig: por la forma que utilizan las abejas para comunicarse entre ellas, y
- Bee: Abeja

### 1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES

ZigBee se basa en el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4 que define el hardware y software de las capas física (Phy) y de acceso al medio (MAC).

A continuación presentamos las principales características: [1][5]}

- **Bandas de operación.-** El estándar funciona en las frecuencias de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos), estas bandas son consideradas como bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical).
- **Método de acceso.-** ZigBee plantea el acceso de canal mediante CSMA/CA (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones) el cual chequea la disponibilidad del canal antes de transmitir y así evitar colisiones con otros transmisores.
- **Protocolos.-** Esta tecnología al tener varios fabricantes de dispositivos funciona con un protocolo asíncrono, halfduplex y estandarizado, permitiendo a todos los fabricantes trabajar juntos.
- **Anchos de Banda.-** La velocidad de transferencia de datos es de 250 kbps para la banda de 2.4 GHz, de 40 kbps para la banda de 915 MHz y 20 kbps para la banda de 868 MHz.  
Estas velocidades de transferencia definen una de las principales características de la tecnología ya que es utilizada para aplicaciones que no requieran alta transmisión de datos.
- **Área de cobertura.-** El rango de cobertura que tienen los dispositivos ZigBee es de 10 a 100 metros, aunque algunos fabricantes también especifican distancias de 1,6 km.
- **Coexistencia.-** A pesar que ZigBee comparte la misma frecuencia con otro tipo de redes como Bluetooth o WiFi, su desempeño no se ve afectado ya que tiene bajas tasas de transferencias de datos.

- **Capacidad de operación.-** La tecnología ZigBee brinda la capacidad de operar redes de gran densidad, logrando tener un mayor número de nodos dentro de la red y a su vez un mayor número de rutas alternas garantizando que un paquete llegue a su destino final.
- **Confiabilidad.-** Es un protocolo en donde se garantiza la fiabilidad de la comunicación ya que, la red se organiza y se repara de forma automática, los paquetes se rutean de manera dinámica garantizando así un mejor soporte para las redes más grandes, ofreciendo más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.
- **Identificadores.-** Cada red ZigBee tiene un identificador único de red (PAN ID), que permite que existan varias redes en un mismo canal de comunicación sin tener problema.
- **Número de Dispositivos.-** Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65536 dispositivos distribuidos en subredes de 256 nodos.
- **Comunicación.-** Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, puede mantener comunicación entre dos nodos aun cuando estos no se encuentran en la misma área de cobertura, esto se logra siempre y cuando entre estos dos nodos existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta forma se incrementa el área de cobertura de la red.
- **Seguridad.-** Es un protocolo seguro ya que tiene la posibilidad de implementar encriptación y autenticación en su comunicación.
- **Consumo de Energía.-** Las redes ZigBee mantienen sus nodos la mayor parte del tiempo con el transceiver ZigBee en modo de reposo, con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas.

- **Aplicaciones.-** El protocolo ZigBee ocupa el vacío que hay por debajo de Bluetooth, para comunicaciones de datos de baja velocidad y es ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar el cableado de sensores, actuadores y coordinadores.

## **1.4 DISPOSITIVOS DE UNA RED ZIGBEE**

Los dispositivos en una red ZigBee de acuerdo al papel que desempeña son de 3 tipos: [1][6]

### ***1.4.1 COORDINADOR ZIGBEE***

Este es el dispositivo más completo e indispensable que debe existir en una red ZigBee. El Coordinador es el responsable de establecer un PAN ID (Identificador de red) y el canal de comunicación para toda la red, una vez que el coordinador establece estos parámetros puede formar una red, permitiendo unirse a esta, routers y dispositivos finales.

### ***1.4.2 ROUTER ZIGBEE***

Es el encargado de la comunicación entre dispositivos que se encuentran fuera del área de cobertura en la topología de red. El router es un nodo encargado en crear y mantener la información sobre la red, además de determinar la mejor ruta entre dos dispositivos cuando quieren comunicarse.

### ***1.4.3 DISPOSITIVO FINAL***

Este dispositivo tiene una característica especial ya que solo puede comunicarse con un nodo coordinador o un nodo router, pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos finales.

Los dispositivos finales son los nodos que menos consumen energía ya que la mayor parte del tiempo permanecen en modo dormido y solo se activan cuando son requeridos en sus funciones específicas.

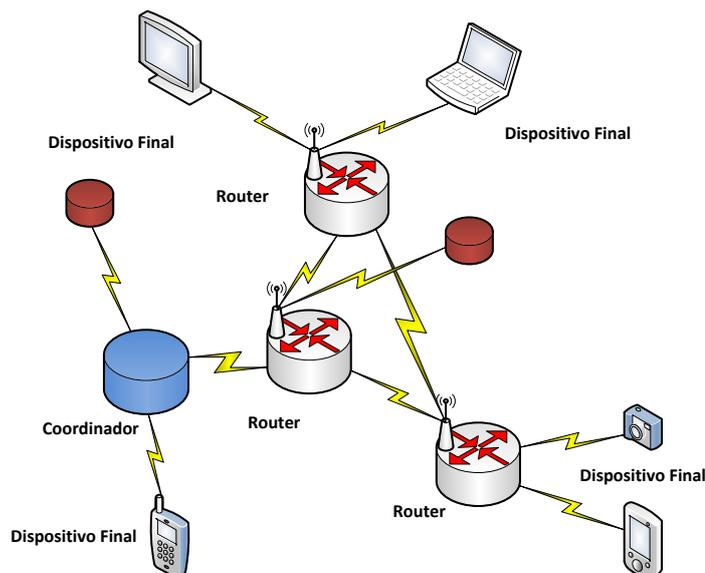


Figura 1. 3: Tipos de Dispositivos según el papel que desempeña.

De acuerdo a la funcionalidad se puede realizar una segunda clasificación [7]

- **Dispositivos Con Funciones Completas (FFD)**

Son Dispositivos que pueden funcionar como Coordinador o router, ya que se encuentra equipado con más memoria y capacidad computacional, permitiendo así cumplir con la tarea de enrutar paquetes.

Los Dispositivos con Funciones Completas pueden implementarse en cualquier tipo de topología, ya que puede comunicarse con otros FFD o RFD.

- **Dispositivos Con Funciones Reducidas (RFD)**

Es un dispositivo con carente capacidad de almacenamiento y procesamiento por lo que sus aplicaciones son sencillas y no necesitan enviar o recibir grandes cantidades de datos.

Tienen una fácil instalación y de costo reducido, debido a su poca complejidad tienen un reducido consumo de energía. Este dispositivo puede implementarse solo en la topología estrella, ya que solo pueden comunicarse con un FFD, que será el encargado de gestionar sus peticiones.

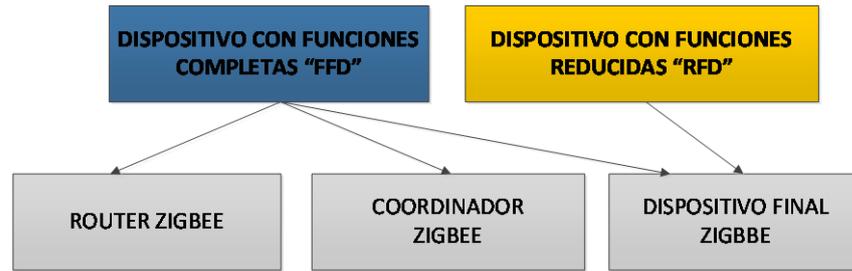


Figura 1. 4: Tipos de Dispositivos según su funcionalidad.

## 1.5 TOPOLOGÍA DE LA RED

Existen tres tipos de topologías: las cuales se describen a continuación:

### 1.5.1 TOPOLOGÍA EN ESTRELLA

En esta topología se configura con un solo coordinador de red, este dispositivo necesariamente debe ser de funciones completas, y con varios dispositivos de funciones reducidas, a su vez pueden existir varios dispositivos de funciones completas pero deben ser configurados para que actúen como un RFD. [1]

En este caso el coordinador tiene la función de comunicar a todos los dispositivos de la red, mediante tablas de direccionamiento directo, cuál es el destino de un paquete.

Cuando el Coordinador inicia la configuración de la red se establece un PAN ID que no esté siendo usado por un coordinador cercano, esto permite que cada red de configuración en estrella trabaje de forma independiente con respecto a otras redes que se encuentren en su rango de cobertura.

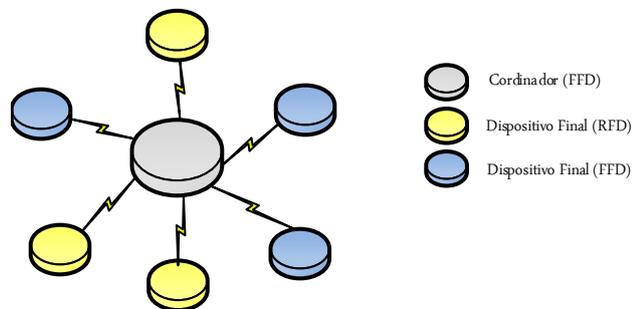


Figura 1. 5: Topología en estrella

### 1.5.2 TOPOLOGÍA EN ARBOL

Esta topología de red está conformada por varias sub redes y donde el coordinador se encarga de formar el primer cluster. Cuando un dispositivo final se dispone a transmitir información, sus mensajes son procesados por el coordinador o por un router intermedio y de acuerdo a la ubicación del destinatario en la topología de la red se enrutarán los paquetes. [5]

Los routers desempeñan dos funciones:

1. Aumentar el número de nodos que se pueden asociar a la red.
2. Extender el área de cobertura de la red.

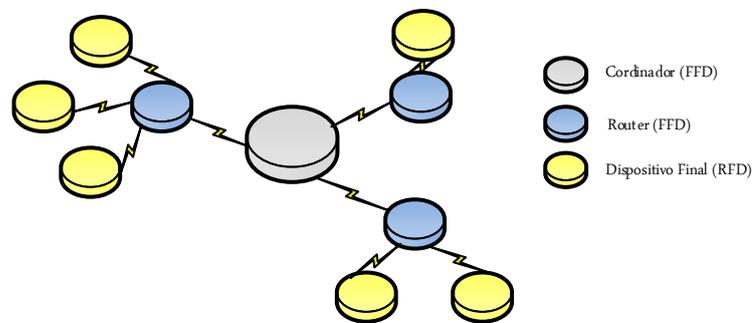


Figura 1. 6: Topología en árbol

### 1.5.3 TOPOLOGÍA EN MALLA

Está conformado por varias subredes, en la que al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones. Con esta configuración se garantiza que si en un momento un nodo que se encuentra en la ruta de un enlace falla, se puedan reorganizar las rutas y se mantenga la comunicación entre todos los dispositivos. [8]

Esta topología es muy similar a la topología árbol, con la diferencia que los dispositivos de función completa pueden comunicarse directamente entre sí.

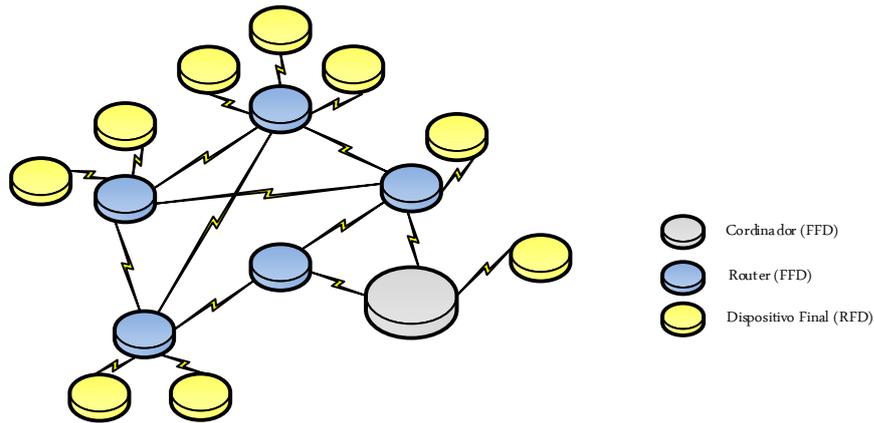


Figura 1. 7: Topología en malla

## 1.6 ARQUITECTURA

El estándar ZigBee está compuesto por una pila de protocolos o un conjunto de bloques llamados Capas, independiente la una de las otras. Cada capa realiza una función específica para la capa que se encuentra en el nivel superior.

Los estándares 802.15.4 y ZigBee se complementan proporcionando una pila de protocolos como la que se muestra a continuación:

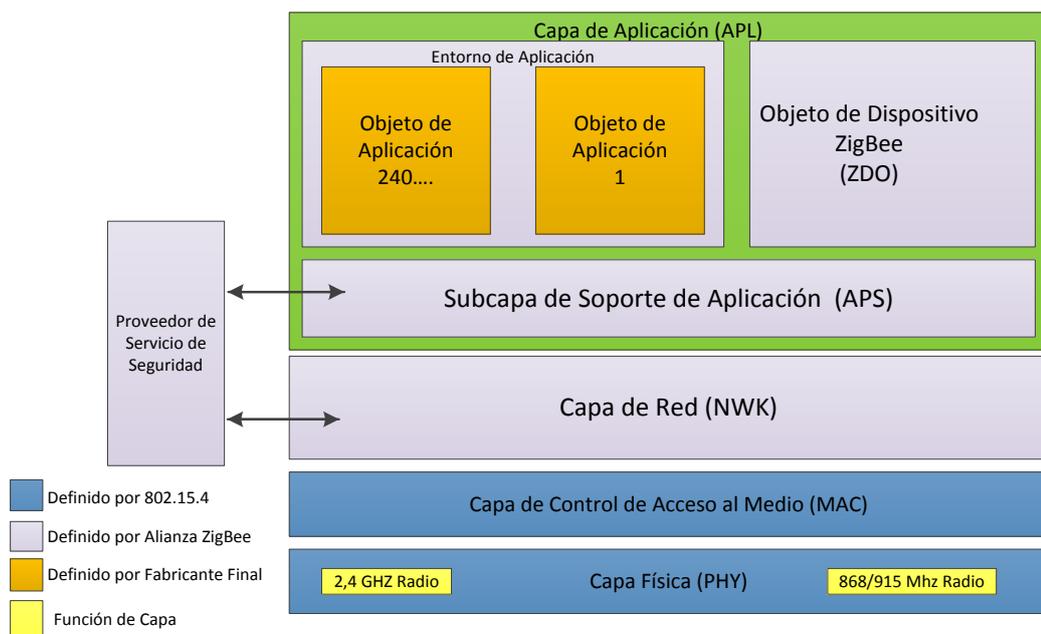


Figura 1. 8: Capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee [7]

El estándar 802.15.4, LR-WPAN (LowRate – Wireless Personal Area Network), define las 2 primeras capas; la capa física (PHY) y la sub-capa de Control de Acceso al Medio (MAC).

La alianza ZigBee desarrolla bajo estos fundamentos la capa de Red (NWK) que gestiona las tareas de enrutado, mantenimiento de los nodos de la red y da las pautas para el desarrollo de la capa de Aplicación, esta capa está compuesta por la subcapa de Soporte de Aplicación (APS), la subcapa de Dispositivo de Objeto ZigBee (ZDO) y los objetos de aplicación definidos por el fabricante. [9]

### ***1.6.1 DEFINIDO POR IEEE 802.15.4***

#### **1.6.1.1 Capa Física (Phy)**

Esta capa se encuentra definida en el estándar IEEE 802.15.4-2006, en donde se citan cuatro tipos de capas físicas, y la elección dependerá del usuario, teniendo en cuenta la ubicación geográfica en la cual va a funcionar la red y las necesidades en la transmisión.

En la capa física tenemos diferentes bandas de frecuencias con la que trabaja la tecnología ZigBee entre las que podemos describir: [9]

- Banda de 868 MHz con Secuencia Directa de Espectro Ensanchado (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum), utiliza modulación BPSK, es usada generalmente en los países Europeos, presenta una ventaja con respecto a las interferencias y congestiones además de operar con una tasa de transferencia de 20kbps.
- Banda de 915 MHz con Secuencia Directa de Espectro Ensanchado (DSSS) y modulación BPSK, es usada en los países de América del Norte, de igual manera que la clasificación anterior presenta una ventaja con respecto a las interferencias y congestiones logrando mayores niveles de sensibilidad además de ampliar la área de cobertura y que existan menores pérdidas de propagación, la tasa de transferencia que presenta es de 40 kbps.

- Capa Física que trabaja a 2.4 GHz con DSSS y modulación O-QPSK (Offset quadrature phase-shift keying), es usada prácticamente en todo el mundo, tiene ventajas sobre las otras bandas de operación al presentarse en campos de mercado más amplios y costos de fabricación más bajos teniendo aplicaciones en la banda industrial, médica y científica. La tasa de transferencia que presenta esta banda es de 250 kbps.

Las características de cada frecuencia se resumen en la siguiente tabla publicada en el Año 2003:

*Tabla 1. 1: Capa Física IEEE 802.15.4-2003 [9]*

Capa Física	Lugar de Uso	Tasa de Transferencia	Canales	Espaciamiento entre canales	Modulación
868 - 868,6 MHz	Europa	20 kbps	1	-	BPSK
902- 928 MHz	América del norte	40 kbps	10	2 MHz	BPSK
2,4 - 2,4835 GHz	Resto del Mundo	250 kbps	16	5 MHz	O-QPSK

Posteriormente se realizó una revisión del estándar en el 2006 incrementando las tasas de datos máximas de las bandas de 868/915MHz, pasando a transmitir hasta 100 y 250 kbps.

*Tabla 1. 2: Capa Física IEEE 802.15.4-2006 [9]*

Capa Física	Banda de Frecuencia	Lugar de Uso	Tasa de Transferencia	Modulación
868/915 MHz	868 - 868,6 MHz	Europa	20 kbps	BPSK
	902 - 928 MHz	América del norte	40 kbps	BPSK
868/915 MHz (Opcional)	868 - 868,6 MHz	Europa	250 kbps	ASK
	902 - 928 MHz	América del norte	250 kbps	ASK
868/915 MHz (Opcional)	868 - 868,6 MHz	Europa	100 kbps	O-QPSK
	902 - 928 MHz	América del norte	250 kbps	O-QPSK
2450 MHz	2,4 - 2,4835 GHz	Resto del Mundo	250 kbps	O-QPSK

### Características

Las características de la capa física son: [5]

- **Activación/Desactivación/Reposo del Transceiver**

Un Transceiver tiene tres modos de operación: Transmisión, recepción y descanso. Después de una solicitud de la capa MAC, la capa física debe conmutar entre estos tres estados. La exigencia del Estándar está en que un dispositivo debe conmutar entre transmisión y recepción, o viceversa en menos de 12 símbolos.

En el caso de la banda de 2,4 GHz cada símbolo corresponde a 4 bits, por lo que se puede calcular el tiempo de conmutación de la siguiente manera:

$$12 \text{ simbolos} = 48 \text{ bits} \quad (1.1)$$

$$\frac{48 \text{ bits}}{250 \frac{\text{kbits}}{\text{s}}} = 192 \mu\text{s} \quad (1.2)$$

- **Detección del nivel de energía en el canal (Energy Detection - ED)**

Es una aproximación de la potencia de la señal recibida que se la compara con el valor del umbral predeterminado (Umbral ED), esta medida es usada para la selección del canal y analizar si este canal está libre u ocupado.

- **Indicador de calidad de enlace (LQI)**

El LQI (Link Quality Indication) es la medida de relación entre Fuerza/Calidad que tiene el paquete recibido, el LQI se puede implementar usando Detección de Energía (ED).

- **Prueba de Canal Libre (Clear Channel Assessment-CCA)**

Esta característica informa el estado de actividad en el medio, es decir notifica si el medio esta libre u ocupado, tiene tres modos de operación:

1. **Modo de detección de Energía.-** El CCA informa que el canal está ocupado si el valor de potencia de la señal recibida esta sobre el Umbral ED.<sup>1</sup>

2. **Modo de Sondeo de Portadora.-** El CCA reporta que el canal está ocupado solo si se tiene una señal con las técnicas de modulación y Spreading establecidas en el IEEE 802.15.4, siendo que esta señal este sobre o debajo del Umbral ED.<sup>1</sup>
  
3. **Sondeo de Portadora con Detección de Energía.-** Esta es una combinación de las dos técnicas anteriores en donde el CCA reporta que canal está ocupado solo si se detecta una señal con las técnicas de modulación y Spreading establecidas en el estándar IEEE 802.15.4 y que el valor de potencia de la señal este sobre el valor del Umbral de ED.<sup>1</sup>

- **Selección de Frecuencia del Canal**

El estándar IEEE 802.15.4 define 27 canales de comunicación diferentes por lo que el dispositivo y la capa física deben seleccionar la frecuencia y sintonizar al dispositivo dentro del canal a utilizarse.

- **Asignación de Canales**

La asignación del canal se da de manera dinámica y se define a través de una combinación de números de canal y de páginas de canal.

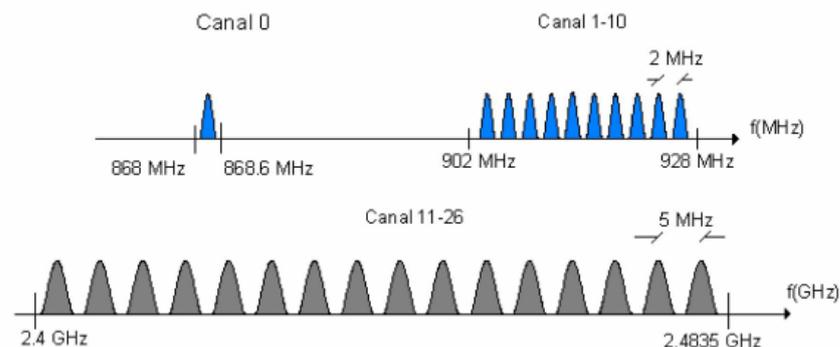


Figura 1. 9: Canales de Frecuencias usadas por IEEE 802.15.4-2003 [9]

- **Numeración de canales para 868 MHz, 915 MHz y 2450 MHz.**

- La banda de 868 MHz soporta un solo canal entre las frecuencias de 868 y 868,6 MHz.

<sup>1</sup> (Tituaña, 2010)

- La banda de 915 MHz soporta 10 canales entre las frecuencias de 902.2 y 908.0 MHz, con un espaciamiento entre cada canal de 2MHz.
- La banda de 2,4 GHz soporta 16 canales entre las frecuencias de 2.4 y 2.4835 GHz, con un espaciamiento entre cada canal de 5MHz.

La frecuencia central de estos canales se calcula de la siguiente manera:

$$F_c = 868.3 \text{ en MHz, para } k = 0 \quad (1.3)$$

$$F_c = 906 + 2(k - 1) \text{ en MHz, para } k = 1, 2, \dots, 10 \quad (1.4)$$

$$F_c = 2,405 + 5(k - 11) \text{ en MHz, para } k = 11, 12, \dots, 26 \quad (1.5)$$

Dónde:

$k$  es el número de canal.

### 1.6.1.2 Capa De Control De Acceso Al Medio (Mac)

La capa de Enlace de Datos está dividida en dos subcapas que podemos describirlas a continuación: [7]

1. **Subcapa de Control de Enlace Lógico (Logical Link Control, LLC).**- Esta subcapa se encuentra definida dentro del estándar del grupo IEEE 802.2, y que es común para otros tipos de tecnologías como Ethernet, Bluetooth, Wi-Fi, WiMax y ZigBee.
2. **Subcapa de Control de Acceso al Medio (Medium Access Control, MAC).**- Esta subcapa depende del tipo de hardware que se encuentre en la capa física.  
Esta subcapa se encuentra definida dentro del estándar IEEE 802.15.4-2006, y que sirve de enlace entre la capa física y la subcapa LLC.

### Funciones de la Subcapa de control de acceso al medio

Dentro de las funciones que cumple la subcapa MAC están las siguientes [9]:

- Administrar y gestionar todos los tipos de accesos al canal físico de radiofrecuencia.

- Soportar las asociaciones y disociaciones de nodos dentro de la PAN. Además implementa algoritmos para permitir una nueva asociación de nodos que anteriormente ya pertenecían a la PAN y que tuvieron una desconexión.
- Brinda tres tipos de seguridad a nivel de subcapa MAC:
  1. *Sin seguridad: utilizada para la difusión de anuncios publicitarios.*
  2. *Aplicando listas de control de acceso, sin encriptación.*
  3. *Modo seguro con uso de llaves mediante el estándar de encriptación simétrico AES 128 (Advance Encryption Standar), es decir que las dos partes negociarán una llave cifrada de 128 bits a partir de una llave original, para permitir el envío y la recepción de mensajes*<sup>2</sup>
- Esta subcapa es la responsable de la identificación de los nodos en base a dos tipos de direcciones:
  - Las direcciones extendidas de 64 bits, que pueden ser usadas en el proceso de asociación.
  - Las direcciones cortas de 16 bits, que son usadas por el coordinador de red para la comunicación con otros dispositivos de la red.
- Para realizar la sincronización de la red tenemos dos maneras:
  - *Mediante el uso de control de guías (beacons) se realiza directamente intercambiando datos entre el coordinador y el dispositivo final. Utiliza el mecanismo de espacios de tiempo garantizados (Guaranteed Time Slots, GTS); es decir que a cada nodo se le asigna un determinado espacio de tiempo dentro de una supertrama, en donde se disminuye la latencia y se utiliza todo el ancho de banda disponible.*
  - *Para redes que no utilizan control de guías, se emplea como mecanismo de acceso al canal el algoritmo CSMA-CA “Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance” (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).*<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> (ZigBee, ZigBee Specification Download Request)

<sup>3</sup> (ZigBee, ZigBee Specification Download Request)

## Estructuras de las Tramas MAC

A la trama MAC se le denomina unidad de datos de protocolos MAC (MPDU) y fue diseñada para ser muy flexible y que se ajustara a las necesidades de las diferentes aplicaciones.

La trama MAC está constituida principalmente por 3 partes las mismas que toman el nombre de Protocolo de Unidad De Datos MPDU (MAC Protocol Data Unit): [10]

1. **Encabezado (Cabecera MAC):** este campo contiene información sobre direccionamiento y banderas de control.
2. **Carga útil (MSDU):** este campo contiene comandos o datos y su longitud es variable.
3. **Pie (MAC FOOTER):** este campo contiene una secuencia de chequeo (FCS) para verificar los datos.

El estándar opera con cuatro tipos o estructuras MAC que se detallan a continuación:

1. Trama de Datos
2. Trama de comandos “MAC”
3. Trama de confirmación “ACK”
4. Trama de Baliza “Beacon”

En la figura 10 se muestran los campos de los cuatro tipos de paquetes básicos.



Figura 1. 10: Tipos de paquetes básicos de ZigBee [10]

## Estructura de la trama de Datos

Son las tramas que se utilizan para enviar información entre nodos de una red. Tiene una carga de datos de hasta 104 bytes.

La estructura de la trama de datos es como lo muestra la *Tabla 1.3*:

*Tabla 1. 3: Formato general de la trama MAC [4]*

**Bytes:**

2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	Variable	2
<b>Control de Trama</b>	Num. de Secuencia	Identificador PAN de Destino	Dirección de Destino	Identificador PAN de Origen	Dirección de Origen	Carga Útil	Secuencia de verificación de trama
		Campos de Dirección (0 ... 20 Bytes)					
<b>Cabecera MAC</b>						<b>MSDU</b>	<b>MAC Footer</b>
<b>Unidad de datos de protocolo MAC</b>							

### - Campos de la Cabecera MAC

- **Control de trama.-** Este campo indica el tipo de trama MAC que se pretende transmitir.
- **Número de secuencia.-** Este campo indica el identificador único de cada trama.
- **Dirección.-** Una trama de datos contiene dos tipos de información: La dirección destino y dirección origen.
  - **Identificador PAN de Destino:** Es el identificador de PAN único a la que va dirigida la trama.
  - **Dirección de Destino:** Es la dirección del dispositivo a la que va dirigida la trama.
  - **Identificador PAN de Origen:** Es el identificador de PAN único que origina la trama.
  - **Dirección de Origen:** Es la dirección del dispositivo que origina la trama.

### - Unidad de datos de servicio MSDU

- **Carga de datos.-** Es de longitud variable, y tiene un máximo de 127 bytes de información.

- **MAC Footer**

- **FCS (Frame Check Sequence).**- Este campo contiene el CRC (Cyclic Redundancy Check) para comprobar si hay algún error en la trama recibida.

**Estructura de la trama de Comandos MAC (MAC Command Frame)**

La trama de Comandos MAC es un mecanismo para el control y configuración a distancia de los dispositivos. Una red centralizada usa este tipo de estructura.

Su estructura se muestra en la Tabla 1.4.

*Tabla 1. 4: Formato general de la trama de comandos [4]*

Bytes:	2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	1	Variable	2
<b>Control de Trama</b>	Num. de Secuencia	ID PAN de Destino	Dirección de Destino	ID PAN de Origen	Dirección de Origen	Tipo de Comando	Comando de Carga Útil	FCS	
			Campos de Dirección (0 ... 20 Bytes)						
Cabecera MAC							MSDU	MAC Footer	
Unidad de datos de protocolo MAC									

- **Tipo de Comando:** Este campo indica el tipo de comando que se ha generado.
- **Valor del Comando:** Este campo contiene información del tipo de comando en uso.

En la Tabla 1.5 se presenta algunos tipos de comando MAC.

*Tabla 1. 5: Tipos de Comando [11]*

Identificador de Comando	Tipo de Comando
1	Solicitud de Asociación
2	Respuesta de Asociación
3	Notificación de de Disociación
4	Petición de Datos
7	Petición de trama Beacon

### Estructura de la trama ACK (Acknowledgment Frame)

La Estructura de la trama ACK es también llamada trama de reconocimiento, en dónde se realiza una confirmación entre dispositivos, que el paquete se ha recibido sin errores.

Su estructura se muestra en la Tabla 1.6.

Tabla 1. 6: Formato general de la trama de ACK [4]

Bytes:

2	1	2
Control de Trama	Num. de Secuencia	Secuencia de verificación de trama

- **Número de secuencia:** Se tiene el valor de la secuencia de la trama que ha sido recibida por el dispositivo.

### Estructura de la trama de Baliza (Beacon Frame)

Se encarga de activar los dispositivos solamente cuando se transmite una señal guía o beacon, caso contrario permanecerán dormidos, permitiendo así un considerable ahorro de energía. Estos son importantes en las redes malla y árbol ya que permite estar conectado con todos los dispositivos y que estos no estén activos durante largos periodos de tiempo.

La estructura de la trama de baliza es como lo muestra la Tabla 1.7:

Tabla 1. 7: Formato general de la trama Beacon [4]

Bytes:	2	1	2	2/8	2	K	m	k	2
Control de Trama	Num. de Secuencia Beacon	ID PAN de Origen	Dirección de Origen	Especificación SuperTrama	Campos GTS	Campos de dirección pendiente	Carga Útil Beacon	FCS	
Cabecera MAC					MSDU				MAC Footer
Unidad de datos de protocolo MAC									

En donde el campo de MHR (MAC Header) y el MFR (MAC Footer) son los mismos presentados en el formato general de la trama, como se explicó anteriormente.

- **MAC Service Data Unit**

- **Especificación de la Supertrama:** Este campo indica los parámetros de la supertrama.
- **Campos GTS:** Contiene información acerca de los espacios de tiempo garantizados (GTS), el coordinador es el encargado de asignar los GTS.
- **Especificación pendiente de direcciones:** Informa que dispositivos tienen transmisiones de datos pendientes en el coordinador.
- **Carga Útil Beacon:** Tiene información entregada por las capas superiores.

### **1.6.2 DEFINIDO POR ALIANZA ZIGBEE**

La Alianza ZigBee desarrolla la capa de Red (NWK) y la Capa de Aplicación que se definen a continuación: [7]

#### **1.6.2.1 Capa de Red (NWK)**

*“La capa de red es la encargada de entregar los datos generados en las capas superiores al dispositivo de destino dentro de la red, además de minimizar el consumo de energía, esto se debe a que puede activar o desactivar su hardware de recepción, permaneciendo la mayor parte del tiempo en estado de reposo y reaccionando únicamente ante peticiones de transmisión o recepción.”<sup>4</sup>*

La capa de red tiene tres objetivos principales:

1. Iniciar la red y asociar los dispositivos a la misma.
2. Enrutar los paquetes a su destino, y
3. Proporcionar métodos de seguridad para garantizar que los paquetes lleguen a su destinatario final.

---

<sup>4</sup> (Villacrés, 2009)

A nivel de la capa de red, existen dos tipos de direcciones: direcciones cortas de 16 bits y direcciones largas o direcciones IEEE de 64 bits (cada dispositivo debe tener asignada una dirección IEEE única).

Además la capa de red se encarga de:

- Permitir el correcto uso de la capa MAC y ofrece una interfaz para su uso por parte de la capa de aplicación.
- Administrar opciones de configuración:
  - Permite al dispositivo iniciar la red o unirse a una red existente.
  - Asigna direcciones a los dispositivos que se unen a la red.
- Soporta varios mecanismos de enrutamiento como broadcast, multicast y unicast.
- Brinda seguridad mediante los sistemas de autenticación y confidencialidad de la transmisión.
- Soporta múltiples topologías de red:
  - Topología en estrella: el coordinador se sitúa en el centro.
  - Topología en árbol: el coordinador es la raíz del árbol.
  - Topología de malla: al menos uno de los nodos tienen más de dos conexiones.
- Brinda control de recepción: detecta la presencia de receptores, lo que posibilita la comunicación directamente o la sincronización a nivel de subcapa MAC.
- Es la capa encargada de descubrir, almacenar y reportar información a los dispositivos vecinos que se encuentran directamente a un salto (next hop)

## Estructura de trama de Red

Tabla 1. 8: Formato general de la trama Red [7]

Bytes:

2	2	2	1	1	0/8	0/8	0/1	Var	Var
<b>Control de Trama</b>	Dirección Destino	Dirección Origen	Radio	Num. de Secuencia	Dirección Destino IEEE	Dirección Origen IEEE	Control Multicast	Subtrama Ruta de Origen	Carga Útil
<b>Cabecera de RED</b>									<b>Carga Útil</b>

- **Control de Trama:** Tiene 16 bits en los cuales se especifican el tipo de la trama, la versión del protocolo y si se está empleando mecanismos de seguridad.
- **Dirección de destino:** Indica la dirección de destino del dispositivo con el cual se quiere realizar la comunicación.
- **Dirección Origen:** Constara de 2 octetos de longitud e indica la dirección de red del dispositivo de origen de la trama.
- **Radio:** Indica la cantidad de saltos máximos que esta puede llegar a realizar. Este parámetro se va disminuyendo en uno en cada salto. Cuando llega a cero, esa trama no será retransmitida a otro dispositivo.
- **Número de secuencia:** Identifica la trama.
- **Dirección IEEE Destino y Origen:** Este campo es opcional, en donde se indica el campo de control de trama.
- **Control Multicast:** Su uso es opcional y se lo puede definir en el campo de control de trama, tiene la función de definir los parámetros básicos para la transmisión multicast
- **Subtrama de ruta de origen:** Este campo es opcional y si su valor se presenta en 1 nos indica que su uso está activo.
- **Carga útil de Trama:** Este subcampo contiene información específica de los diferentes tipos de tramas individuales.

### 1.6.2.2 Capa De Aplicación (APL)

La capa de aplicación es la interfaz entre el nodo ZigBee y sus usuarios y está dividida en tres subcapas como se puede apreciar en la figura 1.11.

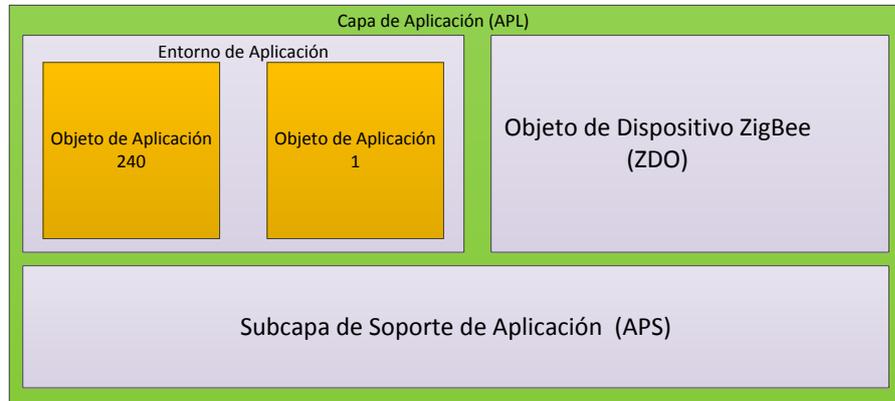


Figura 1. 11: Capa de Aplicación [7]

#### - Entorno de Aplicación

Es el campo en el cual se encuentran los objetos de aplicación, estos objetos representan las aplicaciones que van a ser utilizadas en el dispositivo ZigBee. Cada dispositivo puede tener configuradas un máximo de 240 aplicaciones y 30 funcionar al mismo tiempo.

Cada objeto de aplicación tiene un número que lo identifica del 1 al 240.

- El número 0 especifica la interface de datos hacia la ZDO.
- El número 255 para una interface de datos con funciones de broadcast hacia todos los objetos de aplicación.

#### - Objeto de Dispositivo ZigBee (ZigBee Device Object - ZDO)

Esta subcapa se encarga de definir el rol del dispositivo en la red. Dichos roles pueden ser de coordinador, router o dispositivo final.

#### - Subcapa de Soporte de Aplicación (Application Support Sub-Layer)

La función de esta Subcapa es la de proporcionar una interfaz entre la Capa de Red y la Capa de Aplicación.

Además es el encargado de:

- Vincular dos dispositivos según sus servicios y necesidades, y enviar mensajes entre ellos.
- Brindar seguridad mediante la implementación de una autenticación con los otros dispositivos a través de secure keys.
- Controlar una base de datos del manejo de los objetos llamada APS information Base (AIB)

### Estructura de trama de la capa de Aplicación

Tabla 1. 9: Formato general de la trama de la capa de aplicación [7]

Bytes:

2	0/1	0/2	0/2	0/2	0/1	0/1	Variable	Variable
<b>Control de Trama</b>	Punto Final de Destino	Dirección de Grupo	ID de Cluster	ID de Perfil	Punto Final de Origen	Contador APS	Extensión de Cabecera	Carga Útil de Trama
	Campo de Direccionamiento (0... 8 Bytes)							
<b>Cabecera de RED</b>								<b>Carga Útil APS</b>

Los campos que conforman la trama de la capa de aplicación son:<sup>5</sup>

#### - Campos de la Cabecera de Red

- **Campo de control de trama:** Campo de 8 bits de longitud que contiene información sobre si se está empleando mecanismos de seguridad, si se requiere mensaje de confirmación a nivel de capa de aplicación y si se utiliza extensión de cabecera.
- **Dirección dispositivo destino:** Contiene la dirección del dispositivo al que se dirige la trama.
- **Dirección de grupo:** Indica la dirección del grupo de dispositivos al que se destina la trama.

<sup>5</sup> (ZigBee, ZigBee Specification Download Request)

- **Identificador de Cluster:** Indica el cluster y por tanto la aplicación a la que hace referencia el mensaje.
  - **Identificador de Perfil:** Identificador del perfil sobre el que se realiza la acción indicada en la trama.
  - **Dirección dispositivo origen:** Indica la dirección del dispositivo en donde es generada la trama.
  - **Contador APS:** Indica el número de trama enviada para evitar duplicados.
  - **Extensión de cabecera:** Campo para extender la funcionalidad de la cabecera.
- **Campos de la Carga Útil APS**
- **Carga útil:** Contiene la información de las capas inferiores.

## 1.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

A continuación se describe las ventajas y desventajas que presentan la Tecnología ZigBee. [10]

- **Ventajas:**
  - Opera en la banda libre de ISM 2.4 Ghz para conexiones inalámbricas.
  - Soporta múltiples topologías de red: estrella, árbol y malla.
  - Soporta hasta 255 nodos en la red.
  - Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
  - Proporciona larga duración de la batería.
  - Son más baratos y de construcción más sencilla.
  - Proporciona seguridad mediante métodos de cifrado.
  - Diseñado para aplicaciones con baja tasa de envío de datos.
  - Soporte de muchas empresas.
  - Bajo consumo de energía.
  - Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto

- **Desventajas**

- En el procesamiento de datos solo puede trabajar con textos pequeños teniendo en cuenta otras tecnologías.
- Tiene radios de cobertura cortos ya que pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN.

## **CAPÍTULO 2.**

### **2. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA**

#### **2.1 ESTANDAR 802.15**

El Estándar 802.15 se enfoca en el desarrollo de estándares para Redes de Área Personal Inalámbrica o de corta distancia. Estas WPAN se refieren a redes inalámbricas para dispositivos de cómputo portables y móviles como PCs, PDAs, periféricos, teléfonos celulares y otros electrónicos.

#### **2.2 REDES INALÁMBRICAS**

##### **2.2.1 *CARACTERÍSTICAS GENERALES***

Las Comunicaciones Inalámbricas se caracterizan esencialmente por que el medio de transmisión usado para el intercambio de información entre dos nodos, son ondas electromagnéticas que viajan a través del aire, por lo tanto este tipo de red carece de cables que es una ventaja considerable, aunque proporciona riesgos de seguridad debido a que la información podría ser expuesta a posibles intrusos.

El medio de transmisión pueden ser, ondas de radio, microondas terrestres, microondas por satélite y los infrarrojos de acuerdo al rango de frecuencias utilizado para la transmisión y recepción.

La transmisión por medio de radio pueden ser a través de una ruta directa o con línea de vista “LOS (line-of-sight)”, en la cual la señal se transmite en un medio sin obstáculos y a través de una multiruta en la cual no existe LOS. [11]

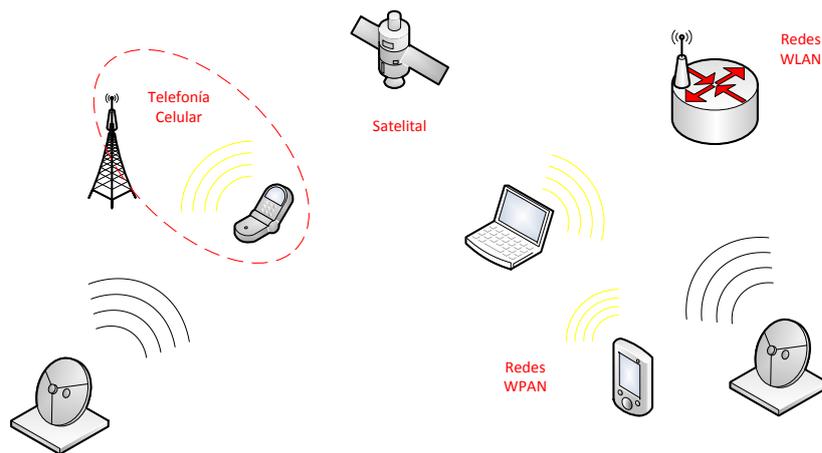


Figura 2. 1: Redes Inalámbricas.

“En las redes inalámbricas, se utiliza el término movilidad debido a que los usuarios pueden mantenerse conectados a la red cuando se desplazan dentro de una determinada área geográfica.”<sup>6</sup>

“La tecnología inalámbrica utiliza ondas de radiofrecuencia de baja potencia y una banda específica, de uso libre en términos regulatorios para transmitir, entre dispositivos. Estas condiciones de libertad de utilización, sin necesidad de licencia, han propiciado que el número de equipos, haya crecido notablemente.”<sup>7</sup>

### 2.2.2 TIPOS DE REDES

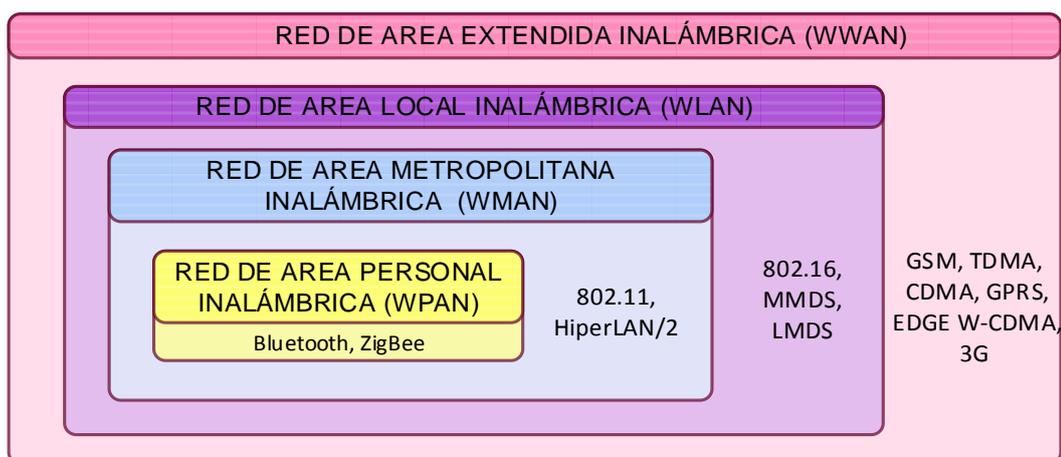


Figura 2. 2: Clasificación de Redes Inalámbricas

<sup>6</sup> (Zavala Yerovi, 2010)

<sup>7</sup> (Blogspot Redes Inalambricas, 2008)

### 2.2.3.1 Redes De Área Personal Inalámbrica (WPAN)

Las redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network), son redes diseñadas para interconectar dispositivos portátiles como, celulares, computadores portátiles, impresoras, cámaras fotográficas, tablets, smartphones, etc. dentro de un área geográfica limitado. [12]

Este tipo de redes es normalmente usado en oficinas, laboratorios y viviendas, capaz de soportar un rango de 10 m aproximadamente y su rendimiento se limita a velocidades no mayores a 1 Mbps, debido a las topologías de red se pueden alcanzar distancias mayores.

Existen varias tecnologías que compiten entre sí, entre ellas tenemos: Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, EnOcean, etc.

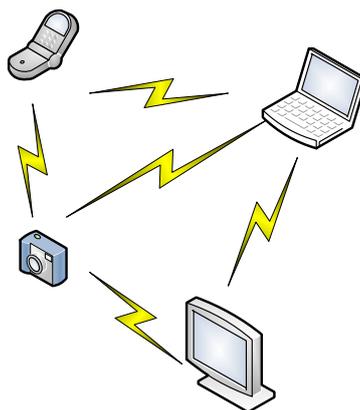


Figura 2. 3: Redes de Área Personal Inalámbrica

### 2.2.3.2 Redes De Área Local Inalámbrica (WLAN)

*“Una red de área local inalámbrica (WLAN) es aquella en la que una serie de dispositivos (PCs, estaciones de trabajo, impresoras, servidores, etc.) se comunican entre sí en zonas geográficas limitadas sin necesidad de tendido de cable entre ellos.”*<sup>8</sup>

Las redes WLANs constituyen en la actualidad una solución tecnológica, muy utilizado como alternativa a las redes LAN Cableadas o como extensión de estas, ya que reduce al mínimo las conexiones alámbricas dotando así de movilidad y flexibilidad a los usuarios que se encuentran interconectados dentro de una red.

---

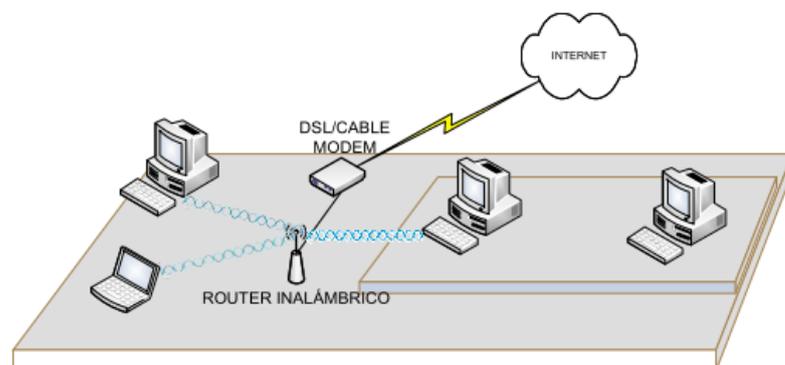
<sup>8</sup> (Capítulo 1 Importancia de las redes WLAN)

Estos sistemas se caracterizan por trabajar en bandas de frecuencia, que no necesitan licencia de operación lo cual dota a la tecnología de un gran potencial de mercado; y son comúnmente utilizadas en lugares como: universidades, hospitales, aeropuertos, empresas, hoteles y hogares, para proveer conectividad a los usuarios, que generalmente poseen laptops o dispositivos móviles. [13]

Las WLAN han alcanzado tasas de transferencias aceptables, cercanas a los 54 Mbps, y tienen un rango entre 30 a 300 metros, con señales capaces de atravesar paredes.

En el mercado existen distintas tecnologías como: Wi-Fi, HomeRF, HiperLAN, etc.

- **Wi-Fi (Wireless Fidelity):** Surgió con el objetivo de normalizar el mercado de las redes inalámbricas, ya que durante muchos años existieron incompatibilidades entre sí.
- **HomeRF (Home Radio Frequency):** Permite la conexión entre dispositivos que se encuentran dentro del hogar, en una banda de frecuencia de 2.4 GHz y tiene un alcance de 50 metros.
- **HiperLAN2 (High Performance Radio LAN 2.0):** Permite a los usuarios alcanzar una velocidad máxima de 54 Mbps en un área aproximada de cien metros, y transmite dentro del rango de frecuencias de 5150 y 5300 MHz.



*Figura 2. 4: Redes de Área Local Inalámbrica [14]*

### 2.2.3.3 Redes De Área Metropolitana Inalámbrica (WMAN)

Una red de área metropolitana inalámbrica (WMAN), es una red que da cobertura a un área geográfica extensa, y está basada en el estándar de la IEEE 802.16.

Este tipo de redes permite la conexión entre oficinas de varios edificios que se encuentran alejadas con un costo reducido con respecto a una red cableada. El estándar más significativo que tienen las WMAN es WiMAX (World wide Interoperability for Microwave Access), quien presenta una velocidad de transmisión de más de 75 Mbps y usa bandas de frecuencias entre los 2 GHz y 66 GHz. [4]

Se utilizan principalmente las tecnologías LMDS y WiMax.

- **LMDS (Local Multipoint Distribution Service):** La transmisión se realiza desde un solo punto, llamado estación base, hasta los usuarios, es un tipo de comunicación conocida como punto multipunto. La comunicación es direccional, por lo tanto los usuarios pueden responder a la estación base estableciéndose enlaces punto a punto.
- **WiMAX (World wide Interoperability for Microwave Access):** Estándar de comunicación basado en la creación de redes de área metropolitana. Mantiene un alcance de 50 Km con una velocidad de transmisión de hasta 70 Mbps.

### 2.2.3.4 Redes De Área Extendida Inalámbrica (WIDE AREA)

Las redes inalámbricas de área extendida (WWAN), son redes que cubren una amplia región geográfica, a menudo un país o un continente. Por medio de este tipo de redes se pueden conectar las diferentes localidades utilizando conexiones satelitales, o por antenas de radio microondas.

Son usadas para tener acceso a la red desde lugares lejanos; el desempeño de la WWAN es relativamente bajo en rangos que van desde los 56 kbps hasta los 170 kbps y provee una cobertura a miles de Km.

En este tipo de redes encontramos tecnologías como UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), utilizada con los teléfonos móviles de tercera

generación (3G) y sucesora de la tecnología GSM (para móviles 2G), o también la tecnología digital para móviles GPRS (General Packet Radio Service).



Figura 2. 5: Redes de Área Extendida Inalámbrica [14]

En la siguiente tabla se realiza una breve comparación entre los tipos de redes inalámbricas:

Tabla 2. 1: Clasificación de las redes inalámbricas

Tipo	Cobertura	Performance	Estándar	Aplicaciones
Wireless PAN	Alrededor de una Persona	Moderado	IEEE 802.15	Periféricos inalámbricos
Wireless LAN	Entre edificios o en Campus	Alto	IEEE 802.11	Campus inalámbricos
Wireless MAN	Dentro de la ciudad	Alto	IEEE 802.16	Enlaces entre oficinas
Wireless WAN	Alrededor del mundo	Bajo	IEEE 802.20 (Propuesta)	Acceso a la red desde áreas lejanas

### 2.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las Redes Inalámbricas presentan las siguientes ventajas y desventajas: [15]

#### Ventajas:

- **Movilidad:** Los usuarios pueden desplazarse dentro de un área geográfica y tener acceso a la información en tiempo real.
- **Instalación rápida, simple:** La instalación es rápida y sencilla debido a que, es necesario realizar únicamente una configuración general y los usuarios podrán acceder de forma inmediata al servicio.

- **Flexibilidad en la instalación:** Las redes inalámbricas tienen la ventaja de llegar a lugares de difícil acceso para una red cableada.
- **Costo reducido:** El costo es reducido en el caso de ingresar un nuevo dispositivo hacia la red y es por ello que la inversión y el costo de mantenimiento de la red a largo plazo suele ser significativamente menor con respecto a una red cableada aunque la inversión inicial es alta.
- **Escalable:** Las redes inalámbricas pueden ser configuradas de acuerdo a las necesidades de instalación en sus distintas topologías, las mismas que pueden ser cambiadas de una manera muy sencilla.

#### **Desventajas:**

- **Interferencias:** Se puede producir interferencias debido a otros dispositivos que operen a la misma frecuencia.
- **Velocidad:** Las redes inalámbricas alcanzan la velocidad de 54Mbps mientras que una red cableada alcanza a 100Mbps.
- **Seguridad:** Las redes inalámbricas tienen al aire como medio de transmisión lo que le hace vulnerable y puede ocasionar que intrusos accedan a la información, aunque actualmente existen mecanismos de protección como es la contraseña.

### **2.3 REDES DE AREA PERSONAL INALAMBRICA (WPAN)**

En el año de 1995 un grupo de investigadores desarrolla el concepto de red para áreas personales en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), el proyecto consistía en conectar en la misma red dispositivos cercanos al cuerpo humano con el mismo, usando señales eléctricas o impulsos eléctricos.

En el año de 1999 el IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) creó el grupo de trabajo dedicado al estudio de Redes de Área Personal Inalámbrica,

WPAN (por sus siglas en Ingles Wireless Personal Area Network), este grupo es conocido como el IEEE 802.15.

Entre las características principales de este tipo de redes inalámbricas es que el área de trabajo en donde se ubican sus dispositivos tiene un radio de cobertura típica de 10 metros, en esta área de trabajo una persona puede hacer uso de dispositivos portátiles personales sin la necesidad de utilizar cables.

Otra característica importante de estas redes es el uso eficiente de los recursos energéticos, por lo que los protocolos de comunicación son más simples y óptimos dependiendo de la aplicación y del tipo de comunicación que se tenga en cada red.

Entre los dispositivos de una red de área personal inalámbrica que pueden colocarse en red podemos anotar: Computadores, teléfonos celulares, sensores y actuadores inalámbricos, impresoras, entre otros dispositivos portables; dentro de un área de cobertura de pocos metros. Esta área de cobertura se denomina Espacio de operación personal (POS) [4]

*“Las principales ventajas de este tipo de redes es que no requieren un gran consumo de energía, la persona con la terminal se puede mover por todo el área de cobertura y al momento de su implementación no representan una gran inversión económica, comparada con otras tecnologías; tanto para infraestructura de red como para dispositivos.”<sup>9</sup>*

### **2.3.1 GRUPOS DE TRABAJO**

Existen principalmente cuatro tipos o grupos de trabajo de la tecnología WPAN, a continuación se describe brevemente las características y los objetivos que generan estándares que satisfacen las necesidades de comunicación de este tipo de redes.

#### **2.3.1.1 Grupo De Trabajo 802.15.1**

El grupo de trabajo 805.15.1 ha desarrollado un estándar basado en la comunicación Bluetooth, la publicación del estándar IEEE 802.15.1 se la realizo en junio del 2002.

---

<sup>9</sup> (Villacrés, 2009)

### 2.3.1.2 Grupo De Trabajo 802.15.2

El grupo de trabajo 802.15.2 enfoca su trabajo en la coexistencia entre las redes inalámbricas de área local (WLAN) y las redes inalámbricas de área personal (WPAN), así como todos los dispositivos que están relacionados a la tecnología.

### 2.3.1.3 Grupo De Trabajo 802.15.3

El grupo de trabajo 802.15.3 ha realizado un nuevo estándar para comunicaciones inalámbricas de alta velocidad (de 20 Mbps en adelante), además de servir para aplicaciones multimedia y optimizar el consumo de energía.

### 2.3.1.4 Grupo De Trabajo 802.15.4

El grupo de trabajo 802.15.4 investiga y desarrolla tanto aplicaciones como dispositivos que requieran una baja transmisión de datos además de un reducido consumo de energía y que sean de fácil implementación.

En la tabla 2.2 se describe los grupos de trabajo para la tecnología WPAN.

Tabla 2. 2: Grupos de trabajo WPAN

Tecnología	Rango de Datos	Potencia de Salida	Rango	Banda de frecuencias	Técnica de Modulación	Canales
802.15.1	1-2 Mbps	100mW	Hasta 100m	2,4 GHz	GFSK	78
802.15.3	11, 22, 33, 44, 55 Mbps	6Mw	20 m	2,4 GHz	QPSK, DQPSK	3 ó 4
802.15.4	20, 40 o 250 Kbps	1mW	De 10 a 20 m	2,4 GHz	BPSK	26

## 2.3.2 CLASIFICACION DE LAS REDES WPAN

Para la clasificación de las redes WPAN se consideran los siguientes parámetros como:

- La velocidad de transmisión de datos,
- El consumo de energía
- La calidad de servicio (QoS).

En base a esas características importantes las WPAN se las clasifican de la siguiente manera:

### **2.3.2.1 WPAN De Tasa Alta De Transferencia De Datos**

Tiene su sustento en los estándares publicados por el Grupo de Trabajo IEEE 802.15.3. Los principales usos que se puede dar a este tipo de red son las aplicaciones multimedia debido a que manejan altas velocidades de transmisión y la relación de calidad de servicio es alta.

A continuación se describen los grupos de trabajo:

- ***Grupo 3 – IEEE 802.15.3 (WPAN de Alta Velocidad)***

Este grupo de trabajo se encarga de crear una WPAN que pueda transmitir datos de una manera más rápida y eficiente. Opera en la frecuencia de los 2.4 GHz y sin embargo, genera poca interferencia con otras redes como las 802.11b, esto se debe a que los niveles de potencia necesarios para la transmisión son menores.

Las velocidades que se pueden alcanzar se encuentran en los valores de 11, 22, 33, 44 y 55 Mbps y el área de cobertura se encuentra entre los 30 a 50 metros.

El estándar IEEE 802.15.3-2003, se encarga de definir las capas Física y MAC para redes WPAN. [1][16]

• ***IEEE 802.15.3a (Nivel Físico para WPAN de alta velocidad)***

UWB (Ultra Wideband o banda ultra ancha) es una tecnología inalámbrica para la transmisión a muy altas velocidades y con bajo consumo de energía dentro de una área de trabajo determinada y limitada. UWB es utilizada para la conexión y transmisión de información entre dispositivos electrónicos de consumo, periféricos de PC y dispositivos móviles.

UWB es una tecnología de radiofrecuencia con velocidad mínima de 110 Mbps a 10 metros y una máxima de 480 Mbps a distancias inferiores a un metro.

Los miembros de este grupo de trabajo tuvieron que detener el desarrollo e investigación del estándar, debido a que la tecnología era desconocida, su desarrollo se fundamentaba en ofrecer una alternativa para el nivel físico de UWB.

- **IEEE 802.15.3b (Revisión MAC)**

La norma IEEE 802.15.3b-2005 trata de corregir errores y aclarar ambigüedades del estándar IEEE 802.15.1-2005. Su objetivo se centra en la capa MAC logrando una mejora para la implementación y su interoperabilidad.

- **IEEE 802.15.3c (Alternativa de nivel físico basado en ondas milimétricas)**

Este grupo de trabajo, centra su estudio a nivel de capa física para el estándar 802.15.3-2003, basado en ondas milimétricas. En el mes de mayo de 2008 fue la finalización del estándar y desde entonces las WPAN tienen un alto nivel de coexistencia con otras redes inalámbricas ya que podrán operar en un rango de frecuencias en desuso en las bandas de 57 GHz a 64 GHz.

Las WPAN de onda milimétrica se caracterizarán por soportar velocidades de transmisión de:

- 1 Gbps: Enfocadas en la interactividad de la televisión digital a través de aplicaciones por internet y de video por demanda.
- 2 Gbps: Su uso está en aplicaciones de Televisión en alta definición en tiempo real.

### **2.3.2.2 WPAN De Tasa Media De Transferencia De Datos**

Dentro de este tipo de WPAN se encuentra la colaboración entre el Special Interest Group Bluetooth y el Grupo de Trabajo IEEE 802.15.1. Una de las características importantes en este tipo de red es la calidad de servicio que ofrece y se las aplica principalmente para transmisión de voz, pero también es muy utilizado para transmisiones de datos.

- **Grupo 1 – IEEE 802.15.1 (WPAN / Bluetooth)**

El estándar IEEE 802.15.1 fue aprobado por la IEEE-SA en Abril del 2002 y fue publicado en Junio del mismo año. En noviembre de 2004 se aprobó Bluetooth 2.0 EDR (Enhanced Data Rate) que tiene la característica de alcance de hasta 100 metros de área de cobertura y la velocidad de transmisión de 3 Mbps. [1]

La institución encargada de la Aprobación de Bluetooth fue el Special Interest Group “*Bluetooth es el nombre común de la especificación industrial IEEE 802.15.1, es una tecnología de radiofrecuencia (RF) que trabaja en la banda de 2.4 GHz y utiliza salto de frecuencia para expansión del espectro.*”<sup>10</sup>

El área de cobertura de la conexión en Bluetooth puede ser de hasta 10 metros o más, dependiendo del nivel de la potencia del transmisor, debido a que las señales de RF pueden atravesar paredes y objetos no metálicos por lo que los dispositivos Bluetooth no necesitan línea de vista para enlazarse.

Bluetooth puede ser usado para aplicaciones en redes residenciales o en pequeñas oficinas.

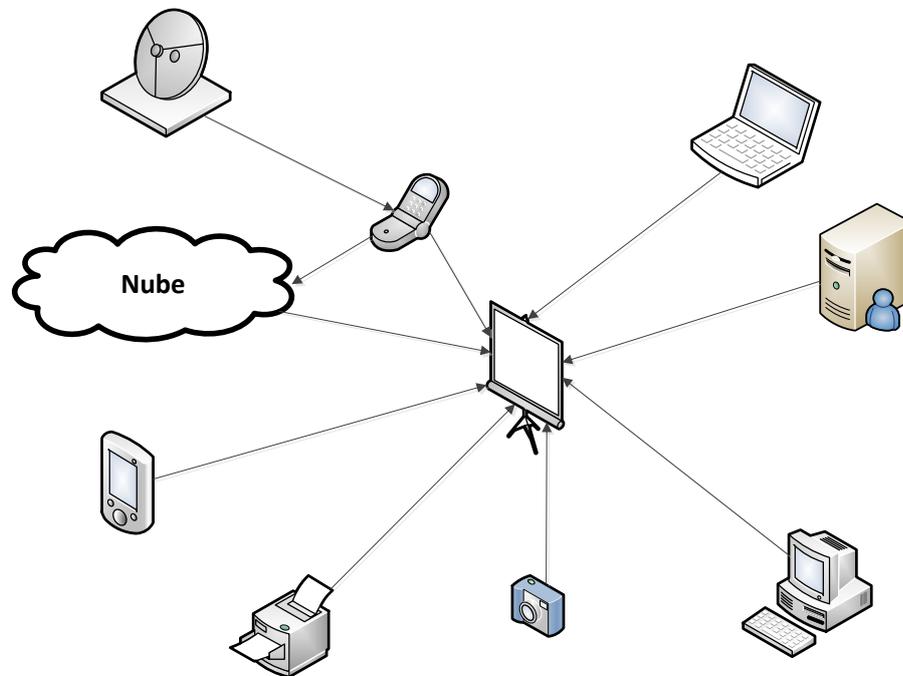


Figura 2. 6: Interconexión de Dispositivos.

### 2.3.2.3 WPAN De Tasa Baja De Transferencia De Datos

Este grupo de trabajo IEEE 802.15.4 tiene la colaboración de ZigBee Alliance, las características de este tipo de redes es crear redes con equipos de bajo consumo de energía y tener una calidad de servicio óptima para un tráfico de datos por periodos y no continuo. [4][5]

<sup>10</sup> (Huidrobo, 2011)

- ***Grupo 4 – IEEE 802.15.4 (Low Rate WPAN)***

El grupo de trabajo encargado de las WPAN a bajas velocidades de transmisión ha elaborado el estándar 802.15.4-2003, este grupo de trabajo desarrolla características para implementar redes de bajo costo y bajo consumo de energía.

Desde marzo de 2004 se creó el grupo de trabajo 4b, el cual está encargado de actualizar y mejorar este estándar. [1]

- ***IEEE 802.15.4a (Alternativa de baja velocidad para capa Física)***

Sus estudios se centraban en desarrollar comunicaciones con alta capacidad de localización, alto desempeño, escalabilidad a diferentes velocidades de transmisión de datos, además de funcionar a ultra baja potencia para mejorar el consumo energético.

En el mes de marzo del año 2007, el grupo de trabajo aprobó una enmienda para el estándar IEEE 802.15.4b-2006, pero este grupo no ha desarrollado más tecnología ni se han planificado reuniones de trabajo.

- ***IEEE 802.15.4b (Mejoras y Aclaraciones)***

Este estándar fue redactado con la finalidad de realizar correcciones y agregar mejoras en el estándar ya publicado.

Este grupo de trabajo se enfocó en la seguridad, reduciendo la complejidad y aumentando la flexibilidad de en lo que se refiere al uso de claves de seguridad y también se realizó consideraciones en la asignación de frecuencias. [20] En el mes de junio del 2006 se aprobó el estándar IEEE 802.15.4b-2006, el cual fue publicado en septiembre del mismo año.

### ***2.3.3 APLICACIONES DE LAS WPAN's***

Entre las aplicaciones más importantes de las redes PAN tenemos: [9]

- Comunicación, interconexión y sincronización automática de dispositivos personales inalámbricos tales como teléfonos móviles, notebook y dispositivos de mano.

- Conexión de periféricos inalámbricos como impresoras, escáneres, fax, etc.
- Transferencia de archivos en reuniones o conferencias.
- Automatización del hogar a través de transferencia de instrucciones a dispositivos con compatibilidad PAN.

Una de las tecnologías más importantes de este tipo de redes es el estándar ZigBee el cual debido a sus características de bajo consumo de energía se está utilizando masivamente en aplicaciones de domótica, inmótica y automatización en general.

Entre los principales objetivos de los fabricantes de dispositivos de Redes inalámbricas de área personal se encuentran: [4]

1. Desarrollar equipos con bajo consumo de energía para alargar la vida útil de la batería.
2. Fabricar dispositivos de poco peso debido a que los equipos son portátiles y de acuerdo a su concepción deben poder llevarse sin ningún esfuerzo.
3. Que los equipos tengan un bajo costo debido a la competencia de otras tecnologías.
4. Solucionar el problema de las interferencias ya que la banda ISM (Industrial Scientific Medical) de 2,4 MHz al no necesitar licencia es en donde funcionan las redes de área personal.

## **2.4 ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTRAS TECNOLOGÍAS WPAN**

A continuación se describen otros tipos de tecnologías que brindan el servicio de automatización inalámbrica para realizar un análisis comparativo.

Primero se explicara brevemente la cada tecnología y luego se realizara un cuadro en donde se podrá comparar las características de las diferentes tecnologías inalámbricas más importantes a nivel mundial.

### 2.4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO

#### BLUETOOTH

El nombre de la tecnología inalámbrica Bluetooth tiene su origen en honor al rey Vikingo de Dinamarca llamado Harald Blatand cuya traducción al inglés es: Harald Bluetooth (Diente azul), este rey vikingo unificó los reinos escandinavos de Dinamarca, Suecia y Noruega tal como pretende hacer esta tecnología unificando todos los aspectos de los dispositivos informáticos y de las telecomunicaciones.



*Figura 2. 7: Logotipo de la tecnología Bluetooth [4]*

Esta tecnología fue desarrollada por la empresa Sueca Ericsson Mobile Telecommunications en el año de 1994. El objetivo de los desarrolladores fue crear una tecnología que tenga conexión mediante una interfaz de radio, de bajo consumo, costo y tamaño capaz de ser útil en sus teléfonos móviles.

En el año de 1998 se crea el Special Interest Group (SIG) formado por: Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel; cuyo fin es promover el estándar abierto para interfaz de radio en las bandas no licenciadas de frecuencias (ISM) y unificar protocolos que permitan la interoperabilidad de dispositivos de distintos fabricantes.

En el mes de marzo del 2002 la IEEE aprobó finalmente el estándar IEEE 802.15.1 compatible con la tecnología Bluetooth. En noviembre de 2004 el SIG aprobó lo que será Bluetooth 2.0 EDR (Enhanced Data Rate), sus principales características son la velocidad de transmisión de 3 Mbps y una área de cobertura con alcance de hasta 100 metros.

*“La tecnología Bluetooth define un estándar de comunicaciones inalámbricas de corto alcance mediante señales de radiofrecuencia que permite la transmisión de datos y de voz, buscando eliminar el cableado de conexiones entre dispositivos electrónicos tanto portátiles como fijos, manteniendo altos niveles de seguridad.”<sup>11</sup>*

---

<sup>11</sup> (Suquilanda Villa & Idrovo Torres)

## **Características**

Entre las principales características y aplicaciones de Bluetooth podemos enunciar las siguientes: <sup>12</sup>

- Opera en la banda de 2,4 GHz con una tasa binaria máxima de 720 Kbps (1 Mbps de capacidad bruta)
- Utiliza expansión del espectro con saltos en frecuencia (Frequency Hopping), lo cual especifica 1600 saltos por segundo entre 79 frecuencias.
- Utiliza modulación GFSK (modulación FSK con un filtrado gaussiano).
- Soporta hasta ocho dispositivos en una piconet (un maestro y siete esclavos).
- Tiene dos tipos de transferencia de datos entre dispositivos: los orientados a conexión de tipo síncrono (SCO, Synchronous Connection Oriented) y los no orientados a conexión de tipo asíncrono (ACL, Asynchronous Connection less).
- La potencia de transmisión está comprendida entre 0 dBm (dispositivos de Clase 3) y 20 dBm (dispositivos de Clase 1).
- Presenta un canal asíncrono, fundamentalmente utilizado para transmisión de datos.
- Tiene combinación de canales uno síncrono y otro asíncrono.

## **Aplicaciones**

Cada integrante del grupo SIG ha desarrollado sus dispositivos con una visión en conjunto con el resto de miembros por lo que tenemos un número diverso de aplicaciones.

Por parte de la IEEE, se plantea que Bluetooth conforme a la norma 802.15.2 de coexistencia con las redes WLAN y que surjan versiones de alta y baja velocidad, para aplicaciones de multimedia y de dispositivos de baja complejidad.

Por el lado del Bluetooth SIG y sus compañías desarrolladoras se ha propuesto soluciones a diversos problemas y se ha implementado un buen número de escenarios de prueba, que se los puede describir a continuación [17]:

---

<sup>12</sup> (Tituaña, 2010)

- Automatización hotelera: permite a los huéspedes hacer su check-in y check-out, ingreso a sus habitaciones, utilizar Internet, recibir mensajes de voz, y pagar comidas en el restaurante del hotel.
- Acceso a internet en aeropuertos: internet inalámbrico en las salas de espera.
- Uso de dispositivos Bluetooth: se lo puede utilizar de manera industrial.
- Uso telefónico: dos dispositivos se pueden conectar sin utilizar la infraestructura telefónica.
- Intercambio de archivos: permite intercambiar información directamente entre dispositivos, se puede formar una PAN.
- Auricular inalámbrico: permite conectarse a un computador, teléfono celular o conexión en el vehículo de manera manos libres.

## **Z-WAVE**

Z-Wave es un sistema de comunicación inalámbrico de última generación que posibilita la intercomunicación e interoperabilidad de todos los equipos electrónicos del hogar.



*Figura 2. 8: Logotipo de la tecnología Z-Wave [18]*

Al igual que otros protocolos de comunicación inalámbrica, Z-Wave permite control de luminarias, medición de consumos, control de temperatura, simulación de presencia entre otras aplicaciones. Con Z-Wave se tiene control de forma local o de forma remota desde un dispositivo móvil con conexión a Internet.

### **Características**

- Utiliza ondas de Radio Frecuencia de bajas potencias simples y confiables.

- Opera en la banda de los 900 MHz utilizado por algunos teléfonos celulares y sería susceptible a la interferencia de tales dispositivos.
- Z-Wave utiliza la banda de frecuencia ISM en Europa que se fija en 868.42 y utiliza una muy robusta modulación por frecuencia (Gaussian Frequency Shift Keying).
- La transmisión de datos puede alcanzar hasta los 40KB / s.
- Es compatible actualmente con más de 200 fabricantes de todo el mundo y aparece en una amplia gama de productos de consumo en EE.UU. y Europa
- Cada módulo Z-Wave puede actuar como un RF repetidor y los comandos pueden enrutar a través de un máximo de cuatro dispositivos.
- Opera con una topología tipo malla, donde los nodos colaboran unos a otros para la comunicación vía radio.
- Rápida instalación y configuración de los equipos.
- Permite un monitoreo y control local y remoto
- Los equipos actuadores se alimentan directamente de la red eléctrica o mediante baterías para el caso de los sensores.
- Bajo consumo de energía y mayor duración de las baterías.
- Esto le da al sistema un alcance máximo de 400 pies y de enrutamiento se gestionados de forma automática.

## **Ventajas**

- Al ser una tecnología inalámbrica no requiere realizar obras de cableado para su instalación.
- No comparte las frecuencias de las redes WIFI por lo tanto no afecta al rendimiento de las redes WLAN.
- Los precios de sus componentes y dispositivos son asequibles.
- El sistema puede ser operado de manera automática o en modo manual.
- Aproximadamente existen más de 200 fabricantes de dispositivos Z-Wave que ponen en el mercado más de 600 productos garantizando su compatibilidad y siendo validados por la Z-Wave Alliance

## EN-OCEAN

EnOcean es una tecnología inalámbrica en donde sus dispositivos no necesitan conexiones eléctricas ni baterías, ya que utiliza la energía del ambiente en donde se encuentra, tal como: la luz, las pulsaciones mecánicas o la temperatura.



Figura 2. 9: Logotipo de la tecnología EnOcean [19]

Entre los dispositivos desarrollados por EnOcean podemos encontrar interruptores, detectores de presencia, termostatos, o contactos de ventana.

*“Los módulos de EnOcean están basados en convertidores miniaturizados de energía, electrónica altamente integrada y diseñada con una tecnología radio muy fiable.”*

*“Los requerimientos de energía del sistema de radio EnOcean son tan bajos que tan solo con el convertidor electromecánico, la pequeña alimentación de una célula solar o la diferencia de temperatura es suficiente para alimentarlo y poder transmitir hasta 3 veces una trama EnOcean en un edificio o vivienda.”<sup>13</sup>*

La duración del telegrama es tan corta que no existen riesgos de colisión de ráfagas en la interfaz de radio. De esta manera en una red EnOcean pueden ponerse en funcionamiento miles de dispositivos dentro de una instalación o un edificio con altos niveles de fiabilidad. [19]

EnOcean Alliance es el consorcio de compañías, sin ánimo de lucro, dedicadas al fomento, promoción, difusión y estandarización de sistemas interoperables de control inalámbricos sin baterías, ayudando a convertir los edificios en lugares más eficientes energéticamente.

---

<sup>13</sup> (<https://www.casadomo.com/articulos/enOcean>, 2009)

### **Características**

- Para la transmisión utiliza la banda de los 868 MHz en Europa y la banda de los 315 MHz en Norteamérica, Asia y Latinoamérica evitando así conflictos con otras tecnologías como WIFI que opera a 2,4 GHz
- Está basado en el estándar ISO-IEC 14543-3-10 WSP (Wireless Short Protocol).
- Capacidad de interoperabilidad en sistemas de control, iluminación, climatización.
- Posee un radio de cobertura de 300 metros en exterior y 20-30 metros en interior, aunque existen repetidores si los radios de cobertura son mayores.

### **Ventajas**

- Tiene un elevado nivel de implementación haciendo de este estándar el más extendido y probado en el campo de automatización de edificios.
- Propone un ahorro en tiempo y costos de instalación.
- No requiere de obra civil ni demás adecuaciones en viviendas y edificios ya construidos.
- Permite la implementación en lugares de difícil acceso.
- Compatible con tecnologías como KNX, LON, ModBus, BACNET, DALI, mediante la utilización de pasarelas.

### **Funcionalidad**

- Control de iluminación en sus dos tipos: ON/OFF y regulación.
- Automatización de persianas.
- Detección de apertura de puertas y ventanas.
- Detección de movimiento.
- Control y automatización de sistemas de calefacción y aire acondicionado.
- Medición de consumos eléctricos.

## **ZIGBEE**

Para este tipo de tecnología inalámbrica podemos hacer referencia a la descripción realizada en el Capítulo I de este documento, en donde se describe con mayor detalle todas sus características, ventajas y desventajas.

## 2.4.2 CUADRO COMPARATIVO

Tabla 2. 3: Cuadro comparativo

	ZIGBEE	BLUETOOTH	Z-WAVE	ENOCEAN
<b>Medio</b>	Inalámbrico	Inalámbrico	Inalámbrico	Inalámbrico
<b>Topología Física</b>	Bus	Bus	Bus	Bus
<b>Topología Lógica</b>	Malla	Malla	Malla	Malla
<b>Estándar</b>	802.15.4	802.15.1	ITU-T G.9959	ISO-IEC 14543-3-10
<b>Rango de Radio Frecuencia</b>	900 MHz en EEUU, 868 MHz en Europa, and 2.4 GHz resto del mundo.	2400 MHz	900 MHz	868 MHz en Europa, 315 MHz América y Asia
<b>Ancho de Banda</b>	20-250 Kbps (bajo)	720 Kbps(1 Mbps de capacidad bruta) (medio)	9,6-40 Kbps (muy bajo)	125 Kbps (bajo)
<b>Longitud Mínima del telegrama</b>	30- 4 ms	0,7 ms	20 ms	0,6 ms
<b>Rango de transmisión</b>	10-100 m	10m	30 m	300m
<b>Modulación</b>	BPSK/BPSK/ O-QPSK	GFSK	FSK /GFSK	ASK
<b>Riesgo de Colisión de datos</b>	Baja	Muy Baja	Media	Muy Baja
<b>Consumo de Energía</b>	30mA transmitiendo, 3mA en reposo	40mA transmitiendo, 0.2mA en reposo	Muy baja	Extremadamente baja
<b>Uso de Baterías</b>	Si	Si	Si	No
<b>Aplicación</b>	Domótica, control remoto, redes inteligentes	Redes de computadoras (Impresoras y PDAs)	Domótica, Seguridad	Monitoreo y Control
<b>Mercado de Aplicación</b>	Doméstico e industrial	Doméstico y oficina	Luces y Residencial	Edificios
<b>Seguridad de comunicación</b>	Si	Si	Si	No
<b>Interferencias con WLAN</b>	Si	Si	No	No
<b>Nº máx dispositivos en malla</b>	256	8	232	
<b>Tamaño de la red</b>	65536	8	232	2^32
<b>Nivel de penetración y Competitividad</b>	Sistema poco maduro a nivel de mercado:	Lleva varios años en el mercado con buena	Mayor competidor de ZigBee y con	Ensayado, probado y fiable, han sido instaladas en

	OSIRIS y Control4	acogida por parte de los usuarios	mayor impacto real de Mercado	decenas de miles de edificios.
<b>Implementación</b>	Elevadas prestaciones de control		Elevadas prestaciones de control	Elevadas prestaciones de control e interoperabilidad
<b>Costos por ciclo de vida</b>	Precio reducido, medio	Precio reducido, medio	Precio reducido, medio	Precio reducido, bajo

## **Análisis de las características Técnicas**

### **Uso de la batería**

ZigBee presenta una ventaja si es comparada con la tecnología Bluetooth ya que presenta bajos ciclos de trabajo, por lo que consume energía solo cuando es requerida, con respecto a la tecnología Z-Wave puede estar en el mismo nivel de consumo y con respecto a la tecnología EnOcean, esta no presenta baterías ya que opera con energía del ambiente, pero este método de consumo no es totalmente seguro y es preferible tener dispositivos con baterías pero de bajo consumo.

### **Transmisión de datos**

Si realizamos un análisis debido al ancho de banda que presentan cada una de las tecnologías, la tecnología Bluetooth presenta una gran ventaja con respecto a las otras tres, teniendo una proporción de 4 a 1, pero debido a las diferentes aplicaciones la tecnología ZigBee es la más óptima con respecto al tema referente de este proyecto, ya que en los sistemas domóticos e inmóticos no se requieren grandes anchos de banda para la comunicación entre dispositivos de una red.

### **Seguridad en la comunicación**

En el tema relacionado a la seguridad, ZigBee presenta la capacidad de encriptación AES de 128 bits, la misma que es muy robusta y permite la encriptación y la autenticación de todas las comunicaciones. Además utiliza dos tipos de claves de seguridad, la clave de enlace y la clave de red.

Así también el sistema Z-Wave presenta un método de encriptación AES128 y la tecnología EnOcean presenta una desventaja con respecto a otras tecnologías, ya que su nivel de seguridad es nulo haciendo vulnerable a la red inmótica a ataques

externos, por tanto las otras tres tecnologías presentan muy buenas propuestas de seguridad en su red de comunicación.

### **Frecuencias de transmisión e interferencias con otras redes**

La tecnología Bluetooth y ZigBee fundamentadas por los grupos de trabajo de la IEEE operan en las frecuencias de 2400 MHz principalmente, aparentemente presentan interferencias con la red WLAN (IEEE 802.11) ya que opera en el mismo rango de frecuencia, pero en la IEEE existe el grupo de trabajo especializado en la coexistencia entre estas redes, además de tener tasas de transferencia inferiores a las redes WLAN, por lo que esta característica no representa un problema.

Al contrario de Bluetooth y ZigBee las redes de En-Ocean no presentan interferencias con las redes WLAN y las redes de Z-Wave trabajan en la frecuencia de algunos teléfonos celulares presentando también una desventaja.

### **Dispositivos en la red**

La tecnología ZigBee presenta una ventaja con respecto a Bluetooth ya que puede soportar 256 dispositivos y una red extendida puede soportar un número de 256 subredes, mientras que Bluetooth soporta hasta 7 dispositivos.

En-Onocean se pueden conectar hasta  $2^{32}$  dispositivos lo que no es recomendable por condiciones de administración de la red y tiempos de retardo en la transmisión de datos.

### **Penetración en el mercado**

En este punto la tecnología ZigBee está respaldada por un centenar de empresas que conjuntamente desarrollan y fomentan las aplicaciones de esta tecnología, una de las empresas de renombre mundial que se mantiene en investigación y desarrollo de ZigBee es Texas Instruments, ellos han visto en ZigBee una apertura de mercado ya que los clientes cada día implementan más tecnologías inalámbricas de corto alcance a su vida cotidiana teniendo que ofrecer un robusto rango de opciones de dispositivos.

Por otra parte desde que Bluetooth salió al mercado sigue ganando seguidores y está respaldado por más de 1600 empresas de la industria, este crecimiento se debe a la adopción por parte de dispositivos portátiles de mano.

En cuanto a Z-Wave tenemos aproximadamente más de 200 fabricantes de dispositivos, que ponen en el mercado más de 600 productos siendo avalados por la Z-Wave Alliance, la desventaja que presenta Z-Wave es que presenta un protocolo cerrado comparándola con los dispositivos de Bluetooth y ZigBee que presentan protocolos abiertos.

## CAPÍTULO 3.

### 3. ESTANDAR ZIGBEE PARA EDIFICIOS INTELIGENTES

#### 3.1 EDIFICIOS INTELIGENTES

##### 3.1.1 DEFINICIÓN

**Intelligent Building Institute (IBI), Washington, D,C, E.U.**

*“Un edificio inteligente es aquel que proporciona un ambiente de trabajo productivo y eficiente a través de la optimización de sus cuatro elementos básicos: estructura, sistemas, servicios y administración, con las interrelaciones entre ellos. Los edificios inteligentes ayudan a los propietarios, operadores y ocupantes, a realizar sus propósitos en términos de costo, confort, seguridad, flexibilidad y comercialización.”<sup>14</sup>*

Un edificio inteligente cuenta con características que optimiza la eficiencia del mismo y es por ellos que está diseñado para proveer a los propietarios una serie de funciones y herramientas que mejoren su calidad de vida y a su vez, estos en el futuro no se vean afectados por cambios en la distribución interna o por la incorporación de nuevas tecnologías que se vayan desarrollando.

Es decir, la flexibilidad tanto en la estructura como en los servicios juega un papel muy importante en la funcionalidad del edificio.

El diseño de un edificio inteligente permite automatizar las instalaciones, integrar servicios, obtener un ahorro considerable de energía, mayor seguridad y confort, y por consiguiente una reducción de los altos costos de operación y mantenimiento.

Por tanto el diseño de este se enfoca en 3 aspectos principalmente:

- 1. Tecnológicos:** Los edificios inteligentes se basan en una serie de sistemas desarrollados para sustituir funciones humanas y tener mayor ventaja referente a las telecomunicaciones.
- 2. Sociales:** Buscan mejorar la calidad de vida de los propietarios.

---

<sup>14</sup> (Perez)

- 3. Económicos:** Buscan reducir el costo de operación y mantenimiento a mediano y largo plazo.

### **3.1.2 INFRAESTRUCTURA**

Los componentes de un edificio inteligente se describen a continuación de acuerdo al punto de vista funcional y estructural. [20]

#### **3.1.2.1 Aspecto Funcional**

##### **- Estructura del Edificio**

La estructura del edificio hace referencia, a la composición de sus elementos estructurales (techo, pisos, ventanas y paredes), y los acabados de interiores.

Así también, el edificio debe proveer la luz necesaria gastando el mínimo de energía, es por ello importante su ubicación para aprovechar así al máximo la luz solar.

##### **- Sistemas del Edificio**

Los sistemas del edificio son instalaciones que integran un edificio y proveen comodidades a los propietarios. Y entre los principales tenemos:

**Gestión de la energía:** Permite la administración del uso de la energía eléctrica en todos los equipos que la utilizan.

##### **• Iluminación**

Al realizar la gestión del sistema de iluminación, se busca aprovechar al máximo la luz natural para optimizar tanto el consumo de energía eléctrica como el confort visual para la adecuada realización de una actividad.

Un sistema de iluminación a su vez permite:

- Regular el nivel de luminosidad.
- Iluminar de acuerdo a la ocupación o movimiento.
- Iluminar una zona de trabajo de forma constante.
- Temporizar el encendido o apagado de una luminaria.

- **Climatización:**

El sistema de climatización debe ser instalada en cada área a monitorear, para lograr así, un ambiente con condiciones ambientales apropiadas de acuerdo a sus necesidades.

- Sistemas de calefacción, ventilación y aire-acondicionado, llamado HVAC (Heating\_Ventilation\_ Air- Conditioning).

**Gestión del confort:**

Mediante las tecnologías y sistemas de confort evita realizar tareas rutinarias y tener de esta manera mayor comodidad en la realización de las mismas.

- Accionamiento automático de Persianas
- Accionamiento automático de Puertas y ventanas
- Accionamiento automático de Electrodomésticos
- Música Ambiental.

**Seguridad**

Los sistemas de seguridad son de vital importancia, ya que cuenta con sistemas de alta tecnología que se encargan de cuidar la integridad de sus ocupantes.

Estos sistemas tienen la capacidad de:

- Prevenir potenciales fuentes de peligro.
- Recibir avisos en el momento que se dé el ataque.
- Reaccionar una vez producido el ataque.

Los sistemas de seguridad son:

- Sistema anti-incendios:
- Control de Acceso:
- Detección de fugas de gas.
- Simulación de Presencia
- Detección de Presencia

## **Comunicaciones**

### **- Servicios del Edificio**

Los servicios del edificio satisfacen las necesidades de los propietarios de manera eficiente y optimizan el consumo de energía.

Los servicios que presenta un edificio inteligente son los siguientes:

- comunicación (voz, datos y video)
- automatización de oficinas
- FAX y fotocopiado
- correo electrónico
- limpieza y mantenimiento
- estacionamientos y transporte
- directorio del edificio

### **- Administración del Edificio:**

La administración del edificio provee herramientas para el control y mantenimiento de los distintos sistemas que están incorporados en el mismo (Sistemas de seguridad, energía, y comunicaciones).

## **3.1.2.2 Aspecto Estructural**

### **- Flexibilidad del Edificio**

Un edificio flexible, no se verá afectado en el futuro por cambios en la distribución interna o por incorporación de nuevas tecnologías.

### **- Integración de Servicios**

Se refiere a la integración del control, administración y mantenimiento de todos los sistemas y servicios del edificio.

### **- Diseño**

El diseño del edificio debe ser desarrollado de forma cuidadosa para que la vida útil del mismo no se vea afectado.

### 3.1.3 COMPONENTES

Los elementos que conforman un sistema Inmótico son:

#### 3.1.3.1 Controlador

Un controlador es el elemento principal de un sistema de control que enlaza un sensor con un actuador. Es decir este es el que gestiona todo el sistema.

#### 3.1.3.2 Sensor

Los sensores son aquellos que detectan cambios en las variables del entorno (por ejemplo, la temperatura, luminosidad) y envían al sistema de control, para que a su vez le entreguen a los actuadores y se ejecute las tareas programadas.

#### 3.1.3.3 Actuador

El actuador recibe información del sistema de control y es activado para ejecutar las tareas programadas.

### 3.1.4 ARQUITECTURA

La arquitectura de un sistema Inmótico hace referencia al modo en el cual los sistemas de control van a ser ubicados. Y puede ser de distintos tipos que se detallan a continuación. [21]

#### 3.1.4.1 Arquitectura Centralizada

Un controlador centralizado recibe toda la información de las entradas (sensores), procesa y envía a las salidas (actuadores) las órdenes correspondientes. Si el sistema de control falla todo deja de funcionar.

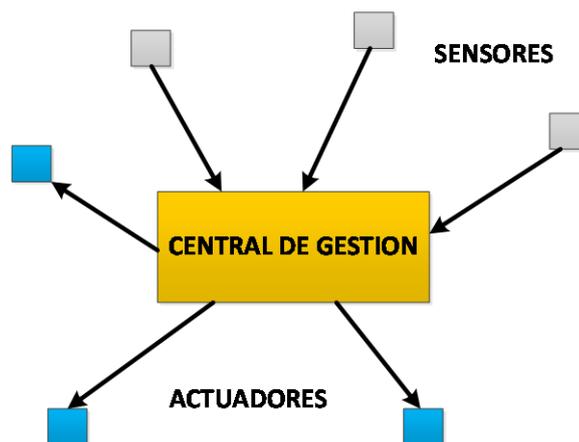


Figura 3. 1: Arquitectura Centralizada

### 3.1.4.2 Arquitectura Distribuida

Toda la inteligencia está distribuida, por todos los elementos ya sean sensores o actuadores. Es decir cada uno de estos actúa de forma independiente.

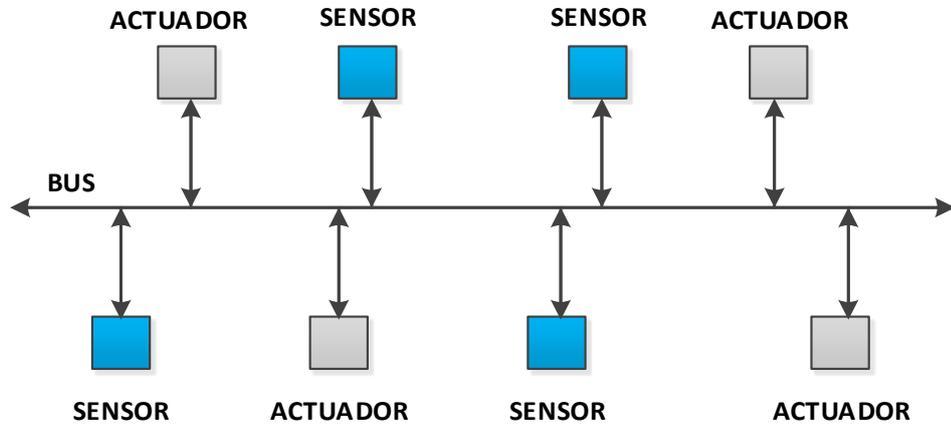


Figura 3. 2: Arquitectura Distribuida

### 3.1.4.3 Arquitectura Mixta O Híbrida

Los sistemas híbridos se forman por la combinación de las arquitecturas centralizada y distribuida. Es decir dividimos la instalación a controlar en zonas de forma distribuida, y cada zona se controla de forma centralizada. La inteligencia de este sistema está localizada en todos los nodos de control y necesita de un protocolo de comunicaciones para que estos generen una acción coordinada.

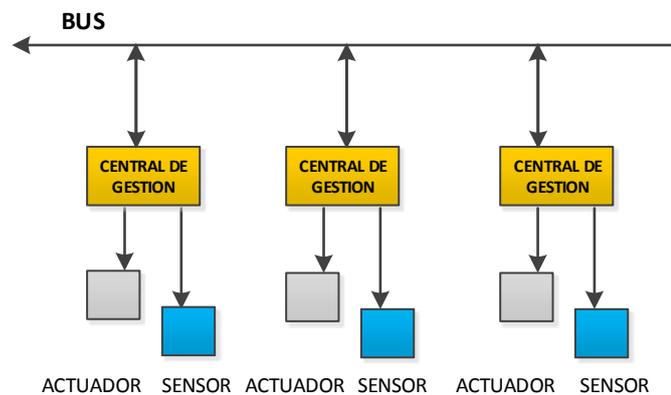


Figura 3. 3: Arquitectura Mixta o Híbrida

### **3.1.5 GRADOS DE INTELIGENCIA**

#### **3.1.5.1 Grado De Inteligencia Mínimo (Grado 1)**

Existe una automatización del edificio, aunque cada sistema funciona de forma independientemente. Es por ello necesario mayor gestión para el mantenimiento.

#### **3.1.5.2 Grado De Inteligencia Medio (Grado 2)**

Existen servicios de automatización y de telecomunicaciones con un mayor grado de integración.

#### **3.1.5.3 Grado De Inteligencia Máximo (Grado 3)**

Todos los sistemas están completamente integrados y disponen de herramientas que faciliten la gestión.

### **3.2 TECNOLOGIAS PARA CONFORT**

#### **3.2.1 METODOS PARA CONTROL DE ILUMINACIÓN**

Entre los principales sistemas de un edificio inteligente podemos tener en cuenta al sistema de iluminación, cuyas características de operación y flexibilidad deben ser primordiales para brindar al usuario un bienestar y confort visual.

Enfocados en una característica de los edificios inteligentes, los métodos y técnicas que se detallan a continuación están basados en el uso eficiente de los recursos energéticos y de cómo a través de la tecnología ZigBee podemos aplicarlos a los diferentes sistemas de iluminación.

Todos los métodos y técnicas de control de iluminación para los edificios inteligentes están enfocados en el uso eficiente de la energía aplicando la tecnología ZigBee.

Para el desarrollo de estos métodos y técnicas de control de iluminación a través de la tecnología ZigBee se toman las sugerencias de la NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION en su Capítulo 13: EFICIENCIA ENERGETICA EN LA CONTRUCCION EN ECUADOR, la cual hace referencia a las características que

debe tener una edificación en el diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de iluminación, además se referencia los documentos:

- Guía Técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios.
- Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas

Estos documentos son elaborados por el COMITÉ ESPAÑOL DE ILUMINACIÓN (CEI) y el INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE)

### **Sistemas de regulación y control de iluminación**

La implementación y desarrollo de los sistemas de control de iluminación están enfocados en la reducción de los costos energéticos y de mantenimiento de los sistemas de iluminación, además de aportar flexibilidad en estos sistemas.

Entre las propiedades en los sistemas de iluminación debemos tener en cuenta los espacios que desean ser iluminados, los mismos que requieren ciertos niveles de iluminación, a los cuales podemos dar un control según su uso, aplicando técnicas como:

- Regulación y control manual de las luminarias.
- Regulación de los niveles de iluminación natural.
- Control por detección de presencia en el espacio a iluminar.
- Regulación y control por sistema centralizado.

Estos sistemas son los encargados en encender, apagar y regular la iluminación según: detectores de presencia o movimiento, fotocélulas que miden el nivel de iluminación de la luz natural, o por horarios establecidos.

Según el INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA de España, los sistemas mencionados aportan con un ahorro del 65% de energía dependiendo del tipo de instalación.

Para la clasificación de los tipos de control de iluminación se toma en cuenta las necesidades del usuario y las actividades que este desempeña por lo que se ha clasificado en los siguientes tipos:

### 3.2.1.1 Regulación Y Control Manual

El control manual de un espacio es indispensable ya que aporta flexibilidad al control y además da autonomía total al usuario de dicho espacio. El control manual debe ser sencillo en su instalación y en su aplicación.

De acuerdo a la tecnología ZigBee tenemos la siguiente topología lógica para control manual de luminarias:

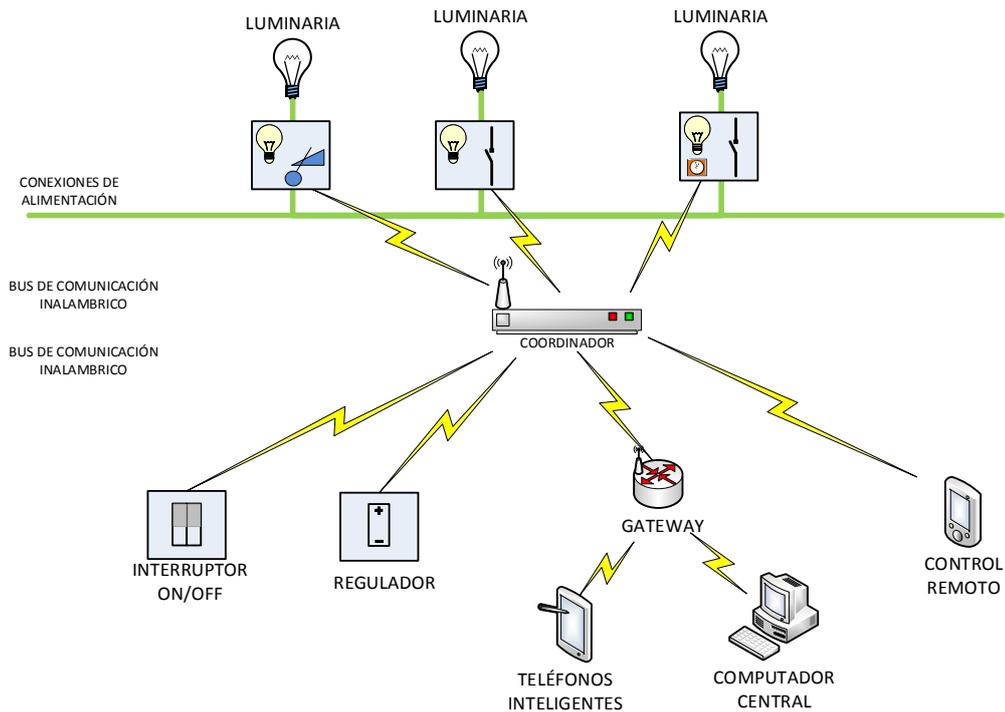


Figura 3. 4: Control Manual de luminarias desde diferentes dispositivos

#### - Componentes del control manual

De acuerdo a la tecnología ZigBee podemos tener diferentes dispositivos para el control manual, los cuales mantienen el mismo concepto de funcionalidad pero la diferencia es la interfaz con la que se muestran al usuario, por ejemplo para el Encendido/Apagado de una luminaria se puede comandar mediante un Interruptor on/off empotrado en la pared, tanto como desde la aplicación en un teléfono inteligente o desde el panel de control principal del departamento.

Se pueden describir los siguientes tipos de dispositivos: [7]

- **Interruptor On/Off**

El interruptor On/Off es capaz de enviar comandos de encendido, apagado o alternarlos para comandar a los dispositivos para activar o desactivarlos. Según ZigBee este tipo de dispositivo sólo debe ser usado con un dispositivo de las mismas especificaciones.

- **Reguladores**

Los elementos que funcionan como regulador pueden además de controlar el nivel de luminosidad de las luminarias., enviar comandos de encendido, y apagado.

Puede funcionar en concordancia con un interruptor on/off, pero posee un número de identificación independiente para cada dispositivo.

- **Aplicaciones en Teléfonos Inteligentes**

Los diferentes fabricantes de productos con tecnología ZigBee presentan diferentes aplicaciones para teléfonos inteligentes, estas aplicaciones ofrecen un control y monitorización total de todos los sistemas que están operando en el edificio como: Control de Luminarias (On/Off, Dimerización, Color, etc), Control de calefacción, control y monitoreo de alarmas, etc.

Entre los fabricantes que presentan aplicaciones para ZigBee tenemos: smartenit,osram.

- **Control desde un computador central**

Se puede tener el control y monitorización de todo el edificio a través de un Gateway ZigBee que está conectado a un computador central y se puede acceder de forma remota al mismo el cual nos aportara información acerca de todo el edificio.

- **Control remoto**

El control remoto es un dispositivo portátil, alimentado por una batería y con capacidades de leer el estado de un sensor de luminosidad, regular las luminarias de un ambiente, y realizar configuraciones para cambiar el valor del mismo.

### 3.2.1.2 Regulación Y Control Autónomo

El control autónomo de un espacio aportara al circuito el nivel de inteligencia que requiere el espacio a ser iluminado, este control es el que solventará el ahorro energético planteado en un edificio inteligente.

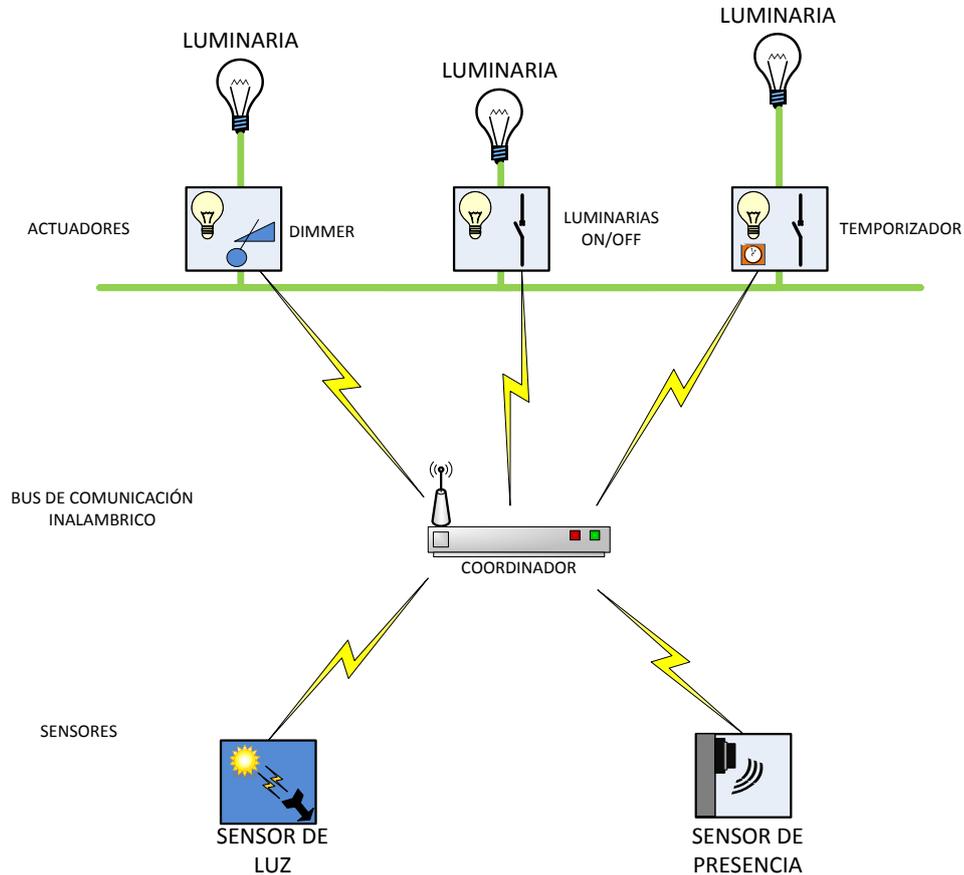


Figura 3. 5: Control Automático de luminarias desde diferentes dispositivos.

Para el control automático se tiene la interacción del coordinador, sensores y actuadores.

En los sistemas autónomos los sensores enviarán información, al coordinador, de los parámetros medidos dependiendo de su funcionamiento en la red, el coordinador recibirá la información la procesará y enviará comandos a los actuadores para que realicen la acción para la que fueron configurados.

Para el control automático de luminarias se tienen dispositivos como sensores de presencia, sensores de movimiento, sensores de nivel de luz, etc. Por parte de los actuadores tenemos reguladores, luminarias On/Off, etc.

Si agrupamos a todos estos elementos en diferentes configuraciones podemos obtener diferentes sistemas de control autónomo, como los siguientes:

- **Regulación y control de la luz artificial según el aporte de la luz natural**

Este sistema se lo utiliza principalmente para aprovechar el aporte de la luz natural que ingresa al edificio a través de ventanas u otros elementos de captación, el principal componente de este regulador es una fotocélula, ubicada en la luminaria o en el techo del espacio a iluminar, la cual mide la cantidad de luz total (natural + artificial) que existe en el interior. Estos valores medidos son enviados al coordinador el cual los procesa y dependiendo de la configuración se envía al actuador correspondiente para que regule la cantidad de luz artificial.

En algunos casos, si el nivel de luz natural excede a los niveles de iluminación determinados la luminaria se apaga.

Existen dos tipos de sistemas de regulación:

- Todo/Nada: La luminaria se enciende o se apaga dependiendo de los valores de iluminación que se ha configurado.
- Regulación progresiva: La luminaria se va ajustando de manera progresiva al aporte de luz natural hasta conseguir el nivel de iluminación configurado.

- **Control de iluminación artificial mediante detectores de presencia y movimiento**

Este es un sistema de control que es sensible a la presencia de usuarios en el espacio a iluminar, es aplicado en zonas en donde se tiene una ocupación intermitente.

El funcionamiento de este sistema se basa en el movimiento de calor corporal dentro de un área específica, el sensor capta dicho movimiento y envía señales de encendido y apagado al coordinador y dependiendo del estado del sensor se envía el comando a los actuadores. Se suele incorporar a este sistema tiempos de retardo para evitar la desconexión no deseada ya que una persona puede permanecer en la misma

posición por un largo periodo y el sensor tomara como la ausencia de movimiento, por tanto ausencia de presencia.

Existen 4 tipos de detectores de presencia:

- Infrarrojos
- Acústicos por ultrasonidos
- Acústicos por microondas
- Híbrido de los dos anteriores

#### - **Control de iluminación artificial mediante horarios y fechas**

Este tipo de control nos permite encender, apagar y regular el nivel de luz automáticamente. Para este control se debe realizar un plan horario, de acuerdo a días concretos de la semana, dividiendo entre días laborables y fines de semana.

Debe estar acompañado siempre de un control manual para darle autonomía al circuito y que el usuario la encienda, apague y regule cuando sea necesario. [30]

Según los dispositivos ZigBee se pueden tener la siguiente topología lógica para control automático de luminarias:

#### - **Componentes del control Automático**

Entre los componentes presentes en el control automático tenemos al coordinador, los routers y los dispositivos finales, cuyas características fueron descritas en el Capítulo I, en el caso de los dispositivos finales se ha clasificado a los elementos por su funcionamiento en el sistema, en esta clasificación se encuentran:

**Sensores:** Son los encargados del monitoreo de los eventos físicos que se presentan en los espacios a iluminar, los sensores trabajan como la interfaz entre el sistema inteligente del edificio y los elementos externos del sistema, estos elementos pueden ser los usuarios, el sol, el tiempo, etc.

Para los sensores tenemos los siguientes dispositivos: [7]

- **Sensor de Luz**

El sensor de luz es un dispositivo capaz de medir el nivel de luz de un área y enviar la información periódicamente al coordinador. Este dispositivo funciona con actuadores como reguladores de luz.

- **Sensor de Presencia**

El sensor de presencia o de ocupación informa al coordinador si un área tiene presencia de usuarios o no, este dispositivo opera con luminarias On/Off o con actuadores que cumplen la función On/Off.

**Actuadores:** Son los encargados de efectuar las acciones de control enviadas por el coordinador después de procesar la información recibida desde los sensores. Para el caso de la tecnología ZigBee los actuadores deben ser instalados cerca de las luminarias para aprovechar al máximo el control inalámbrico y solo tener el cableado de potencia.

Para los actuadores tenemos los siguientes dispositivos:

- **Luminaria On/Off**

Este dispositivo es una luminaria puede cambiar de encendido a apagado.

- **Luminaria Regulable**

El dispositivo regulable de luz puede ser encendido, apagado, y cuyo nivel de luminancia se puede controlar.

- **Luminaria de color Regulable**

Este dispositivo puede ser encendido, apagado, y se puede controlar sus niveles de luminancia, tono y saturación.

- **Balastro On/Off**

Este es un dispositivo para el arranque y la regulación de lámparas fluorescentes y de descarga, que se pueden encender y apagar pero no tienen la capacidad de atenuarse.

- **Balastro Regulable**

Es un dispositivo para el arranque y la regulación de las lámparas fluorescentes y de descarga.

### **Clasificación de los espacios en Edificios Habitacionales**

Los espacios habitacionales de acuerdo a la NEC se clasifican de la siguiente manera: [22]

- Espacios de uso activo.- En este grupo se incluyen espacios como:
  - Cocinas
  - Áreas sociales.-Salas, comedores, circulaciones.
  - Áreas de descanso.- Dormitorios, habitaciones, sala de estar.
- Espacios de uso pasivo.- Se incluye a:
  - Áreas húmedas.-Baños, lavanderías, patios interiores, jardines.
  - Áreas no habitables.-Bodegas, parqueaderos, vestidores.

### **Iluminación en espacios de uso activo**

Para la iluminación de espacios de uso activo se recomienda el control manual de la luminaria principal y si se requiere luminarias auxiliares se puede aplicar el control por regulación en función de la luz natural.

### **Iluminación en espacios de uso pasivo**

Para la iluminación en espacios de uso pasivo se recomienda el control automático de las luminarias, por ejemplo para baños, pasillos, bodegas, parqueaderos y vestidores se puede aplicar un control con dos sistemas; el Control de iluminación artificial mediante detectores de presencia y movimiento y un control por horarios y fechas para que las luminarias no se enciendan cuando existe aporte de la luz exterior.

### 3.2.2 METODOS PARA CONTROL DE CLIMATIZACIÓN

Otro de los sistemas de gran importancia en un edificio inteligente es el sistema de climatización, en donde las características de funcionalidad, y del consumo eficiente de los recursos energéticos son de suma importancia para brindar al usuario bienestar y confort.

Los sistemas de climatización están enfocados en el confort térmico de un determinado espacio y en el ahorro energético que se va a emplear en este confort. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción una edificación debe constar con las siguientes características de Confort térmico:

- Temperatura del aire ambiente: entre 18 y 26 °C
- Temperatura radiante media de superficies del local: entre 18 y 26 °C
- Velocidad del aire: entre 0,05 y 0,15 m/s
- Humedad relativa: entre el 40 y el 65 %

Con respecto al consumo de energía, cuando opera el sistema de climatización rodea el 60% del consumo total de todo el edificio por lo que la propuesta de ZigBee es aplicar métodos y técnicas para reducir el consumo energético y de esta manera aumentar el nivel de inteligencia del edificio.

De igual manera para el estudio de los métodos de control de climatización se toman las sugerencias de la NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION en su Capítulo 13: EFICIENCIA ENERGETICA EN LA CONTRUCCION EN ECUADOR, en donde se detalla ciertas características que deben tener los sistemas climatizados.

La solución que nos presenta la Alianza ZigBee con respecto al control de la climatización se basa en los sistemas HVAC para edificios y se detalla en el estándar ZigBee para automatización de edificios.

#### **Sistema HVAC**

Un sistema HVAC, (por sus siglas en inglés Heating, Ventilating and Air Conditioning), es un sistema encargado de hacer más confortable las condiciones térmicas de un determinado espacio, teniendo en cuenta la calefacción, ventilación y el aire acondicionado. Este sistema incluye un conjunto de métodos y técnicas

encargados del estudio, tratamiento y monitoreo del aire con respecto a su enfriamiento, calentamiento, deshumificación, calidad, entre otros parámetros.

### **Elementos del sistema HVAC**

Los elementos más representativos que forman parte del sistema HVAC son los siguientes: [23]

- Motores o Bombas
- Ventiladores
- Conductores
- Sistema de Control (Termostatos, Controladores, Estaciones de Trabajo, Software)
- Sensores y Actuadores (Temperatura, Humedad, Presión, Válvulas, Variadores de Frecuencia)

En este documento analizaremos los elementos de Control, sensores y actuadores que se encuentran descritos en el estándar ZigBee.

### **Sistemas de regulación y control de climatización para Edificios Inteligentes**

Este escrito está fundamentado según la Norma Ecuatoriana de la Construcción en sus capítulos 13 y 14, que está basada en el estándar ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010.

### **A continuación se detalla los Tipos de Controles de los Sistemas HVAC**

#### **3.2.2.1 Control Térmico por Zona**

El control para la calefacción y refrigeración en un determinado espacio deberá ser controlado individualmente por sensores termostáticos ubicados en el espacio a climatizar.

En los espacios en donde el sistema de climatización funcionará de manera no simultánea se lo puede dividir en zonas de aislamiento, las mismas que se pueden agrupar en una sola siempre y cuando esta no supere los 2400m<sup>2</sup> y esté en el mismo piso.

Cada área deberá estar equipada con dispositivos de aislamiento capaces de cerrar automáticamente el suministro de aire acondicionado, aire exterior y el aire de escape de la zona.

### 3.2.2.2 Control Por Hora O Temporizados

Los sistemas de climatización deberán estar equipados con al menos uno de los siguientes tipos de control:

- Un control que pueden iniciar y detener el sistema en diferentes horarios durante siete días diferentes de la semana, y por un periodo de diez horas cuando ocurra un corte de energía.
- Un accionamiento manual temporizado que permita operar el sistema por un tiempo máximo de dos horas.
- Un sensor de presencia el cual es capaz de apagar el sistema cuando el espacio a climatizar no se encuentra ocupado por un lapso de 30 minutos.
- Un des accionamiento de seguridad el mismo que apague el sistema cuando las alarmas de seguridad se activen.

Excepción: Sistemas HVAC destinados a funcionar continuamente.

#### Dispositivos para el control de climatización

Entre los productos Zigbee que podemos implementar en sistemas de climatización podemos encontrar los siguientes tipos de sensores:

- **Termostato:** Se encarga de ajustar y mostrar las mediciones de temperatura y puede funcionar de forma conjunta o de forma independiente con sensores de humedad o presencia.  
La temperatura se puede ajustar de manera remota o de manera local en el dispositivo y dependiendo del fabricante se puede tener diferentes niveles de calibración.
- **Sensor de Temperatura:** Este dispositivo es el encargado de realizar todas las mediciones de temperatura ambiente y se encarga de alertar al panel de control cuando las temperaturas son extremadamente frías o calientes.
- **Bomba:** Es un dispositivo mecánico que tiene una velocidad variable y puede estar constituido por sensores y mecanismos de regulación para el control, normalmente se utiliza para el bombeo de agua o también se lo puede encontrar como bombas de aire caliente o bombas de calor.

- **Controlador de Bomba:** Este dispositivo es el encargado del control y configuración de una bomba de agua. Para su funcionamiento debe tener sensores de presión, temperatura, flujo y control de nivel, que mejoren el control sobre la bomba.
- **Sensor de Presión:** El sensor de presión es un dispositivo de medida, el cual envía reportes periódicamente, generalmente se lo utiliza para medir presión de líquidos.
- **Sensor de Flujo:** Al igual que el sensor de presión este es un dispositivo de medida que envía reportes periódicamente de la tasa de flujo de un líquido.
- **Sensor de Humedad:** Este dispositivo mide la humedad relativa existente en el ambiente y envía periódicamente reportes al controlador o coordinador. Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. La humedad tiene influencia dentro de un sistema HVAC ya que está íntimamente relacionada con la temperatura del aire, ya que generalmente si el aire está caliente tiene una humedad alta, y frío tendrá una baja humedad.

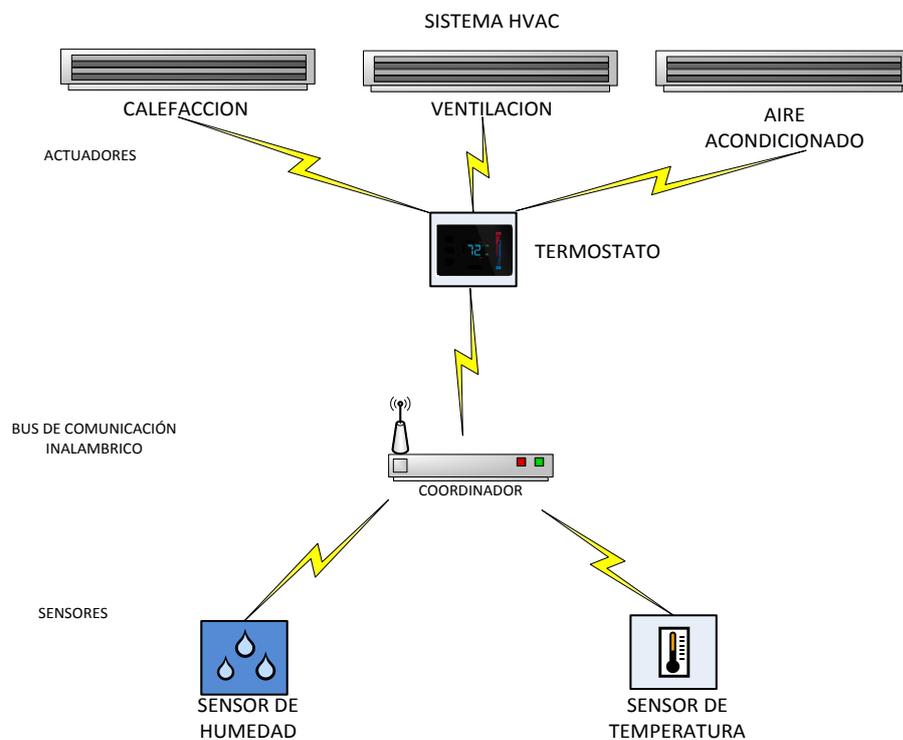


Figura 3. 6: Control del sistema HVAC

## Gateway para interconexión con otro tipo de protocolos.

### **L-GATE-950-Gateway inteconexión LonWorks, BACnet, KNX, Modbus,M-BUS, ZigBee.**

LGATE-950 y LGATE-951 son dispositivos que disponen de múltiples protocolos y medios de comunicación para la integración de cualquier bus de gestión del edificio en la instalación.

El equipo permite inteconectar Sistemas LonMark, redes BACnet, redes KNX, dispositivos Modbus, dispositivos M-BUS y equipos radiofrecuencia Zigbee PRO. Las variables de red se mapean en el dispositivo como binarias, analógicas o multi-state (entrada, salida, valor).

Los dispositivos LGATE se pueden interconectar utilizando su puerto Ethernet/IP a sistema LonMark IP-852, BACnet/IP, KNX/IP y Modbus TCP simultáneamente, o bien a través de los buses de campo Lon TP/FT-10, BACnet MS/TP, Modbus RTU (Master or Slave) y EXT usado para M-Bus (Master EN 13757-3), KNX TP1 (LKNX-300), o ZigBee PRO (LZIBI-800). El dispositivo permite comunicar simultáneamente por todos los puertos a la vez. [24]

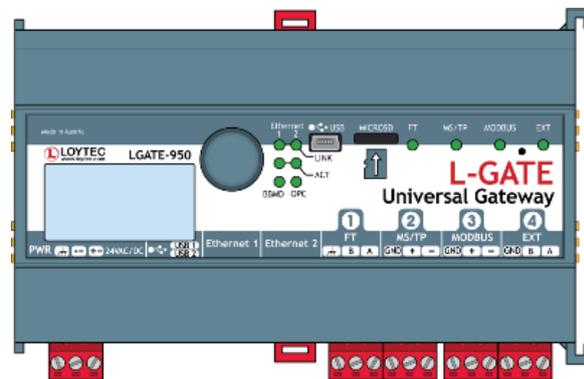


Figura 3. 7: LGATE- 950 [24]

## **BlueBox**

El sistema BlueBox es un sofisticado Gateway entre las redes ZigBee y las redes con tecnología MODBU y es compatible con sistemas SCADA.

La tecnología ZigBee ha tenido una expansión considerable en las aplicaciones Inmólicas y debido a la limitación que ponen las capas de software propietarias hacen incompatibles con sistemas de otros fabricantes.

El Dispositivo soporta una malla de sensores y actuadores ZigBee necesarios para el sistema de climatización. Entre los parámetros que se pueden medir tenemos los de: Temperatura, humedad, luminosidad, intensidad eléctrica, tensión, potencia, entradas optoacopladas, salidas por relé, etc. Todas ellas están integradas sin necesidad de cablear y plenamente compatibles con cualquier aplicación SCADA.

Los sensores combinados con los medidores inteligentes de energía han ayudado a optimizar el consumo energético en los sistemas de iluminación y climatización.

Este dispositivo cuenta con una tarjeta de red inalámbrica WiFi y conexión Ethernet, siendo capaz de conectarse con cualquier otro tipo de red y otros sensores o servidores, además se puede instalar un módulo para modem GPRS o 3G y así tener conexión a internet mediante las redes móviles GSM. [25]

Su fácil instalación y rapidez en el montaje, colocan a este dispositivo como uno de los ideales para ser utilizado en edificios ya construidos y donde no se desee redes cableadas a los sensores, representando un importantísimo ahorro.

La combinación de actuadores con los sensores nos permite tener el monitoreo y control de los espacios en función de la ocupación, temperatura externa, control temporizado o por horarios y bajo cualquier parámetro que se pueda programar en el esquema de un edificio inteligente.



*Figura 3. 8: Esquema de conexión con Gateway BlueBox [25]*

### **Terminal inteligente Zigbee con conexiones a Ethernet, USB y Wifi**

Este terminal puede funcionar como un Gateway para interconexión con otro tipo de red y como coordinador de toda la red ZigBee. Posee puertos de conexión Ethernet, USB y WiFi además de soportar conexión con modem 3G externa.



*Figura 3. 9: Coordinador/Gateway ZigBee y Modbus [26]*

Puede controlar hasta 10 sensores inalámbricos de la gama de productos ZigBee además de la capacidad de almacenamiento y envío de datos, su configuración es sencilla por medio de una interfaz Web/HTTP. [26]

### **3.3 GESTION DE CONTADORES INTELIGENTES**

ZigBee Smart Energy es un perfil diseñado por ZigBee Alliance para la gestión de energía, el cual fue desarrollado inicialmente para funcionar en una red ZigBee HAN y prestar apoyo a las necesidades Smart Metering and Advanced Metering Infrastructure (AMI).

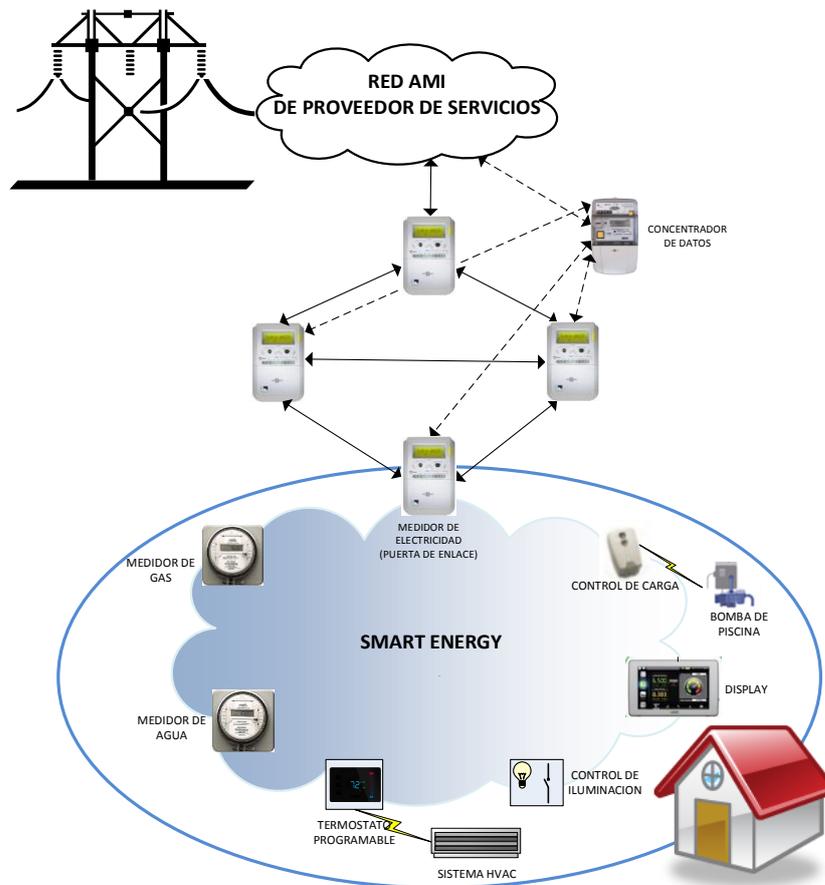


Figura 3. 10: Estructura del Sistema AMI

### 3.3.1 PERFIL “ZIGBEE SMART ENERGY”

Este perfil diseñado para dar soporte a las redes inteligentes denominado “ZigBee Smart Energy” permite realizar la medición del consumo de energía de los dispositivos dentro del inmueble y la gestión al conectarse con una compañía prestadora de servicios, para lo cual hace uso de dispositivos que se describen a continuación.

*“El Perfil ZigBee Smart Energy define características para aplicaciones de respuesta de demanda y manejo de carga para Energía Inteligente en ambientes residenciales o comerciales.”<sup>15</sup>*

<sup>15</sup> (Gonzalez, 2009)

### 3.3.1.1 Tipos de Dispositivos ZigBee Smart Energy

Los Dispositivos ZigBee Smart Energy son elementos lógicos, de manera que un dispositivo físico puede soportar uno o más dispositivos lógicos, en lo cual cada uno de ellos deberá residir en un único “end point”.

Los tipos de dispositivos se detallan a continuación: [27]

#### - **Energy Service Interface**

Este dispositivo sirve de interfaz entre la red de la compañía de suministro de energía y la red ZigBee (dispositivos de medición y gestión) que se encuentran dentro de la vivienda.

Además puede ser instalado dentro de un medidor, termostato o de una pantalla (In-Home display), sin embargo puede comunicarse de forma independiente mediante otro módulo de comunicaciones ya sea GPRS (General Packet Radio Service) para comunicaciones vía telefonía móvil, IP (Internet Protocol) para comunicaciones por Internet, PLC (Power Line Communication) para comunicaciones por el cable eléctrico, RF (Radio frequency), etc.

#### - **Metering Device**

Este dispositivo es un medidor de electricidad, gas, agua, etc que es capaz de enviar las lecturas periódicamente logrando así alargar la vida de las baterías al mantenerse en estado de reposo el resto del tiempo, aunque también es posible obtener las medidas en cualquier momento debido a que se encuentran conectados de forma permanente a la alimentación. Este además puede comunicar ciertos indicadores de estado del dispositivo (por ej. Batería baja, dispositivo manipulado).

#### - **In-Home Display**

Este dispositivo es una pantalla ubicada en la vivienda del usuario que le permite visualizar el consumo de energía actual, un historial de consumo por periodos, precios, o mensajes de texto en el cual la compañía puede indicar cambios de precio, franjas horarias, etc.

- **Programmable Communicating Thermostat**

Este dispositivo es capaz de controlar la climatización del hogar (frío y/o calor) recibiendo órdenes de gestión de demanda para modificar los valores de temperatura o incluso apagarse completamente en caso de sobrecarga en la red. También es posible enviar a la pantalla de gestión energética información sobre su consumo.

- **Load Control Device**

Este dispositivo es capaz de recibir eventos de gestión de la demanda para controlar ciertos dispositivos (por ej calentadores de agua, iluminación exterior, y bombas de piscina.) y desconectar en el caso de una sobrecarga en la red.

- **Range Extender**

Este dispositivo cumple la función de actuar como un dispositivo enrutador para otros dispositivos en la red HAN.

Los miembros de Alliance proporcionan a los consumidores, propietarios de edificios y a la industria energética productos interoperables y un estándar abierto que conecta al consumidor a la red de servicios públicos. El perfil de ZigBee Advanced Metering Infrastructure (AMI) permite la conexión entre las redes energéticas inteligentes con las redes ZigBee HAN a través de un medidor.

### **3.3.2 SISTEMA DE MEDICIÓN AVANZADA AMI**

*“Un sistemas AMI (Advanced Metering Infrastructure), a más de tener sistemas automáticos de medida, los sistemas de gestión de información se encuentran dentro de un modelo de comunicaciones bidireccional (two-way), que permite el intercambio de información entre la empresa de servicios y el medidor inteligente “Smart Meter” y viceversa.”<sup>16</sup>*

Este intercambio de información entre las empresas de servicio público (agua,gas y electricidad) y el medidor inteligente ubicado en el sitio del cliente se realiza en

---

<sup>16</sup> (Johan M, 2011)

tiempo real. Este medidor tiene la capacidad para obtener, almacenar y transmitir información hacia la empresa con finalidad de optimizar los procesos y la gestión para brindar mejores servicios a sus usuarios.

A continuación se describe la estructura de un sistema AMI:

### 3.3.2.1 Medidores inteligentes

Los medidores inteligentes realizan la función de interfaz o Gateway entre el sistema del usuario y el proveedor de servicios, los mismos que proporcionan lecturas en tiempo real del consumo efectuado de la electricidad, el agua y el gas y se transmite de forma inmediata hacia la empresa para su gestión.

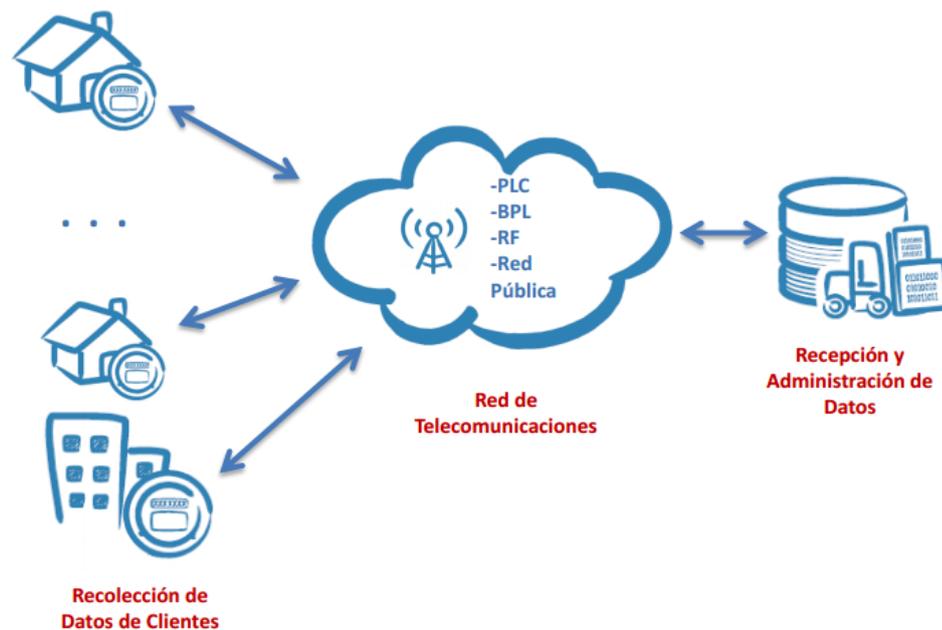


Figura 3. 11: Esquema de Gestión de medidores inteligentes [28]

No obstante el usuario al poder establecer sus políticas de consumo y ahorro de energía forma parte de dicha gestión. En las empresas son de gran utilidad ya que permiten implementar nuevos programas de medición para reducir errores de lectura y respuesta a la demanda para impulsar un mayor manejo y uso eficiente de la energía. Así también se reduce la cantidad de recursos humanos y tiempo que se invierte en la toma de lecturas e introducir los datos en el sistema de gestión. Haciendo que estas se mantenga conectada e intercambien información en tiempo real y no actúen de forma independiente hasta el momento de la facturación.

Un medidor puede funcionar también como el coordinador de la red, enviando y recibiendo información hacia los dispositivos conectados a este y a su vez se encarga de transferir la información hacia la compañía eléctrica. Por ejemplo un termostato puede realizar estas funciones.

### **Seguridad:**

La seguridad es un requisito clave debido al tipo de información que se maneja dentro de una red eléctrica inteligente. Es importante validar la identidad de cada dispositivo que se encuentre conectado a la red para asegurar la integridad y confidencialidad de la información que brindan los dispositivos (contadores).

La alianza ZigBee adopta el cifrado AES-CCM\*, que está basado en una clave simétrica de 128 bits, que han de conocer todos los dispositivos que deban compartir información. Dentro de ZigBee existen dos modos de seguridad:

**El estándar.-** Que es usado por aplicaciones como la domótica en donde cualquier dispositivo puede acceder a la información transmitida, ya que todos comparten una misma clave, "Network Key".

**Alta seguridad.-** Definido en el estándar ZigBee PRO, que es el usado por el perfil Smart Energy. En donde se establecen claves privadas a nivel de aplicación "Application Link Key" entre cada dos dispositivos que quieren compartir información.

La gestión de claves la realiza un dispositivo denominado "Trust Center", que ha de coincidir con el "Energy Service Interface" en una red Smart Energy. El mismo que se encarga de distribuir las claves simétricas al resto de dispositivos que forman la red. Para distribuir la clave de red de forma segura, se usa un mecanismo de cifrado en el cual se hace uso de una clave de enlace "Link Key" que es única para cada dispositivo que quiere unirse a la red y se preconfigura durante su fabricación.

Para hacer llegar la clave de enlace al Trust Center consiste en:

- Generar un código de instalación aleatorio en el proceso de fabricación para cada dispositivo ZigBee.

- Mediante una función Hash “Matyas-Meyer-Oseas”, a partir de este código de instalación se genera una clave de enlace y se graba en el dispositivo.
- Cuando se quiere instalar el dispositivo en una red, dicho código de instalación ha de hacerse llegar a la compañía, donde esta vuelve a aplicar la misma función Hash al código para obtener la clave de enlace y ésta se envía a la red ZigBee a través del "Energy Service Interface".

Cuando se usa un nivel de seguridad alto, se usa además una clave de enlace de aplicación. En este caso, una vez que un dispositivo se ha unido a la red mediante su clave de enlace preconfigurada, se establece una clave de enlace de aplicación con el Trust Center. Esta clave se establece usando certificados. De esta forma la clave no se transporta por la red, sino que se establece de común acuerdo entre ambos dispositivos intercambiando una serie de información. De allí el Trust Center generará una clave de enlace de aplicación privada para ambos y se la enviará cifrada usando la clave de enlace de aplicación entre cada dispositivo y el Trust Center.

## **Ventajas y Desventajas de los medidores Inteligentes**

### **Ventajas:**

- Los medidores inteligentes pueden ser instalados en sitios sin accesos externos.
- Los medidores inteligentes pueden estar conectados a un IHD que le permitirá al usuario gestionar el consumo en tiempo real.
- La facturación será real, debido a que la información del consumo efectuado será más preciso y detallado.
- Los medidores inteligentes son capaces de generar un reporte cuando alguien trata de manipularlos.
- Las incidencias se detectarán y se resolverán de forma inmediata, incluso antes que el usuario genere un reporte.
- Los usuarios podrán acceder a los medidores inteligentes de forma remota.

### **Desventajas**

- La pérdida de muchos puestos de trabajo (lector de contador).
- Su precio es mayor con respecto a los tradicionales.

## **CAPÍTULO 4.**

### **4.1 CONCLUSIONES**

Debido a la evolución de las comunicaciones inalámbricas la tecnología ZigBee aporta con un mayor número de aplicaciones para la transmisión de información, no solo en el campo de la Inmótica como se detalla en este documento, sino tendrá relevancia en los campos industriales, de educación y de salud, debido a que tiene un estándar que puede ser usado en un sin número de entornos y la facilidad que representa tener sistemas no cableados.

Gracias a la versatilidad de los dispositivos ZigBee, la aplicación de esta tecnología es sencilla, su aplicación se puede realizar en construcciones en proceso o en edificaciones ya construidas con la ventaja que no es necesaria ninguna obra civil, ni arquitectónica ya que no se necesita de realizar tendido físico para el medio de transmisión.

La tecnología ZigBee presenta una ventaja con respecto a otros tipos de tecnologías de comunicación inalámbrica, ya que puede tener un gran número de dispositivos conectados en su red, además de tener un robusto sistema de seguridad en su comunicación, opera en bandas de radiofrecuencia libres, mantiene un ahorro de energía alargando la vida útil de sus baterías y maneja una baja tasa de transferencia haciéndolo ideal para las aplicaciones inmóticas presentadas en este documento.

La Tecnología ZigBee cuenta con una gran variedad de dispositivos disponibles en el mercado, capaces de solventar diversos requerimientos y aplicaciones que se plantean en el campo de la automatización y control, esta ventaja que presenta frente a otras tecnologías inalámbricas se debe a que la Alianza ZigBee cuenta con alrededor de 370 miembros entre adoptantes, participantes y promotores, haciéndola una de las organizaciones de automatización más grandes del mundo.

A través de esta investigación se analizó la factibilidad de la aplicación de la tecnología ZigBee en la ciudad de Cuenca, concluyendo en que esta tecnología

inalámbrica es ideal para construcciones verticales en donde se desea tener cierto nivel de inteligencia del edificio, tomando en cuenta algunas recomendaciones en cuando al diseño y la implementación de acuerdo al tema de propagación en interiores.

Para el diseño e instalación de una red ZigBee es necesario la participación de profesionales de distintas áreas para tener un funcionamiento en óptimas condiciones, ya que se debe tener en cuenta los diferentes sistemas que involucra la automatización de un edificio como: la infraestructura, sistemas de iluminación, climatización, seguridad y comunicaciones, etc.

Un punto relevante en las edificaciones inteligentes es el ahorro energético que se puede obtener por el uso eficiente de las instalaciones de iluminación, o por los sistemas HVAC, sin embargo, presentamos otros beneficios como la reducción de las labores de administración, el grado de confort que logran los ocupantes, tomando en cuenta en el momento de evaluar un edificio.

La tecnología más adecuada entre los sistemas inalámbricos para incursionar en el campo de la inmótica y la domótica es ZigBee, ya que gracias a las diferentes topologías de red que puede conectarse (estrella, árbol, malla), se garantiza la conexión de todos los dispositivos de la red, disminuyendo los puntos de falla y si uno de los productos falla, los otros siguen comunicándose sin interrupciones.

Gracias a la interoperabilidad que presenta el estándar todos los productos ZigBee pueden conectarse entre sí aun cuando sean de diferentes fabricantes y si se desea tener operatividad con otro tipo de tecnología como Ethernet o Wifi, existen Gateway de interconexión para tener incluso el control desde un teléfono inteligente o remotamente a través del internet.

La tecnología ZigBee se la puede catalogar como una tecnología de bajo consumo, alargando la vida útil de sus baterías por lo que se reduce el mantenimiento de sus dispositivos, esta característica es muy importante si se

relaciona con otro tipo de tecnologías de redes de área personal, ubicando a ZigBee como una tecnología de vanguardia en el campo de la automatización.

Uno de los ámbitos negativos de esta tecnología es el poco desarrollo o la poca incursión que esta presenta en nuestro país, presentándose problemas en los costos de los dispositivos y en la mayoría de los casos si se desea desarrollar redes inalámbricas se debe importar todos los dispositivos que conformaran nuestra red.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

Por medio de este documento se recomienda la validación del Software de simulación desarrollado, para corrección de errores y para que sirva como una herramienta practica para profesionales relacionados con la Inmótica que deseen aplicar redes inalámbricas ZigBee.

Para la ubicación de dispositivos:

Gracias al software de simulación para interiores que se desarrolló en el tema planteado, se puede tener algunas recomendaciones para la ubicación de dispositivos en el espacio a automatizar:

Dependiendo de los materiales utilizados para la construcción y de las características técnicas que posean los dispositivos ZigBee, se puede tener por departamento un router que servirá como repetidor de la señal del coordinador.

Se puede ubicar un coordinador por piso o en el mejor de los casos se puede ubicar un coordinador por departamento, con lo que garantizamos que cada inmueble sea independiente de sus vecinos.

Otro motivo de tener un coordinador por piso o por departamento es el alto nivel de atenuación que existe en la propagación entre pisos de un mismo inmueble, con esto garantizamos que todos los dispositivos aplicados en los diferentes espacios del departamento estén siempre conectados y que la información que se transmite sea confiable.

Si es necesaria la ubicación de routers en la distribución de dispositivos se debe realizar en un lugar céntrico del área de cobertura en donde se tenga niveles de potencia recibida menores a los descritos por el fabricante del dispositivo, con esto garantizamos la conexión de todos los dispositivos.

Para la iluminación:

Para las siguientes recomendaciones es necesario tener en cuenta el mando manual de las luminarias ya que de esta manera garantizamos la independencia total del sistema de iluminación.

Se recomienda la regulación del nivel de iluminación en espacios o áreas sociales, ya que estos espacios son los que tienen un mayor consumo energético en un edificio inteligente y al controlarlos podemos tener un mayor aprovechamiento de la luz natural.

En los baños se recomienda la instalación de sensores de presencia o sensores de movimiento de esta manera garantizamos que este espacio va a estar iluminado solo cuando se encuentre en uso.

En la iluminación de oficinas se recomienda el control por medio de horarios o fechas, de esta manera garantizamos que dicho ambiente estará iluminado solo en el tiempo en que las oficinas se encuentran con personal.

Se puede tener un control de iluminación por escenas para lograr un mayor confort visual, pero la desventaja de esta aplicación es que los costos de control RGB para luminarias son altos por lo que no sería conveniente aplicarlos a nuestra red si queremos optimizar recursos económicos.

Para sistemas de calefacción:

Como el proyecto se centra en la aplicación de tecnología ZigBee en la ciudad de Cuenca, por lo general en las edificaciones construidas en la ciudad no se enfocan en este tipo de control, pero si fuese necesario la implementación de sistemas de

Calefacción, refrigeración o aire acondicionado se recomienda la instalación de un Gateway que sirva de interfaz entre los sensores ZigBee y el sistema HVAC, de esta manera podemos aplicar sensores inalámbricos en el sistema HVAC.

## Bibliografía

- [1] Garzón, C. C. (2010). *Análisis y estudio de impacto de la tecnología ZigBee aplicado a la domótica en el Ecuador*. Quito: UPS.
- [2] ZigBee, A. (s.f.). *ZigBee Alliance-Our Members*. Recuperado el Mayo de 2014, de <http://www.zigbee.org/About/OurMembers.aspx>
- [3] Trujillo, D. F. (2009). *Diseño de un sistema de vigilancia no convencional basado en redes ZigBee (802.15.4) para realizar un control sobre equipos de video e integración a sistemas de supervisión de mayor jerarquía*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- [4] Acosta Ponce, M. C. (Enero de 2006). Estudio del Estándar IEEE 801.14.4 "ZigBee" para Comunicaciones Inalámbricas de área personal de bajo consumo de energía y su comparación con el estándar IEEE 802.15.1 "Bluetooth". Quito, Ecuador.
- [5] Tituaña, M. B. (2010). *Implementación de un prototipo de comunicaciones mediante la utilización del estándar IEEE 802.15.4*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- [6] Fierro, A. V., & Lapo, J. F. (2012). *Diseño, Construcción e Implementación de un prototipo de sistema de control domótico supervisado y no supervisado usando la tecnología GSM y ZigBee, para la empresa Soft Teratronic*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- [7] ZigBee, A. (s.f.). *ZigBee Specification Download Request*. Recuperado el Mayo de 2014, de <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/download.aspx>
- [8] Faudot, I. B. (2008). *ZigBee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos*. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona.
- [9] Villacrés, S. X. (2009). *Análisis del desempeño de una red WPAN en el estándar IEEE 802.15.4 utilizando Network Simulator 2*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- [10] Koubâa, A., Alves, M., Tovar, E., & Cunha, A. (2008). *An implicit GTS allocation mechanism in IEEE 802.15.4 for time-sensitive wireless sensor networks: theory and practice*. ACM Digital Library.
- [11] Falconi Cepeda, L. F., & Jimenez Yedra, C. R. (2009). Estudio e Implementación de domótica activado por comandos de voz y comunicación en ZigBee. Riobamba, Ecuador.
- [12] Arriagada Albarran, h. (17 de Junio de 2010). *Scribd - Clasificación de las Redes Inalámbricas*. Recuperado el Junio de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/33193823/7/Clasificacion-de-las-Redes-Inalambricas>

- [13] *Capitulo 1 Importancia de las redes WLAN.* (s.f.). Obtenido de <http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/217/2/Capitulo%201.pdf>
- [14] Novoa Reyes, A. P., & Reyes Ruiz, R. F. (Octubre de 2007). Análisis, Estudio Y Site Survey Para Investigar La Factibilidad Con Respecto A La Cobertura De Señal Wireless Basada En El Estándar 802.11 (Wi-Fi) En El Campus Sur De La Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.
- [15] Zavala Yerovi, A. Y. (2010). Estudio de Qos sobre WLAN utilizando el Estándar 802.11e aplicado a transmisiones de Sistemas Multimediales en tiempo real. Riobamba, Ecuador.
- [16] *Clasificación de las redes.* (s.f.). Obtenido de <http://redesadsi.wordpress.com/clasificacion-de-las-redes/>
- [17] Suquilanda Villa, T. V., & Idrovo Torres, M. A. (s.f.). Diseño Y Montaje De Enlace Inalámbrico Para Transmisión De Datos Utilizando Tecnología Bluetooth.
- [18] *onoffing domotica + inmotica.* (14 de Noviembre de 2012). Recuperado el Junio de 2014, de Tecnología inalámbrica EnOcean: <http://www.onoffing.com/1/post/2012/11/tecnologa-inalmbrica-enocean.html>
- [19] *onoffing domotica + inmotica.* (20 de Febrero de 2013). Recuperado el Junio de 2014, de Tecnología inalámbrica Z-Wave: <http://www.onoffing.com/1/post/2013/02/tecnologa-inalmbrica-z-wave.html>
- [20] Cuadrado, E. M. (2000). *Análisis Cualitativo De Los Sistemas De Telecomunicación Y Computación En Edificios.*
- [21] Yanez, M. M. (2012). *Diseño Interior De Un Centro De Capacitación Ejecutiva Con Aplicación De Tecnología Inteligente.*
- [22] Eficiencia Energética En La Construcción Del Ecuador . (s.f.).
- [23] Acurio, S. J. (s.f.). Elaboración De La Memoria Técnica Del Diseño De Un Sistema Hvac (Sistema De Calefacción, Ventilación, Y Aire Acondicionado) Para La Sala De Cuidados Intensivos De Los Hospitales Nivel Tres. Latacunga.
- [24] *Eficiencia Energética y Control.* (s.f.). Obtenido de <http://www.e-controls.es/iluminacion/pasarelas-multiprotocolo/l-gate-950/274-27.html>
- [25] *InfoPLC.* (16 de Julio de 2014). Obtenido de BlueBox Gateway Modbus Zigbee para Telecontrol y Eficiencia Energética: <http://www.infoplcn.net/noticias/item/102032-bluebox-gateway-modbus-zigbee-telecontrol-eficiencia-energetica>
- [26] *Todo en Domótica, Inmótica y Control.* (s.f.). Obtenido de <http://www.domodesk.com/terminal-inteligente-zigbee-con-conexiones-a-ethernet-usb-y-wifi>

- [27] Draft ZigBee Smart Energy Standard. (3 de Septiembre de 2014).
- [28] Proyecto AMI CentroSur. (4 de Junio de 2013). Cuenca.
- [29] ICP DAS. (2013). Recuperado el Febrero de 2015, de <http://www.icpdas.com/index.php>
- [30] Bticino. (2014). MY HOME – Technical sheets. Recuperado el Febrero de 2015, de <http://www.bticino.com>
- [31] Netvox. (2015). Intelligent Home Automation System. Recuperado el Febrero de 2015, de [www.netvox.com.tw](http://www.netvox.com.tw)
- [32] Mi Energia. (2015). MiEnergia. Recuperado el Febrero de 2015, de <http://www.mienergia.cl/>
- [33] ITRON. (2015). Retrieved Febrero 2015, from <https://www.itron.com>
- [34] DEVELCO. (2013). Develco Products. Recuperado el Febrero de 2015, de <http://www.develcoshop.com>
- [35] Comatel, S.L. (2012). Recuperado el Febrero de 2015, de <http://comatel.net/>
- [36] Domus Wire. (2010). Recuperado el Febrero de 2015, de [www.domuswire.com](http://www.domuswire.com)

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

2015

# MANUAL PARA LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ZIGBEE PARA EDIFICIOS INTELIGENTES EN LA CIUDAD DE CUENCA

Ma. Augusta Loyola  
Paul Becerra  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA



## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	95
CRITERIOS DE DISEÑO.....	97
1. UBICACIÓN DE DISPOSITIVOS .....	97
1.1 COORDINADOR.....	97
1.2 ROUTER .....	97
1.3 DISPOSITIVOS FINALES .....	97
2. MÉTODOS PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS.....	100
2.1 CONTROL DE ILUMINACIÓN .....	100
2.1.1 Regulación Y Control Manual.....	100
2.1.2 Regulación Y Control Autónomo.....	101
2.2 CONTROL DE CLIMATIZACIÓN .....	103
2.2.1 Control Térmico por Zona .....	103
2.2.2 Control Por Hora O Temporizados.....	103
2.3 CONTROL DE SEGURIDAD .....	104
2.3.1 Prevención contra intrusión .....	104
2.3.2 Detección de fugas de gas.....	105
3. DISPOSITIVOS PARA APLICACIÓN .....	105
3.1 COORDINADOR.....	106
3.2 ROUTER .....	106
3.3 DISPOSITIVOS FINALES .....	107
3.3.1 Dispositivos Para Iluminación .....	107
3.3.2 Dispositivos Para Climatización.....	112
3.3.3 Dispositivos Para Seguridad .....	113
SIMULACIÓN DE RED.....	120
4. SOFTWARE DE SIMULACIÓN.....	120
4.1 REQUERIMIENTOS .....	121
4.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO.....	121
4.2.1 Herramientas Básicas.....	122
CRITERIOS DE INSTALACIÓN.....	131
5. DIAGRAMA FUNCIONAL.....	131
6. CONFIGURACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.....	132

6.1	SELECCIONAR UN DISPOSITIVO COMO COORDINADOR.....	133
6.2	AGREGAR DISPOSITIVOS A LA RED.....	134
6.3	ASOCIAR DISPOSITIVOS.....	135

## Índice de Figuras

Figura 1. 1: Esquema de Emplazamiento.....	99
Figura 2. 1 Control Manual de luminarias .....	100
Figura 2. 2 Control Automático de luminarias .....	101
Figura 2. 3 Control Del Sistema HVAC .....	104
Figura 2. 4 Control Del Sistema De Seguridad.....	105
Figura 3. 1: Coordinador ZT-2550 Icp-Das [29] .....	106
Figura 3. 2: Router ZT-2551 Icp-Das [29].....	106
Figura 3. 3: Interruptor ON/OFF L4596N/ L4597N [30] .....	108
Figura 3. 4: Actuador ON/OFF sin neutro LN4590[30] .....	108
Figura 3. 5: Interruptor regulador L4598N [30].....	109
Figura 3. 6: Actuador DimmerLN4594 [30] .....	109
Figura 3. 7: Sensor de luz Todo/Nada Z311B [30].....	110
Figura 3. 8: Sensor de luz con Regulación progresiva Z302H [31].....	110
Figura 3. 9: Sensor de movimiento Infrarojo 3579 [30] .....	111
Figura 3. 10: Tubo LED regulable ZC06 [31] .....	111
Figura 3. 11: Bombilla LED regulable ZC07 [31].....	112
Figura 3. 12: Sensor de Humedad y temperatura ZED-THI-M [32].....	113
Figura 3. 13: Termostato ZED-TCMR [32].....	113
Figura 3. 14: Sensor de contacto de ventana Z302A [31].....	114
Figura 3. 15: Sensor de gas inflamable HD4511V12 [30].....	114
Figura 3. 16: Actuador para alarmas técnicas L4587[30].....	115
Figura 3. 17: Control Remoto 3528N [30].....	115
Figura 3. 18: Aplicación para Android [31].....	116
Figura 3. 19: Controlador Smart Home basado en la nube [31] .....	116
Figura 3. 20: Aplicación para iPhone [31] .....	116
Figura 3. 21: Gateway Z 202 [31] .....	117
Figura 3. 22: Medidor Inteligente OpenWay CENTRON [33].....	117
Figura 3. 23: Concentrador de datos [34].....	118
Figura 3. 24: Pantalla ubicada en el inmueble Z508 [31] .....	118
Figura 4. 1: Interfaz gráfica del programa .....	122
Figura 4. 2: Número de dispositivos En la Red .....	123
Figura 4. 3: Panel de Datos de Dispositivos .....	123
Figura 4. 4: Ventana del Enlace Punto a Punto.....	124
Figura 4. 5: Selección de los dispositivos .....	125
Figura 4. 6: Panel de resultados Enlace P2P .....	125
Figura 4. 7: Área de Trabajo del Enlace P2P .....	126
Figura 4. 8: Selección del elemento de red para el área de cobertura.....	127
Figura 4. 9: Resultados del área de cobertura .....	127

Figura 4. 10: Clasificación de los estados de evaluación.....	128
Figura 4. 11: Estado de Conexión de los Dispositivos. ....	129
Figura 4. 12: Ventana Modificar dispositivos.....	130
Figura 5. 1 Esquema Funcional.....	131
Figura 6. 1: Indicadores y Pulsadores de Configuración [30].....	132
Figura 6. 2: Dispositivo Coordinador [30].....	133
Figura 6. 3: Dispositivo Coordinador [30].....	133
Figura 6. 4: Dispositivo Terminal [30] .....	134
Figura 6. 5: Agregación de Dispositivos [30] .....	134
Figura 6. 6: Verificación De Dispositivos En La Red [30].....	135
Figura 6. 7: Asociación De Dispositivos En La Red [30].....	135
Figura 6. 8: Asociación De Dispositivos En La Red –Comando– [30] .....	136
Figura 6. 9: Asociación De Dispositivos En La Red –Actuador– [30].....	136
Figura 6. 10: Asociación De Dispositivos En La Red –Actuador– [30].....	137
Figura 6. 11: Asociación De Dispositivos En La Red –Comando-Actuador– [30].	137
Figura 6. 12: Asociación De Dispositivos En La Red –Comando-Actuador– [30]..	138

## Índice de Tablas

Tabla 3. 1: Dispositivos Finales .....	107
Tabla 3. 2: Lista de Dispositivos ZigBee utilizados para la implementación .....	119
Tabla 4. 1: Características de los elementos del plano.....	121
Tabla 6. 1: Estado de indicadores Luminosos [30] .....	132

# INTRODUCCIÓN

Los edificios inteligentes surgen de la necesidad de integrar los aspectos constructivos, tecnológicos y de confort que tiene un edificio, para beneficio de sus ocupantes. Entre los sistemas inmóticos se puede incluir: automatización, seguridad, telecomunicaciones, confort de usuario y la gestión de estos sistemas.

Para diseñar un edificio inteligente se debe tener en cuenta diversos aspectos tales como: el entorno en donde va a estar localizado, orientación y que uso se le va a dar al edificio, el diseño estructural que se construirá y los acabados que estos tendrán, permitirán planificar los diferentes sistemas que se puedan implementar en la edificación.

El confort es una de las características más importantes que debe tener un edificio inteligente, se debe considerar para el diseño las necesidades de los usuarios, sus actividades, niveles adecuados de iluminación, climatización, seguridad y los sistemas de comunicación que se implementarán.

En este documento se elaborará un manual para la aplicación de la tecnología ZigBee en edificios inteligentes, por lo que se analizan los edificios de la ciudad de Cuenca debido al rápido crecimiento que esta ciudad presenta en construcciones verticales. Este manual estará conformado por: criterios de Diseño, Simulación de red y Criterios de Instalación.

Criterios de diseño: En este segmento se dará las pautas y recomendaciones que debe tener una red ZigBee en cuanto a la ubicación de los equipos, los modos de control para los diferentes sistemas y algunos dispositivos recomendados para la implementación. Un aspecto fundamental a considerarse en el diseño es la potencia mínima que necesita cada dispositivo para su funcionamiento óptimo para lo cual se ha optado realizar el cálculo de margen de enlace para determinar el área de cobertura y ubicación de dispositivos. Este cálculo se ha realizado mediante el software desarrollado en la plataforma MATLAB.

Simulación de Red: El software de simulación fue desarrollado en la programa Matlab, esta herramienta tiene la capacidad de reconocer cada uno de los elementos de red ZigBee, y realizar un cálculo estimado de las pérdidas de propagación que existen entre estos elementos.

Criterios de Instalación: En esta parte del documento se presentará algunos esquemas sugeridos para la correcta instalación de la red y se realiza un ejemplo de configuración de una nueva red.

Para el desarrollo del diseño proyectado utilizando tecnología ZigBee se tomó como referencia el Conjunto Habitacional Rosenthal, ya que cuenta con modernas construcciones y presenta varias alternativas para escoger un modelo de departamento que satisfaga todos los requerimientos inmóticos.

El conjunto residencial se encuentra ubicado en una zona residencial, exclusiva y estratégica de la ciudad de Cuenca, en la Av. Fray Vicente Solano 11-67 entre las Avenidas 10 de Agosto y Veintisiete de Febrero (Junto al museo de los metales). Cuenta con 7 torres de 7 pisos cada una, departamentos de dos y tres dormitorios suites o duplex, por términos de estudio analizaremos el departamento ubicado en la torre número 2, en el séptimo piso denominado departamento Tipo G ya que cuenta con varias áreas para aplicaciones inmóticas.

Este departamento cuenta con una extensión de 330 m<sup>2</sup> y con diferentes espacios como: sala comedor, cocina, lavandería, servicio, baño social, 2 dormitorios, baño compartido, sala de estar, dormitorio master, baño master, terraza.

# **CRITERIOS DE DISEÑO.**

## **1. UBICACIÓN DE DISPOSITIVOS**

### **1.1 COORDINADOR**

Este es el dispositivo más completo e indispensable que debe existir en una red ZigBee, se encarga de controlar y formar la topología de red. Además posee la capacidad de establecer políticas de seguridad.

Se debe ubicar un coordinador en la parte céntrica del departamento, con lo que garantizamos que todos los dispositivos estén siempre conectados debido al nivel de atenuación que existe en la propagación entre pisos de un edificio y que cada inmueble sea independiente de sus vecinos.

### **1.2 ROUTER**

Este dispositivo de red es el encargado de la comunicación entre dispositivos que se encuentran fuera del área de cobertura en la topología de red, además de determinar la mejor ruta entre dos dispositivos cuando quieren comunicarse.

Si el área de cobertura de un coordinador no cumple con los parámetros de conexión de todos los dispositivos de la red, se recomienda la ubicación de un router, esta ubicación deberá ser distribuida con respecto al coordinador para cubrir con todos los dispositivos del departamento y no tener posibles problemas de desconexión.

La ubicación del router dependerá de las características físicas de la construcción del inmueble sean estas paredes, puertas, vitrales, etc. Se debe realizar en un lugar céntrico del área de cobertura en donde se tenga niveles de potencia recibida menores a los descritos por el fabricante del dispositivo, con esto garantizamos la conexión de todos los dispositivos.

### **1.3 DISPOSITIVOS FINALES**

Este dispositivo solo puede comunicarse con un nodo coordinador o un nodo router, son los nodos que menos consumen energía ya que la mayor parte del tiempo permanece en modo dormido. Un dispositivo final puede ser: comandos, actuadores y sensores.

La ubicación de los dispositivos finales dependerá del funcionamiento, configuración y tipos de control que se implemente en la red, de acuerdo a esto se tiene la siguiente distribución:

#### **Espacios de uso activo**

- **Cocinas:** Se recomienda el uso de luminarias con control Manual a través de interruptor ON/OFF y si se tienen luminarias auxiliares se recomienda el control manual a través de reguladores.
- **Salas y comedores:** Se recomienda el uso de luminarias con control Manual a través de un interruptor ON/OFF y si se tienen luminarias auxiliares se recomienda el control automático a través de sensores de luz para el aprovechamiento de la luz natural.
- **Circulaciones:** Para este tipo de espacios se recomienda la instalación de luminarias con control manual a través de interruptores On/Off y si se requiere se puede realizar el control automático de luminarias a través de detectores de presencia o movimiento y control mediante horarios y fechas.

#### **Espacios de uso pasivo**

- **Baños:** Se recomienda la instalación de luminarias con control automático a través de detectores de presencia y movimiento.
- **Bodegas, parqueaderos:** En este tipo de espacios se recomienda la instalación de luminarias con control automático por medio de detectores de presencia y de movimiento, además se podría implementar el control por horarios y por fechas.

En la Figura 1.1 se muestra la distribución de los dispositivos dentro del inmueble de acuerdo al papel que estos desempeñan dentro de la red.

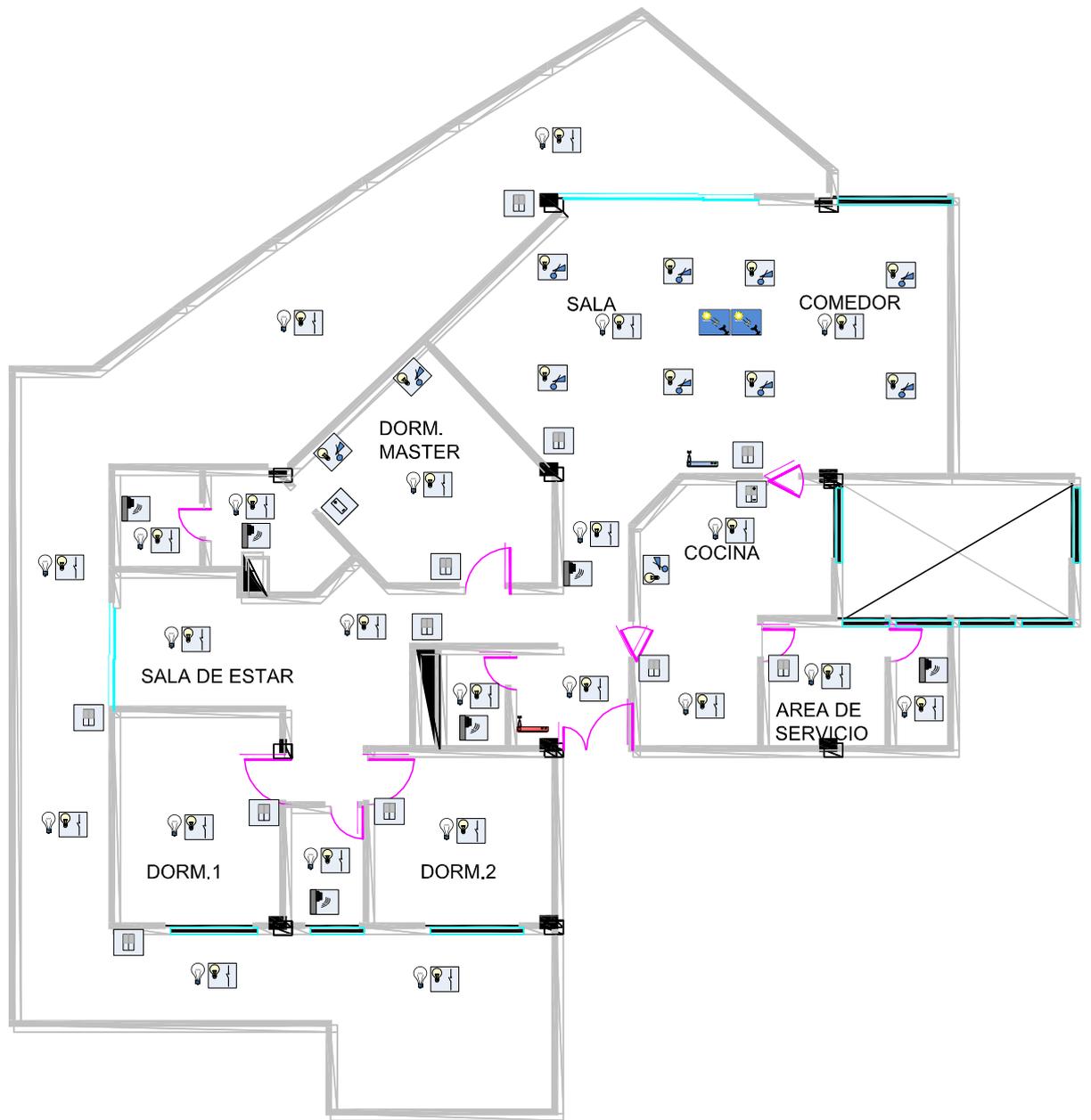


Figura 1. 12: Esquema de Emplazamiento

## 2. MÉTODOS PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS

### 2.1 CONTROL DE ILUMINACIÓN

Entre los principales sistemas de un edificio inteligente podemos tener en cuenta al sistema de iluminación, cuyas características de operación y flexibilidad deben ser primordiales para brindar al usuario un bienestar y confort visual.

Los métodos y técnicas que se detallan a continuación están basados en el uso eficiente de los recursos energéticos y de cómo a través de la tecnología ZigBee podemos aplicarlos a los diferentes sistemas de iluminación.

#### 2.1.1 Regulación Y Control Manual

El control manual de un espacio es indispensable ya que aporta flexibilidad al control y además da autonomía total al usuario de dicho espacio. El control manual debe ser sencillo en su instalación y en su aplicación.

De acuerdo a la tecnología ZigBee tenemos la siguiente topología lógica para control manual de luminarias:

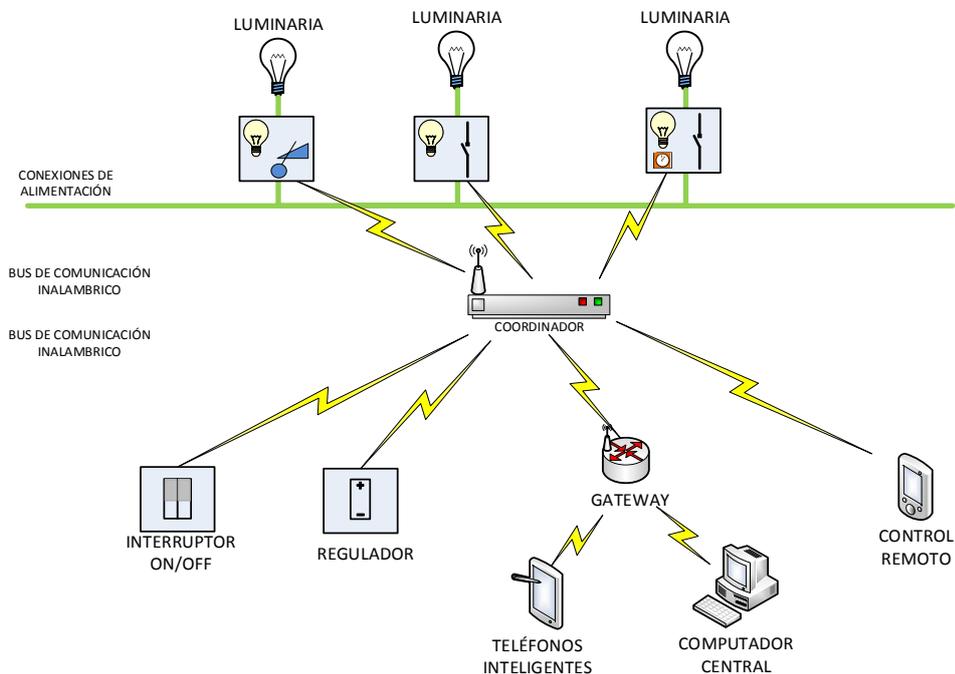


Figura 2. 10 Control Manual de luminarias

## 2.1.2 Regulación Y Control Autónomo

El control autónomo de un espacio aporta al circuito el nivel de inteligencia que requiere el espacio a ser iluminado, este control es el que solventará el ahorro energético planteado en un edificio inteligente.

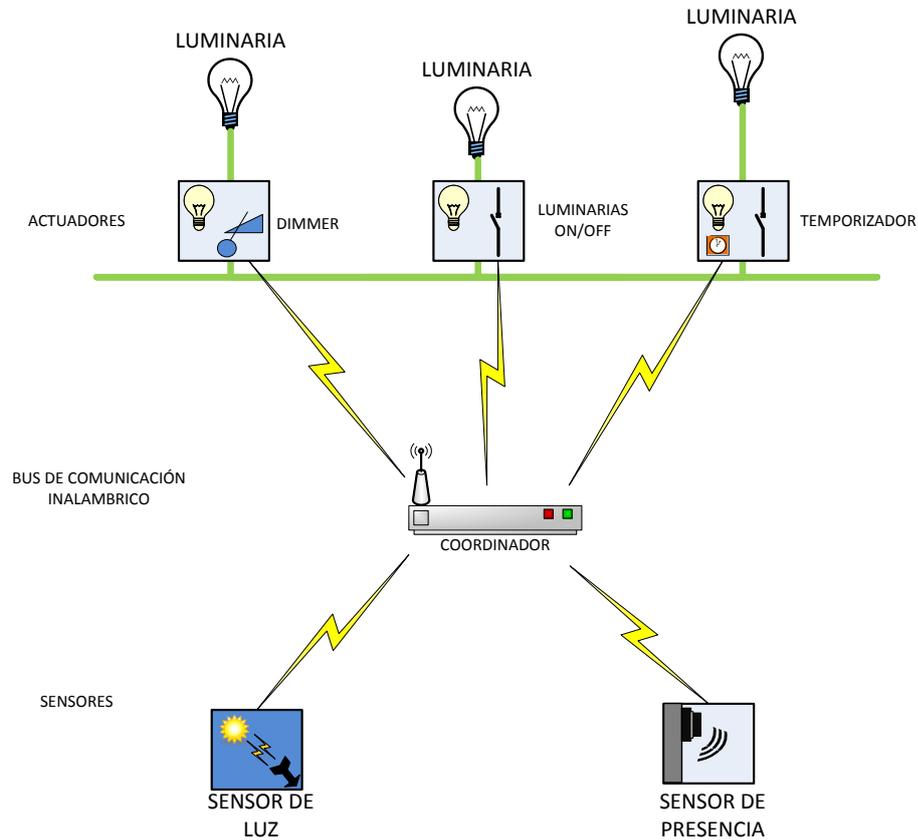


Figura 2. 11 Control Automático de luminarias

### - Regulación y control de la luz artificial según el aporte de la luz natural

Este sistema se lo utiliza principalmente para aprovechar el aporte de la luz natural que ingresa al edificio a través de ventanas u otros elementos de captación, ubicada en la luminaria o en el techo del espacio a iluminar, la cual mide la cantidad de luz total (natural + artificial) que existe en el interior. Estos valores medidos son enviados al coordinador el cual los procesa y dependiendo de la configuración se envía al actuador correspondiente para que regule la cantidad de luz artificial.

En algunos casos, si el nivel de luz natural excede a los niveles de iluminación determinados la luminaria se apaga.

Existen dos tipos de sistemas de regulación:

- Todo/Nada: La luminaria se enciende o se apaga dependiendo de los valores de iluminación que se ha configurado.
- Regulación progresiva: La luminaria se va ajustando de manera progresiva al aporte de luz natural hasta conseguir el nivel de iluminación configurado.

- **Control de iluminación artificial mediante detectores de presencia y movimiento**

Este es un sistema de control que es sensible a la presencia de usuarios en el espacio a iluminar, es aplicado en zonas en donde se tiene una ocupación intermitente.

El funcionamiento de este sistema se basa en el movimiento de calor corporal dentro de un área específica, el sensor capta dicho movimiento y envía señales de encendido y apagado al coordinador y dependiendo del estado del sensor se envía el comando a los actuadores. Se suele incorporar a este sistema tiempos de retardo para evitar la desconexión no deseada ya que una persona puede permanecer en la misma posición por un largo periodo y el sensor tomara como la ausencia de movimiento, por tanto ausencia de presencia.

- **Control de iluminación artificial mediante horarios y fechas**

Este tipo de control nos permite encender, apagar y regular el nivel de luz automáticamente. Para este control se debe realizar un plan horario, de acuerdo a días concretos de la semana, dividiendo entre días laborables y fines de semana.

Debe estar acompañado siempre de un control manual para darle autonomía al circuito y que el usuario la encienda, apague y regule cuando sea necesario.

## 2.2 CONTROL DE CLIMATIZACIÓN

Otro de los sistemas de gran importancia en un edificio inteligente es el sistema de climatización, en donde las características de funcionalidad, y del consumo eficiente de los recursos energéticos son de suma importancia para brindar al usuario bienestar y confort.

Los métodos y técnicas que se detallan a continuación para los sistemas de climatización están enfocados en el confort térmico de un espacio y en el ahorro energético que se va a emplear en dicho confort.

### 2.2.1 Control Térmico por Zona

El control para la calefacción y refrigeración en un determinado espacio deberá ser controlado individualmente por sensores termostáticos ubicados en el espacio a climatizar.

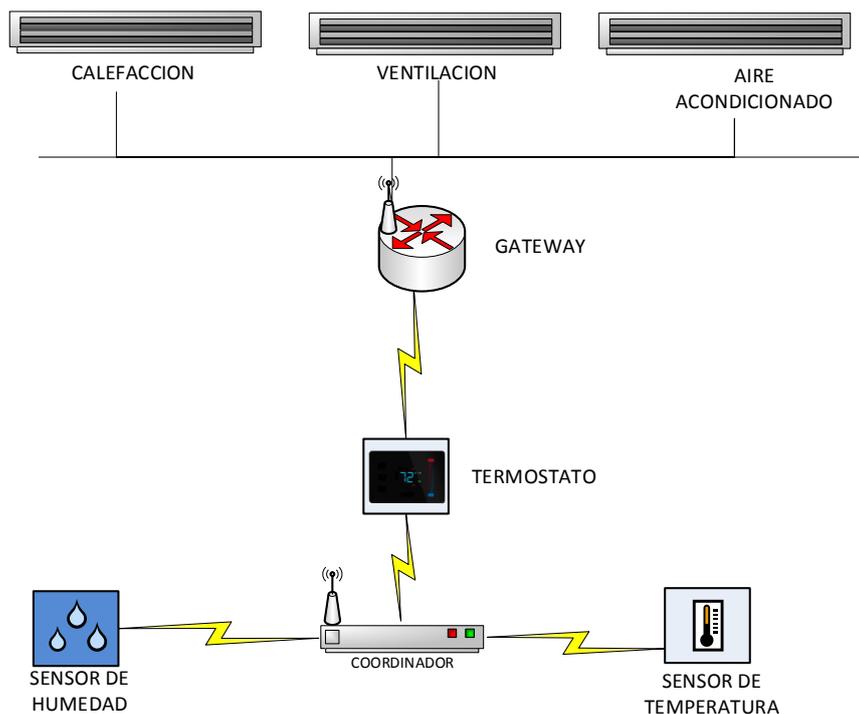
En los espacios en donde el sistema de climatización funcionará de manera no simultánea se lo puede dividir en zonas de aislamiento, las mismas que se pueden agrupar en una sola siempre y cuando esta no supere los 2400m<sup>2</sup> y esté en el mismo piso.

Cada área deberá estar equipada con dispositivos de aislamiento capaces de cerrar automáticamente el suministro de aire acondicionado, aire exterior y el aire de escape de la zona.

### 2.2.2 Control Por Hora O Temporizados

Los sistemas de climatización deberán estar equipados con al menos uno de los siguientes tipos de control:

- Un sensor de presencia el cual es capaz de apagar el sistema cuando el espacio a climatizar no se encuentra ocupado por un lapso de 30 minutos.
- Un des accionamiento de seguridad el mismo que apague el sistema cuando las alarmas de seguridad se activen.



*Figura 2. 12 Control Del Sistema HVAC*

## 2.3 CONTROL DE SEGURIDAD

La implementación y desarrollo de los sistemas de control para alarmas técnicas están enfocados en la seguridad y confort que debe tener los ocupantes dentro del edificio.

El control para Alarmas técnicas se lo realiza de manera automática por medio de sensores que nos indican cualquier evento para el que han sido configurados.

### 2.3.1 Prevención contra intrusión

Este sistema garantizará la integridad física de personas y bienes que se encuentren dentro del departamento, esta técnica se la puede aplicar instalando los sensores magnéticos y de presencia en lugares específicos dentro del edificio.

Los sensores enviarán una alerta al coordinador cuando cambien su estado de configuración normal, el coordinador será el encargado de encender los sistemas de alarma ya sean estos acústicos o luminosos.

### 2.3.2 Detección de fugas de gas

Para garantizar la seguridad de los habitantes es necesaria la protección en caso de fugas de gas, este mecanismo puede implementarse incorporando en la instalación eléctrica un detector de gas metano y un actuador conectado a una electroválvula y al sistema de señalización y alarma.

En caso de peligro, el detector de gas a través de la interfaz transmitirá una señal al coordinador el cual ubicará al actuador y será el encargado de enviar el comando para activar la alarma y accionar la electroválvula para cerrar la tubería del gas.

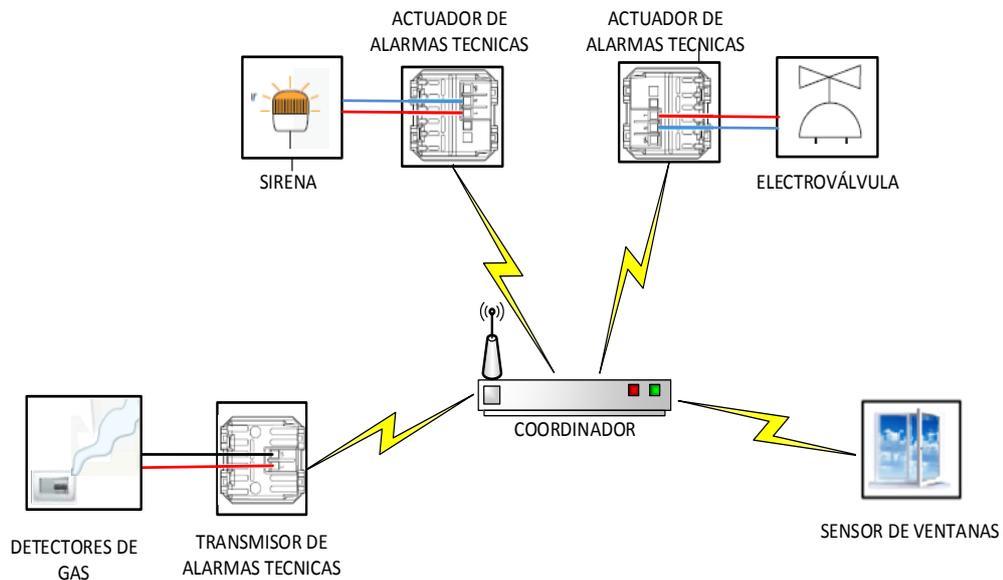


Figura 2. 13 Control Del Sistema De Seguridad

## 3. DISPOSITIVOS PARA APLICACIÓN

Entre los distintos fabricantes de dispositivos con tecnología ZigBee se tiene las siguientes marcas: ICP DAS<sup>1</sup>, Zhejiang Rexense Technology<sup>2</sup>, Schneider-electric<sup>3</sup>, Digi<sup>4</sup>, Legrand<sup>5</sup>, Bticino<sup>6</sup>, Cleode<sup>7</sup>, Smarthings<sup>8</sup>, Netvox<sup>9</sup>, Develco<sup>10</sup>, Centralite<sup>11</sup>, 4noks<sup>12</sup>, honeywell<sup>13</sup>, Itron<sup>14</sup>, eKo<sup>15</sup>, y para la selección de los dispositivos de nuestro proyecto se analizó de acuerdo a criterios de calidad según las especificaciones técnicas que presenta tales como: rango de cobertura, potencia de transmisión, sensibilidad, fuente de alimentación, vida útil, y criterios económicos como es el precio de los dispositivos.

### 3.1 COORDINADOR

Se recomienda utilizar el coordinador ZT-2550 de la marca Icp-Das, el cual es un dispositivo de tamaño pequeño, además de funcionar como coordinador de la red, tiene la capacidad de realizar la conversión de la red ZigBee a los protocolos RS-232 y a RS-485, el cual nos ampliará las aplicaciones con este dispositivo.



#### Especificaciones Técnicas

<b>Fuente de Alimentación:</b>	10 VDC - 30VDC
<b>Medio Ambiente:</b>	Temperatura de operación: -25 a 75 °C
	Temperatura de almacenamiento: -40 a 80 °C
	Humedad relativa: 5-95% RH
<b>Interfaz de Comunicación:</b>	RS-232
	RS-485
<b>Potencia de transmisión</b>	11 dBm
<b>Sensitividad:</b>	92 dBm
<b>Antena (2.4GHz)</b>	5dBi Antena Omni-Direccional
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 700 m
<b>Esclavos Soportados:</b>	255 máx.

Figura 3. 12: Coordinador ZT-2550 Icp-Das [29]

### 3.2 ROUTER

Este dispositivo cumple la función de actuar como un dispositivo enrutador para otros dispositivos en la red HAN. Es necesario unir a la red un router para aumentar el rango de cobertura de los dispositivos, para evitar la desconexión de los mismos. Se alimenta directamente con baterías 3Vdc, una vez conectado a la fuente de energía, el repetidor ZT-2551 se asocia directamente a cualquier red abierta e inmediatamente extenderá el alcance de la señal ZigBee.



#### Especificaciones Técnicas

<b>Fuente de Alimentación:</b>	10 VDC - 30VDC
<b>Medio Ambiente:</b>	Temperatura de operación: -25 a 75 °C
	Temperatura de almacenamiento: -40 a 80 °C
	Humedad relativa: 5-95% RH
<b>Interfaz de Comunicación:</b>	RS-232
	RS-485
<b>Potencia de transmisión</b>	11 dBm
<b>Sensitividad:</b>	92 dBm
<b>Antena (2.4GHz)</b>	5dBi Antena Omni-Direccional
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 700 m
<b>Esclavos Soportados:</b>	255 máx.

Figura 3. 13: Router ZT-2551 Icp-Das [29]

### 3.3 DISPOSITIVOS FINALES

Los Dispositivos Finales que conforman una red ZigBee pueden ser: dispositivos de mando, actuadores, de medición y visualización.

Tabla 3. 4: Dispositivos Finales

DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN	DISPOSITIVO FINAL
DISPOSITIVO DE MANDO	Encargado de gestionar o enviar señales a los actuadores para cumplir las tareas asignadas.	Están alimentados con batería. Ej: Interruptor On/Off, o Dimmer, Termostato, Transmisores de alarmas técnicas, Mando a distancia (Control Remoto, App. En teléfonos inteligentes, o PC).
DISPOSITIVO ACTUADOR	Encargado de ejecutar el mando asignado y tiene la capacidad de funcionar como enrutador.	Están alimentados a la red Eléctrica. Ej: Actuador On/Off o Dimmer, Transmisor para alarmas técnicas.
DISPOSITIVO DE MEDICIÓN	Realizan la función de interfaz o Gateway entre el sistema del usuario y el proveedor de servicios, los mismos que proporcionan lecturas en tiempo real del consumo efectuado.	Ej: Medidor Inteligente
DISPOSITIVO DE VISUALIZACIÓN	Permite visualizar el valor del consumo de energía, proporcionada por los medidores inteligentes.	Ej: In-Home display

#### 3.3.1 Dispositivos Para Iluminación

##### Espacios de uso Activo

En áreas de descanso, y cocina se recomienda el uso de un control manual de la luminaria principal mediante un interruptor ON/OFF y si se requiere luminarias auxiliares es posible aplicar el control por regulación mediante un interruptor Dimmer.

- **Interruptor On/Off:** El interruptor On/Off es capaz de enviar comandos de encendido, apagado o alternarlos para comandar a los dispositivos para activar o desactivarlos.

Se recomienda usar el Interruptor ON/OF L4596N/ L4597N que es un interruptor inalámbrico de pared con características de bajo consumo de energía en modo de espera y son de baja potencia.



Figura 3. 14: Interruptor ON/OF L4596N/ L4597N [30]

Para realizar el mando de una luminaria, se recomienda usar el actuador On/Off LN4590 que presenta la marca bticino, debido que a través de este dispositivo se puede conectar cualquier luminaria convencional.



Figura 3. 15: Actuador ON/OF sin neutro LN4590 [30]

- **Reguladores:** Los elementos que funcionan como regulador pueden además de controlar el nivel de luminosidad de las luminarias, enviar comandos de encendido y apagado.

Se recomienda usar el L4598N que es un interruptor Regulador de pared con características de bajo consumo de energía en modo de espera y son de baja potencia.



**Especificaciones Técnicas**

<b>Fuente de Alimentación:</b>	1 pila de Litio 3V del tipo CR2032
<b>Duración de la Batería:</b>	5 años
<b>Temperatura de funcionamiento:</b>	5 - 45 °C
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2..4835 GHz
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 15 m

*Figura 3. 16: Interruptor regulador L4598N [30]*

Al igual que el mando con un interuptor On/Off, el mando por medio de reguladores necesita un actuador para el correcto funcionamiento del circuito, se recomienda el uso del actuador dimmer LN4594 que tiene la capacidad de accionar compensadores 0-10V con potencia máxima de 1000W.



**Especificaciones Técnicas**

<b>Fuente de Alimentación:</b>	100-240 Vac 50/60 Hz
<b>Temperatura de funcionamiento:</b>	5 - 45 °C
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2..4835 GHz
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 15 m

*Figura 3. 17: Actuador DimmerLN4594[30]*

En áreas de sociales se recomienda el uso de un control de la luz artificial según el aporte de la luz natural mediante un sensor de luz; este se podría ser de dos tipos: Sensor todo/Nada o Sensor con regulación progresiva pero se recomienda el uso de este segundo tipo debido a que este presenta doble funcionalidad, es decir envía comandos ON/Off y regula la intensidad de la luz.

- **Sensor Todo/Nada:** Es posible usar un sensor de tipo Todo/Nada en donde la luminaria se enciende o se apaga dependiendo de los valores de iluminación que se ha configurado.

Es posible el uso del Z311B que es un dispositivo que de acuerdo con la intensidad de la luz, envía la orden ON / OFF para los dispositivos de iluminación pareadas en la red. Es de fácil instalación, bajo consumo de energía y requiere pilas de botón sólo para apoyar su funcionamiento.



**Especificaciones Técnicas**

<b>Fuente de Alimentación:</b>	2 x CR2450 3V
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 50 m indoor
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee Pro
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2.4835 GHz
<b>Consumo:</b>	Modo de Recepción: 28 mA Modo de Transmisión: 43mA Modo standby: 0.8Ua
<b>Rango de nivel de percepción:</b>	1-3000 lux
<b>Rango de Precisión:</b>	+/- 5%
<b>Ambiente de funcionamiento:</b>	Temperatura: -10 a 50°C Humedad máx.: 95% RH
<b>Dimensión:</b>	57mm x 35mm x 15mm
<b>Vida útil de la batería:</b>	6 años

Figura 3. 18: Sensor de luz Todo/Nada Z311B [31]

- **Sensor de Regulación Progresiva:** A si también se puede realizar una regulación progresiva en donde la luminaria se va ajustando según el aporte de luz natural hasta conseguir el nivel de iluminación configurado.

Esto es posible mediante el dispositivo Z302H que envía una señal de ON / OFF y nivel de acuerdo con la intensidad de la luz dentro de la habitación.



**Especificaciones Técnicas**

<b>Fuente de Alimentación:</b>	3V CR2450
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 50 m indoor
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee Pro
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2.4835 GHz
<b>Consumo:</b>	Modo de Recepción: 38 Ma Modo de Transmisión: 38 Ma
<b>Dimensión:</b>	55.8mm x 29.8mm x 13.8mm
<b>Vida útil de la batería:</b>	6 años

Figura 3. 19: Sensor de luz con Regulación progresiva Z302H [31]

## Espacios de uso pasivo

En áreas húmedas (Baños, lavanderías, patios interiores, jardines) se recomienda aplicar el control de iluminación artificial mediante detectores de presencia con esto se garantiza que el espacio va a estar iluminado solo cuando se encuentre en uso.

- **Sensor de Movimiento:** Para esto se recomienda el Sensor de movimiento IR que es un dispositivo que detecta el movimiento por infrarrojo e informa del mensaje a la red para la tarea específica.



### Especificaciones Técnicas

<b>Fuente de Alimentación:</b>	2 pilas AA, 5V LR06
<b>Duración de la Batería:</b>	2 años
<b>Temporización ON:</b>	15 min
<b>Umbral mínimo de luminosidad:</b>	1000 lux
<b>Sensibilidad del detector IR:</b>	100%
<b>Temperatura de funcionamiento:</b>	5 - 45 °C
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2..4835 GHz
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 10 m

Figura 3. 20: Sensor de movimiento Infrarrojo 3579 [30]

En una instalación nueva se recomienda utilizar luminarias ZigBee como por ejemplo ZC06 o ZC07, que tienen la capacidad de cambiar de encendido a apagado y cuyo nivel de luminancia se puede controlar.

- **Luminaria On/Off y Regulable:**

ZC06 es un tubo LED regulable robusto basado en el perfil ZigBee HA y tiene 256 niveles de luz. El consumo de energía es 60% menor en comparación con los tubos de luz convencionales y su duración es de 50.000 horas.



### Especificaciones Técnicas

<b>Fuente de Alimentación:</b>	100-240V AC 50/60Hz
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 180 m (línea de vista)
<b>Consumo:</b>	105mA 220V AC / iluminación máx. 205mA 110V AC/ iluminación máx.
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee Pro
<b>Intensidad:</b>	≥400 Lux/ 1.5m
<b>Eficiencia:</b>	~21W 220V AC/ iluminación máx. ~21.5W 110V AC/ iluminación máx.
<b>Ambiente de funcionamiento:</b>	Temperatura: -10 a 50°C Humedad máx.: 95% RH
<b>Dimensión:</b>	1200mm(L)

Figura 3. 21: Tubo LED regulable ZC06 [31]

ZC07, es una bombilla LED regulable inalámbrica, que tiene 256 niveles de luz y su duración es de 15.000 horas.



Especificaciones Técnicas	
Fuente de Alimentación:	90-265V AC 50/60Hz
Protocolo:	IEEE 802.15.4 / ZigBee Pro
Rango de Potencia:	5W
CCT:	6000K
Ambiente de funcionamiento:	Temperatura: -10 a 50°C
Vida Útil:	15.000 horas
Ambiente de funcionamiento:	Temperatura: -20 a 40°C Humedad máx.: 10%-95% RH

Figura 3. 22: Bombilla LED regulable ZC07 [31]

### 3.3.2 Dispositivos Para Climatización

Para el control de climatización se recomienda el uso de sistemas HVAC, que es el encargado de hacer más comfortable las condiciones térmicas de un espacio. Este sistema incluye un conjunto de métodos y técnicas encargados del estudio, tratamiento y monitoreo del aire con respecto a su enfriamiento, calentamiento, deshumificación, calidad, entre otros parámetros.

Como el proyecto se centra en la aplicación de tecnología ZigBee en la ciudad de Cuenca, por lo general en las edificaciones construidas no se enfocan en este tipo de control, pero si fuese necesario la implementación de estos sistemas se recomienda la instalación de sensores de humedad/temperatura, termostato y un Gateway que va a funcionar como interfaz entre los sensores ZigBee y el sistema HVAC.

- **Sensor de Humedad/Temperatura:** Se recomienda usar el Sensor de Humedad/Temperatura ZED-THI-M de la marca 4-noks debido a que este dispositivo está definido para ambientes indoor y se utiliza para detectar los valores de humedad y temperatura.

Estos datos se pueden visualizar en un termostato o también en la pantalla en el hogar Z508.



Especificaciones Técnicas	
Fuente de Alimentación:	AA Batería de litio de 3.6V/2000mAh
Potencia de Transmisión:	2mW (3dBm)
Ganancia de la antena:	0 dBm
Rango de Comunicación:	30 m Indoor
Ambiente de funcionamiento:	Temperatura: -10 a 50°C
Vida Útil Batería:	3 años
Temperatura de operación:	-10-40°C
Sensor Temperatura/Humedad:	Rango de medición de Temperatura: -40 a 120 °C
	Precisión de la lectura dentro de rango de medición: +/- 1.5 °C máx.
	Rango de medición de Humedad: 0-100 % RH
	Precisión de la lectura: +/- RH% máx.

Figura 3. 23: Sensor de Humedad y temperatura ZED-THI-M [32]

- **Termostato:** Para ajustar y mostrar los datos de medición de temperatura y humedad es posible a través de un termostato ZED-TCMR. Estos valores se pueden configurar de manera remota a través del Gateway ZG-USB o de manera local en el dispositivo.



Especificaciones Técnicas	
Fuente de Alimentación:	3 AAA Baterías de 1.5V
Potencia de Transmisión:	2mW (3dBm)
Ganancia de la antena:	0 dBm
Rango de Comunicación:	30 m Indoor
Ambiente de funcionamiento:	Temperatura: -10 a 60°C
Vida Útil Batería:	2 años
Termostato:	Histéresis: +/- 1 °C
	Rango de configuración de temperatura: 8 a 32 °C
	Resolución de Temperatura: 0,1 °C
	Precisión de Temperatura: +/- 1 °C

Figura 3. 24: Termostato ZED-TCMR [32]

### 3.3.3 Dispositivos Para Seguridad

Los sistemas de seguridad son de vital importancia, ya que cuenta con sistemas de alta tecnología que se encargan de cuidar la integridad de sus ocupantes. Los dispositivos que se recomiendan para estos sistemas tienen la capacidad de prevenir potenciales fuentes de peligro, y en el caso que se de dicho evento, estos emitirán un aviso o notificación.

- **Sensor De Contacto De Ventana:** Se recomienda usar el Z302A donde la unidad principal y el contacto magnético pueden ser instalados en cada lado

de la ventana, cuando esta se abre, el dispositivo enviará el mensaje de alarma al centro de control. Requiere sólo una pila de botón para apoyar su funcionamiento hasta por 2 años.



Especificaciones Técnicas

<b>Fuente de Alimentación:</b>	3V CR2450
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 50 m
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee Pro
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2.4835 GHz
<b>Consumo:</b>	Modo de Recepción: 38 mA
	Modo de Transmisión: 38 mA
	Modo standby: 1.2 Ua
<b>Ambiente de funcionamiento:</b>	Temperatura: -10 a 50°C
	Humedad máx.: 95% RH
<b>Dimensión:</b>	Sensor: 55.8mm x 29.8mm x 13.8mm
	Magnético: 32.5mm x 11.9mm x 10.5mm

Figura 3. 25: Sensor de contacto de ventana Z302A [31]

- **Detector de fuga de gas:** Se recomienda el uso de un detector de gas metano HD4511V12 que es el encargado de detectar la concentración del gas en el aire y cuando alcanza el valor preestablecido, el sensor enviará una notificación de alarma.



Especificaciones Técnicas

<b>Fuente de Alimentación:</b>	12V c.a/c.c.
<b>Vida Útil:</b>	5 años
<b>Potencia absorbida:</b>	Máx. 2W
<b>Temperatura de funcionamiento:</b>	-10 - 4 °C
<b>Humedad relativa Rh:</b>	30 a 90 %
<b>Intensidad sonora de alarma:</b>	85 dB a 1m
<b>Umbral de intervención:</b>	10% del límite inferior de explosión de gas METANO

Figura 3. 26: Sensor de gas inflamable HD4511V12 [30]

El detector de gas metano trabaja en conjunto con el actuador L4587 que será el encargado de la activación de un indicador de luz, de una alarma o para cerrar la válvula de gas de forma automática para evitar la fuga de gas y garantizar la seguridad de los usuarios.



Especificaciones Técnicas

<b>Fuente de Alimentación:</b>	100-240 Vac 50/60 Hz
<b>Temperatura de funcionamiento:</b>	5 - 45 °C
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2..4835 GHz
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 15 m
<b>Potencia/Consumo</b>	cargas 2500 W (240 Vac) 1250 W (100 Vac)
<b>adicionadas:</b>	

Figura 3. 27: Actuador para alarmas técnicas L4587[30]

Los dispositivos de mando que se recomiendan a continuación, es en el caso que se desee tener además de un acceso local un acceso remoto a todos los dispositivos de la red.

- **Control remoto:** El control remoto 3528N es un dispositivo portátil, alimentado por una batería, es un mando a distancia multifuncional programable. Puede predefinir varios escenarios donde el usuario puede designar y programar cada tecla en función de sus necesidades.



Especificaciones Técnicas

<b>Fuente de Alimentación:</b>	1 pila de Litio 3V del tipo CR2032
<b>Duración de la Batería:</b>	5 años
<b>Temperatura de funcionamiento:</b>	5 - 45 °C
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2..4835 GHz
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 15 m

Figura 3. 28: Control Remoto 3528N [30]

- **Aplicaciones en Teléfonos Inteligentes:** Para tecnología Android se recomienda uso de la aplicación que nos presenta Netvox debido a que a través de esta, es posible el control y monitorización total de todos los sistemas que están operando en el edificio.

Para utilizar esta aplicación, se requiere del uso del Controlador Home Smart Wireless basado en la nube (CWSH) Z203.



Figura 3. 29: Aplicación para Android [31]

El Controlador Z203 está equipado con tecnología ZigBee y Wi-Fi, lo que permite a los usuarios controlar los dispositivos de red ZigBee a través de aplicaciones móviles acceder mediante Wi-Fi. Por otra parte, el servicio Netvox Smart Home permite a los usuarios gestionar de forma remota los dispositivos en cualquier momento y en cualquier lugar.



**Especificaciones Técnicas**

<b>Fuente de Alimentación:</b>	DC 12V
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 140 m (línea de vista)
<b>Estándar ZigBee:</b>	IEEE 802.15.4
<b>Estándar Wifi:</b>	IEEE 802.11
<b>Interface:</b>	10/100Mbps WAN x 1 10/100Mbps LAN x 1
<b>Antena:</b>	2T2R
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2..4835 GHz
<b>Ambiente de funcionamiento:</b>	Temperatura: -10 a 50°C Humedad máx.: 95% RH
<b>Dimensión:</b>	185mm x 157mm x 50mm

Figura 3. 30: Controlador Smart Home basado en la nube [31]

Para utilizar la aplicación para iPhone, se requiere el Gateway Z202 que permite el acceso remoto a la red ZigBee mediante el software ZIG-BUTLER.



Figura 3. 31: Aplicación para iPhone [31]

- **Control desde un computador central:** Se puede tener el control y monitorización de todo el edificio a través de un Gateway TCP / IP “Z202” basado en ZigBee y equipado con interfaz Ethernet estándar, que está conectado a un computador central. Se puede acceder de forma local o remota al mismo



Especificaciones Técnicas	
<b>Fuente de Alimentación:</b>	DC 12V
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 100 m
<b>Ambiente de funcionamiento:</b>	Temperatura: -10 a 50°C Humedad máx.: 95% RH
<b>Potencia de Salida:</b>	3dBm
<b>Dimensión:</b>	85mm x 54.3mm x 21mm

*Figura 3. 32: Gateway Z 202 [31]*

Para realizar la gestión del edificio se realiza a través del ESI (Energy Service Interface), el mismo que sirve de interfaz entre la red de la compañía de suministro de energía y la red ZigBee. Este puede ser instalado dentro de un medidor, termostato o de una pantalla (In-Home display)

Para la gestión de energía tenemos los contadores inteligentes que realizan la función de interfaz o Gateway y proporcionan lecturas en tiempo real del consumo efectuado de la electricidad, el agua y el gas y se transmite de forma inmediata hacia la empresa para su gestión. Se recomienda hacer uso del medidor OpenWay CENTRON ya que este dispositivo proporciona un enfoque seguro y fiable. Además puede funcionar también como el coordinador de la red, enviando y recibiendo información hacia los dispositivos conectados a este y a su vez se encarga de transferir la información hacia la compañía eléctrica.



*Figura 3. 33: Medidor Inteligente OpenWay CENTRON [33]*

Para obtener las lecturas de los distintos medidores, se recomienda usar un Gateway GSM-ZIGBEE que sirve como concentrador de datos. Además tiene la capacidad de almacenar las 48 últimas alarmas que han sido generados por los medidores.



Especificaciones Técnicas	
<b>Fuente de Alimentación:</b>	5VDC +/-5%, Adaptador de enchufe de AC
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 100 m
<b>Temperatura de operación:</b>	-40 a 85°C
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 100 m
<b>Ambiente de funcionamiento:</b>	Temperatura: -10 a 50°C Humedad máx.: 95% RH
<b>Potencia de Transmisión:</b>	18dBm
<b>Consumo:</b>	Modo de Recepción: 1.6W GSM Modo de Transmisión: 7.5W GSM Modo standby: 0.9 W

Figura 3. 34: Concentrador de datos [34]

Para visualizar la medición del consumo de energía de los dispositivos dentro del inmueble, se hace uso de un In-Home Display Z508 el cual le permite visualizar el consumo de energía actual, un historial de consumo por periodos, precios, o mensajes de texto en el cual la compañía puede indicar cambios de precio, franjas horarias, etc.



Especificaciones Técnicas	
<b>Fuente de Alimentación:</b>	5VDC/500mA o 2 X AA
<b>Rango de Comunicación:</b>	Hasta 100 m indoor
<b>Protocolo:</b>	IEEE 802.15.4 / ZigBee Pro
<b>Frecuencia:</b>	2.4 – 2..4835 GHz
<b>Ambiente de funcionamiento:</b>	Modo de Transmisión: 13mA máx. Modo standby: 50mA máx.
<b>Rango de nivel de percepción</b>	1-3000 lux
<b>Ambiente de funcionamiento:</b>	Temperatura: -20 a 70°C Humedad máx.: 95% RH
<b>Dimensión:</b>	116mm x 103mm x 19mm

Figura 3. 35: Pantalla ubicada en el inmueble Z508 [31]

### Lista de Dispositivos ZigBee utilizados para la implementación

En la Tabla 3.2 se detalla la lista de productos y costos que podrían ser utilizados dentro de la implementación de la red ZigBee en el edificio Rosenthal.

Tabla 3. 5: Lista de Dispositivos ZigBee utilizados para la implementación [35][36]

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CODIGO	MARCA	PRECIO U.	PRECIO T.
1	Coordinador ZB	ZT-2550	ICP DAS	299	299
1	Repetidor ZB	ZT-2551	ICP DAS	279	279
11	Interruptor ON/OFF	L4596N/ L4597N	Bticino	59,47	654,17
23	Actuador ON/OFF	LN4590	Bticino	103,07	2370,61
2	Interruptor Regulador	L4598N	Bticino	51,84	103,68
11	Actuador Regulador	LN4594	Bticino	136,71	1503,81
1	Control Remoto	3528N	Bticino	65,59	65,59
1	Gateway ZG-USB	Z202	4-noks	264,22	264,22
2	Sensor de luz	Z302H	Netvox	139,70	279,4
6	Sensor de movimiento IR	3579	Bticino	60,98	365,88
1	Sensor de Humedad/temperatura	ZED-THI-M	4-noks	133,34	133,34
1	Termostato	ZED-TCMR	4-noks	189,32	189,32
6	Sensor de contacto de ventana	Z302A	Netvox	48,88	293,28
1	Sensor de gas inflamable	HD4511v12	Bticino	185,83	185,83
2	Actuador de alarmas técnicas	L4587	Bticino	115,03	230,06
1	Medidor Inteligente	OpenWay CENTRON	Itron	320	320
1	In-Home Display	Z 508	Netvox	171,60	171,6
	<b>TOTAL</b>				7708,79

# SIMULACIÓN DE RED.

## 4. SOFTWARE DE SIMULACIÓN

La siguiente Herramienta de simulación fue desarrollado en la programa Matlab en su versión 7.10.0 (R2010) ya que este programa presenta ventajas en cuanto al diseño y programación de la interfaz gráfica (Guide), además de presentarse como un programa robusto para el procesamiento de imágenes y datos de manera matricial.

Tiene la capacidad de reconocer cada uno de los elementos de red ZigBee, y realiza un cálculo estimado de las pérdidas de propagación que existen entre estos elementos, el cálculo se realizara teniendo en cuenta la capacidad que tienen los elementos en el enlace y que papel desempeñan en la red.

El modelo de propagación que se va a utilizar en el software de simulación corresponde al Modelo Cost Multi-Wall.

**Modelo Cost Multi-Wall:** El modelo Cost Multi-Wall es un modelo empírico para perdidas en paredes, el mismo que considera las pérdidas por espacio libre, el número de pisos y paredes que atraviesa la señal, en la trayectoria directa desde el transmisor al receptor.

Las pérdidas para el modelo se define como:

$$L_P(dB) = L_{FS} + \sum_{i=1}^I K_{wi} L_{wi} + K_f \left[ \frac{K_f + 2}{K_f + 1} - b \right] L_f$$

Donde:

$$L_{FS}(dB) = 92.45 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

$L_{FS}$  son las pérdidas en el espacio libre entre el transmisor y el receptor.

$f$  es la distancia entre el transmisor y receptor dado en Km.

$f$  es la frecuencia dado en Ghz.

$K_{wi}$  es el número de paredes atravesadas.

$K_f$  es el número plantas distantes.

$L_{wi}$  es la pérdida por pared .

$L_f$  es la pérdida entre plantas consecutivas.

$b$  es un parámetro empírico con un valor óptimo de 0,46

$i$  es el número de paredes.

#### 4.1 REQUERIMIENTOS

- La imagen del plano arquitectónico que se desea procesar debe estar en una extensión de imagen que pueda ser reconocida por Matlab, de preferencia en extensión .jpg o .jpeg

Para este paso se puede editar la imagen de la planta en un programa de edición de imágenes y guardarlo en la extensión mencionada.

- La imagen debe tener una calidad de alta resolución.
- La imagen en donde se encuentran los elementos de red ZigBee debe contener todos los elementos de red y los elementos de la infraestructura con colores uniformes previamente definidos, estos elementos tendrán los siguientes colores:

*Tabla 4. 1: Características de los elementos del plano*

ELEMENTO	COLOR	VALOR RGB
Coordinador	Rojo	255,0,0
Router	Azul	0,255,0
Dispositivo Final	Verde	0,0,255
Pared	Negro	0,0,0

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO

En la figura se muestra la interfaz gráfica del programa y algunos botones para acceder a distintas herramientas los cuales se explicará su funcionamiento a continuación.

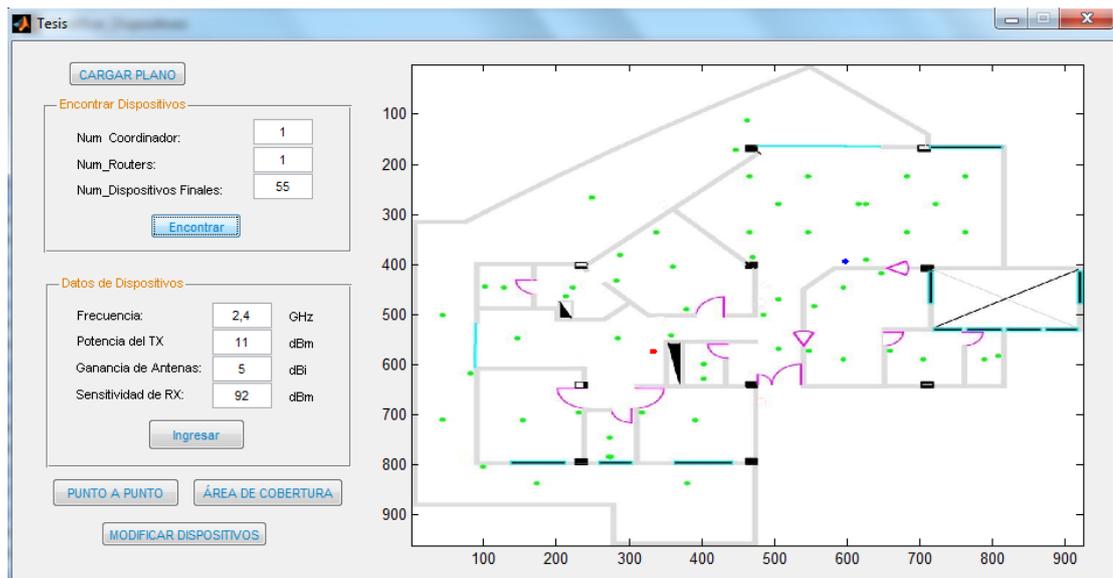


Figura 4. 36: Interfaz gráfica del programa

#### 4.2.1 Herramientas Básicas

El software cuenta con diferentes herramientas para el cálculo de potencia, atenuación y rangos de cobertura en el enlace inalámbrico, las cuales se describen a continuación:

**Cargar Plano.-** Mediante esta herramienta se podrá importar la imagen del plano, la misma que debe estar en formato *jpg*.

La imagen se visualizará en el área de trabajo de la parte derecha como se ve en la figura, todos los cambios que se realiza en la ubicación de los dispositivos se verán reflejados en esta, la cual servirá de interfaz entre el programa y el usuario.

**Encontrar Dispositivos.-** Este botón nos permite encontrar la posición de todos los dispositivos para el posterior cálculo.

Al cargar el plano se guarda como una imagen indexada en Matlab, la cual está formada por un arreglo en tres dimensiones ( $m*n*3$ ); para encontrar los dispositivos se hace una barrido por toda la matriz dependiendo en que dimensión RGB se encuentra.

Para los coordinadores se trabaja en la capa R, para los dispositivos finales en la capa G y para los routers en la capa B, en el caso de los obstáculos que van a ser los atenuadores de nuestro enlace se hace una conversión de la imagen a escala de grises.

A continuación se muestra el panel en donde se indica el número de dispositivos encontrados y clasificados por su tipo.

El número de coordinadores por lo general será de 1 ya que no es necesario más de un coordinador por piso, el número de Routers dependerá de la infraestructura que presente el plano arquitectónico en el caso del ejemplo se tiene 1 router y el número de dispositivos finales depende exclusivamente de los actuadores y sensores instalados en la red ZigBee, en el caso del ejemplo tenemos 55 dispositivos finales.



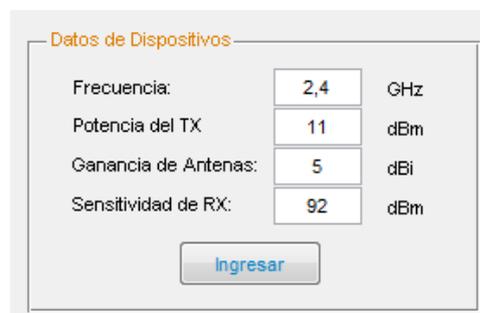
Encontrar Dispositivos

Num Coordinador:	<input type="text" value="1"/>
Num_Routers:	<input type="text" value="1"/>
Num_Dispositivos Finales:	<input type="text" value="55"/>

Figura 4. 37: Número de dispositivos En la Red

**Datos de Dispositivos.-** En este panel podemos ingresar los parámetros físicos a la que va a funcionar la red ZigBee, estos datos servirán para el cálculo del margen de enlace y del área de cobertura de la red.

Es necesario ingresar la frecuencia de operación, la potencia radiada por el transmisor, la ganancia de las antenas que tienen los dispositivos que transmiten o que reciben las señales electromagnéticas, la sensibilidad que presenta el dispositivo que está haciendo de receptor.

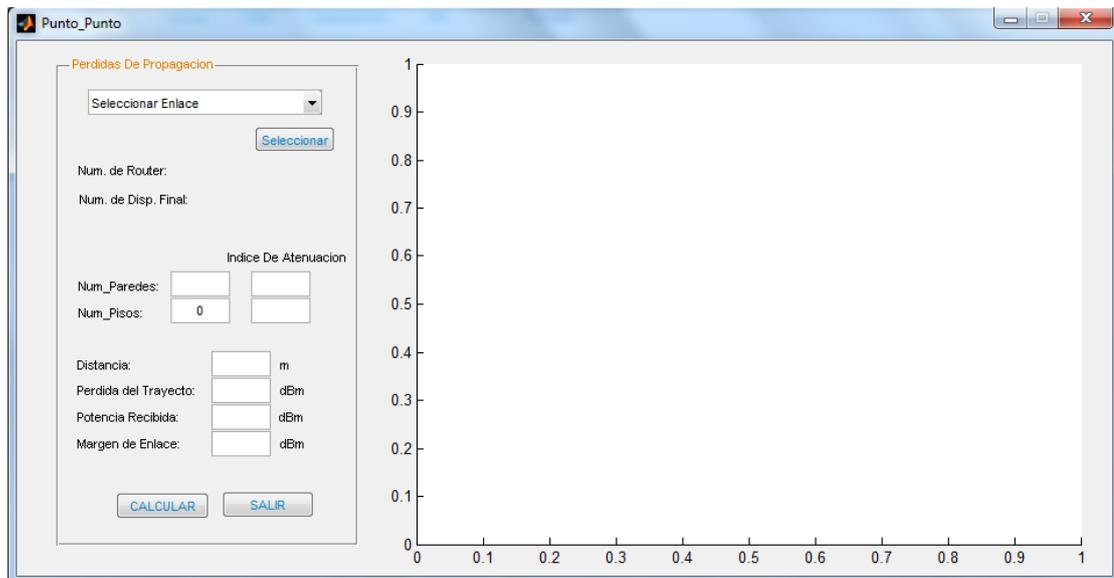


Datos de Dispositivos

Frecuencia:	<input type="text" value="2,4"/>	GHz
Potencia del TX	<input type="text" value="11"/>	dBm
Ganancia de Antenas:	<input type="text" value="5"/>	dBi
Sensibilidad de RX:	<input type="text" value="92"/>	dBm

Figura 4. 38: Panel de Datos de Dispositivos

**Punto a Punto.-** Al accionar el botón “Punto A Punto” se accederá a una nueva pantalla la cual se describirá a continuación:



The screenshot shows a software window titled "Punto\_Punto". On the left side, there is a form titled "Perdidas De Propagacion". The form includes a dropdown menu labeled "Seleccionar Enlace" with a "Seleccionar" button below it. Below this are labels for "Num. de Router:" and "Num. de Disp. Final:". Under the heading "Indice De Atenuacion", there are input fields for "Num\_Paredes:" (containing "0") and "Num\_Pisos:". Further down, there are input fields for "Distancia:" (with a unit "m"), "Perdida del Trayecto:" (with a unit "dBm"), "Potencia Recibida:" (with a unit "dBm"), and "Margen de Enlace:" (with a unit "dBm"). At the bottom of the form are two buttons: "CALCULAR" and "SALIR". To the right of the form is a large empty graph area with a vertical y-axis ranging from 0 to 1 and a horizontal x-axis ranging from 0 to 1, both with tick marks every 0.1 units.

*Figura 4. 39: Ventana del Enlace Punto a Punto*

En la ventana de enlace punto a punto se desarrolló el cálculo de las pérdidas de propagación que existen únicamente entre dos elementos de la red, para estos elementos se debe seleccionar el tipo de enlace:

- Coordinador-Router
- Coordinador-Dispositivo Final
- Router-Dispositivo Final

Posterior a esto se debe indicar con el cursor que dispositivos van a estar incluidos en el cálculo, dependiendo del tipo de enlace seleccionado se pueden elegir un Router o un Dispositivo Final.

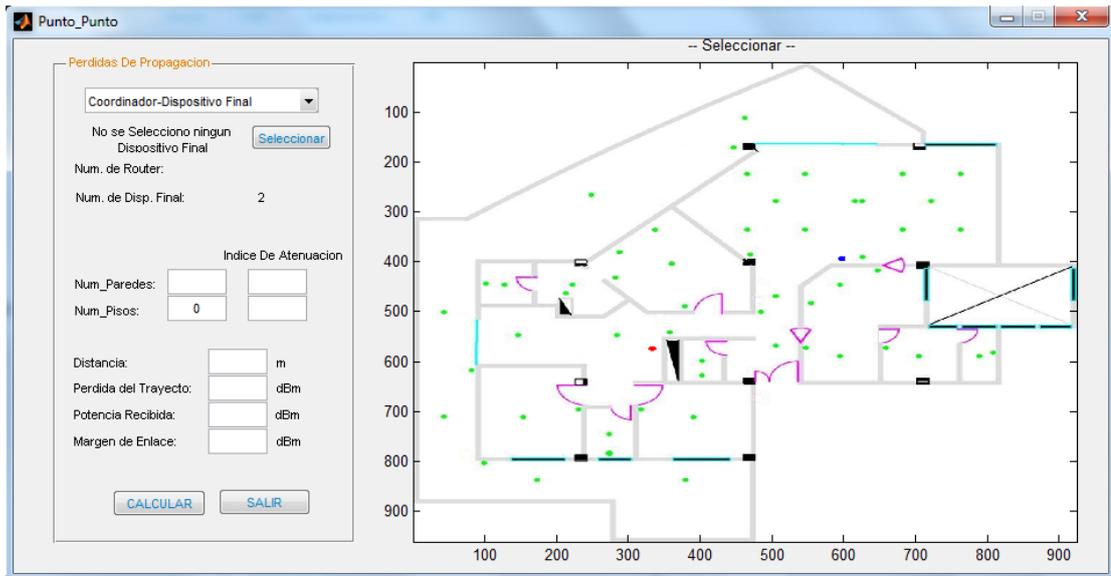


Figura 4. 40: Selección de los dispositivos

Luego se procede a calcular el margen de enlace que existe entre los dispositivos seleccionados.

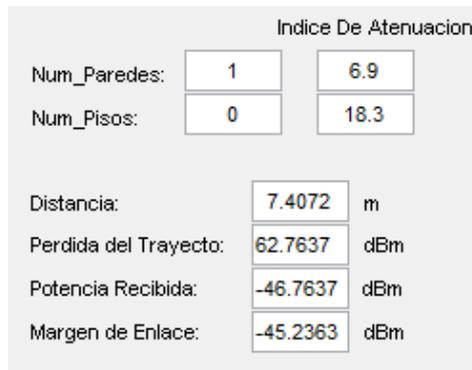


Figura 4. 41: Panel de resultados Enlace P2P

En el panel de resultados se puede observar el número de paredes que existe entre los dispositivos, el coeficiente de atenuación del material de la pared, la distancia que existe entre los dos puntos, además de la pérdida del trayecto dependiendo de los obstáculos, la potencia recibida en el receptor (en este caso cualquiera de los dos dispositivos puede hacer de receptor ya que la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas y la sensibilidad es la misma para los dos).

El enlace entre los dos dispositivos se visualiza en el área de trabajo que se muestra a continuación:

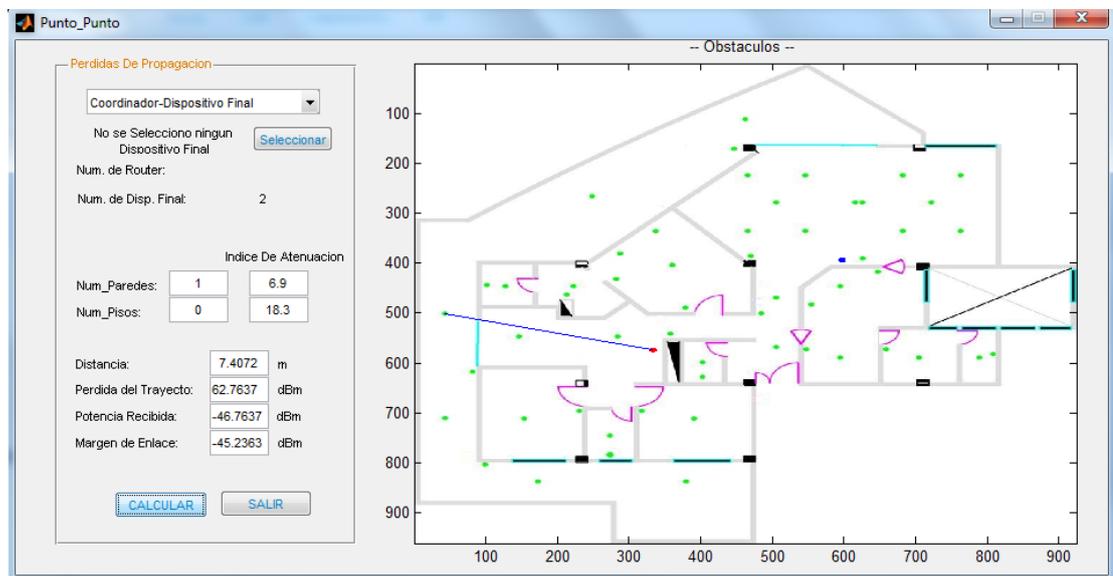


Figura 4. 42: Área de Trabajo del Enlace P2P

**Área de Cobertura.-** Al seleccionar el menú de Área de Cobertura se accede a una pantalla en donde podemos realizar el cálculo de las pérdidas que existe entre un coordinador o un router con todos los dispositivos finales que se encuentran ubicados en toda el área de trabajo del plano arquitectónico.

De manera similar a la ventana del menú Punto a Punto, se debe seleccionar el tipo de dispositivo desde donde se desea calcular con el único requerimiento que el dispositivo seleccionado tenga capacidad de enrutamiento como es el caso de un router o coordinador.

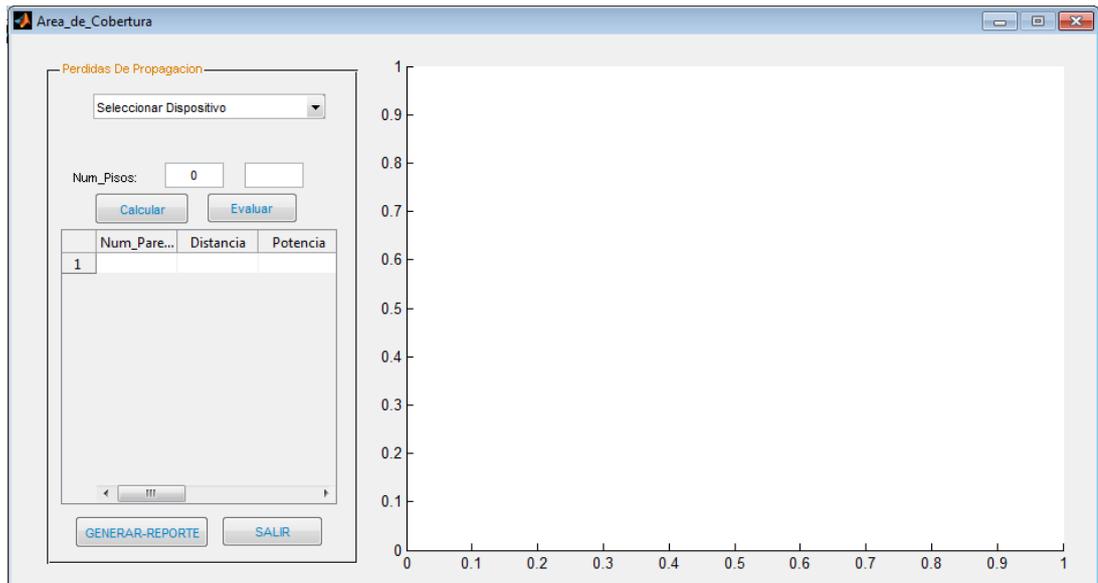


Figura 4. 43: Selección del elemento de red para el área de cobertura

Al presionar el botón Calcular se procede a realizar la ubicación de los obstáculos, el cálculo de la distancia, potencia y el margen de enlace de todos los dispositivos finales, estos valores se visualiza en la tabla que se presenta a continuación:

	Num_Pare...	Distancia	Potenc
1	2	7.9489	-54.2
2	1	7.4072	-46.7
3	2	6.3308	-52.2
4	0	8.1372	-40.6
5	3	6.5814	-59.5
6	4	5.9993	-65.6
7	0	4.6860	-35.8
8	0	5.6082	-37.4
9	2	7.6348	-53.9
10	1	4.0488	-41.5
11	1	4.1887	-41.8

Figura 4. 44: Resultados del área de cobertura

El botón Evaluar está programado para realizar una comparación entre la potencia recibida y la sensibilidad, para diagnosticar el estado de conexión que presentan todos los dispositivos, ya que dada la forma irregular del plano se tienen diferentes atenuaciones para cada dispositivo, se ha clasificado los niveles de conexión en tres:

- Sin conexión
- Riesgo de Conexión
- Conectado

El criterio para la clasificación depende de un valor de ventana que existe entre cada estado por lo que los elementos con riesgo de conexión y los Sin conexión deberían ser revisados para no tener problemas de desconexión.

A continuación se muestra la tabla de evaluación de los dispositivos finales:

ESTADO DE CONEXION			
	Sin Conexión	Riesgo de C...	Conectado
1	0	5	1
2	0	6	2
3	0	28	3
4	0	29	4
5	0	30	7
6	0	35	8
7	0	37	9
8	0	42	10
9	0	43	11
10	0	44	12
11	0	45	13
12	0	46	14
13	0	48	15
14	0	49	16
15	0	50	17
16	0	51	18
17	0	52	19
18	0	54	20
19	0	55	21
20	0	0	22

*Figura 4. 45: Clasificación de los estados de evaluación*

El botón Mostrar permite visualizar en el área de trabajo los dispositivos que están conectados, con riesgo de conexión y sin conexión los mismos que se dispondrán de color verde, amarillo y rojo respectivamente.

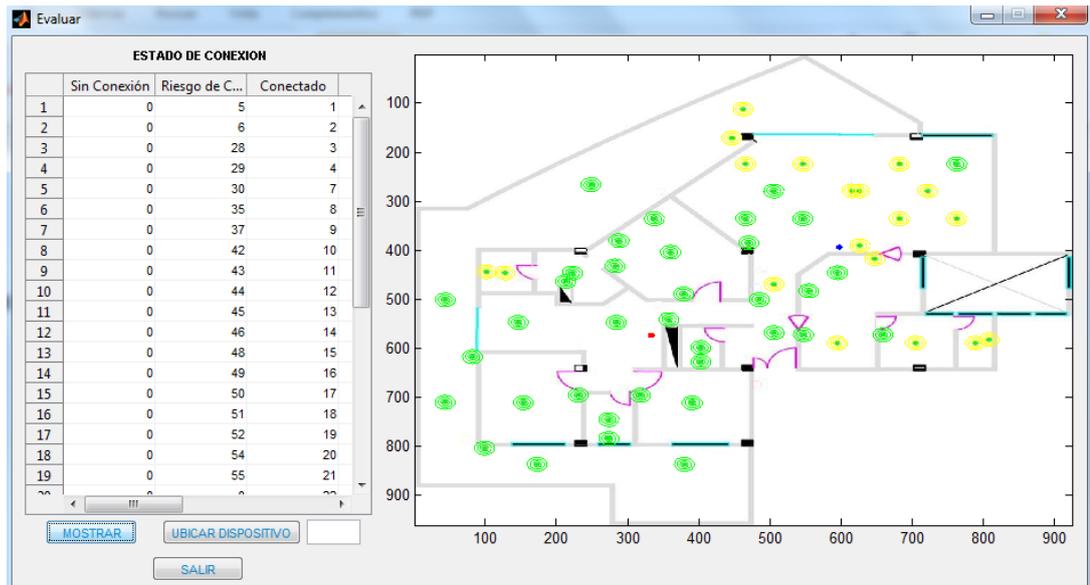


Figura 4. 46: Estado de Conexión de los Dispositivos.

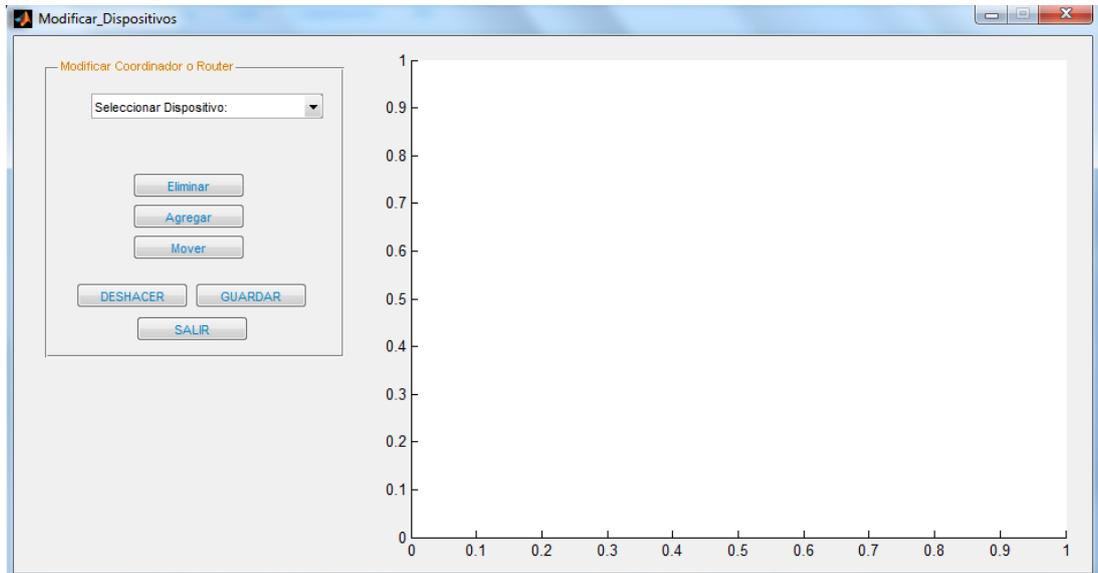
El botón Generar-Reporte permite generar un informe con todos los valores antes mencionados y los estados de conexión de cada elemento, este informe se lo puede imprimir para su posterior revisión ya que se genera una Hoja de cálculo de Microsoft Excel con una extensión .xls.

**Modificar Dispositivos.-** Al seleccionar el menú de Modificar Dispositivos se accede a una pantalla en donde se puede modificar la ubicación de los coordinadores o routers, dependiendo del reporte de cobertura que obtenemos del menú Área de cobertura.

Como se observa en la figura la ventana Modificar Dispositivos cuenta con 5 botones con funciones definidas:

- **Eliminar.-** Con este botón se eliminara el dispositivo que se seleccione.
- **Agregar.-** con este botón se puede agregar un dispositivo, este puede ser un coordinador o un router.
- **Mover.-** Este botón tiene la función de desplazar al dispositivo seleccionado hasta la nueva ubicación que se desee.
- **Deshacer.-** Esta función nos permite deshacer todas las modificaciones que se realizaron en el plano original.

- **Guardar.-** Esta función está encargada de guardar las modificaciones en el plano de manera definitiva.



*Figura 4. 47: Ventana Modificar dispositivos*

## CRITERIOS DE INSTALACIÓN.

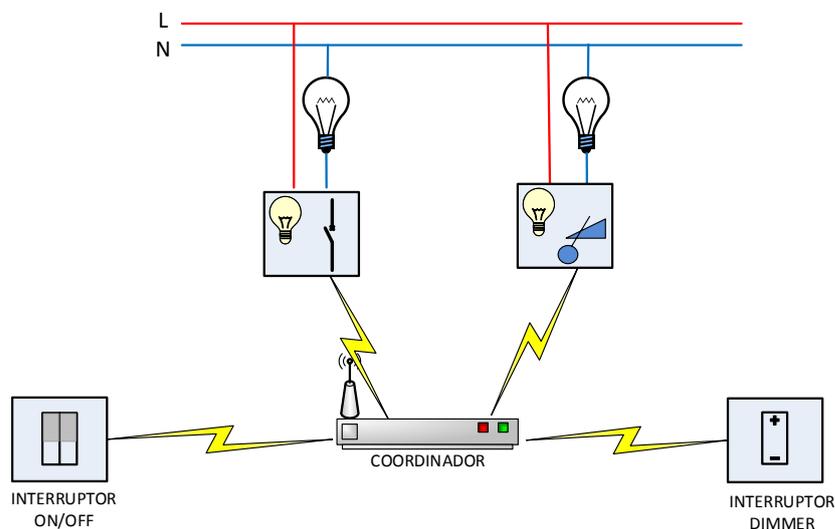
### 5. DIAGRAMA FUNCIONAL

En el siguiente diagrama se detalla la conexión que deben tener los dispositivos de acuerdo a la aplicación que se desea implementar tanto en el esquema de mando como en el esquema de fuerza.

**Diagrama de mando:** El esquema de mando nos indica cómo se conectan vía inalámbrica los dispositivos de mando o sensores con los actuadores en una red ZigBee.

**Diagrama de Fuerza:** El esquema de fuerza nos indica cómo conectar los actuadores de la red ZigBee con la red eléctrica, se debe tener presente la capacidad de carga que viene dado por el fabricante del dispositivo para no tener problemas de averías de los actuadores.

En el diagrama que se presenta a continuación se tiene el mando de una luminaria convencional con un Interruptor ON/OFF a través de un actuador ON/OFF, en la figura 4.1 se presentan los diagramas de mando y de fuerza que deben realizarse para esta configuración.



*Figura 5. 1 Esquema Funcional*

## 6. CONFIGURACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Como referencia para la configuración de dispositivos ZigBee se ha tomado en consideración el documento sistemas de radio de la marca Bticino, el cual nos presenta una solución para la instalación de dispositivos de iluminación, climatización y seguridad.

El modo de configuración dependerá de la siguiente leyenda de símbolos, los cuales mostrarán el estado de los indicadores luminosos de los dispositivos:

Tabla 6. 1: Estado de indicadores Luminosos [30]

	APAGADO
	ILUMINADO FIJO
	PARPADEANTE LENTO (1s)
	PARPADEANTE RAPIDO (0,25s)
	PARPADEO(60ms)
	3 PARPADEOS (3 s)

Los indicadores luminosos y pulsadores que tienen los dispositivos Bticino, servirán para la configuración del equipo en una red ZigBee.

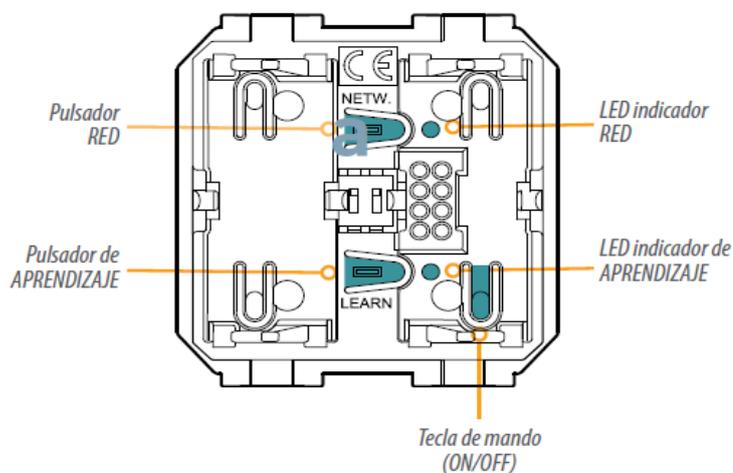


Figura 6. 2: Indicadores y Pulsadores de Configuración [30]

## Pasos de Configuración:

### 6.1 SELECCIONAR UN DISPOSITIVO COMO COORDINADOR

Seleccionar el actuador que funcionará como coordinador y pulsar la tecla red por 4 segundos.

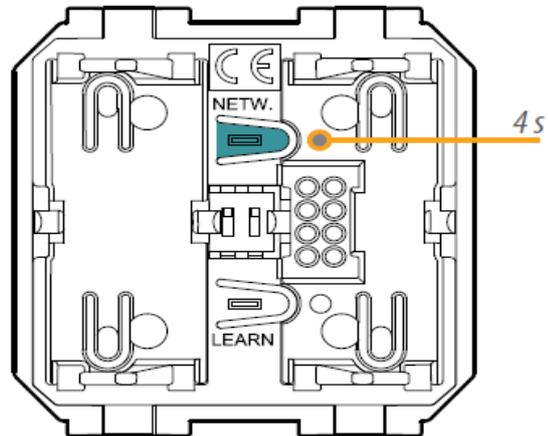


Figura 6. 3: Dispositivo Coordinador [30]

- El indicador luminoso de red cambiará de estado (apagado a encendido) y parpadeará rápidamente.
- 

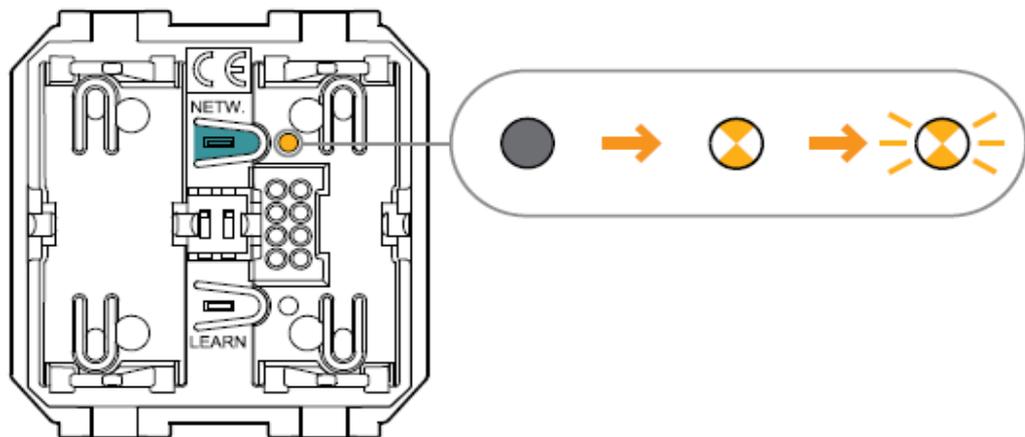


Figura 6. 4: Dispositivo Coordinador [30]

## 6.2 AGREGAR DISPOSITIVOS A LA RED

Seleccionar el dispositivo que se desea unir a la red y pulsar la tecla de Red, en este momento el indicador de red se encenderá fijamente hasta buscar la red y luego parpadeará lentamente. Esta operación se repite para todos los dispositivos que se desea agregar a la red.

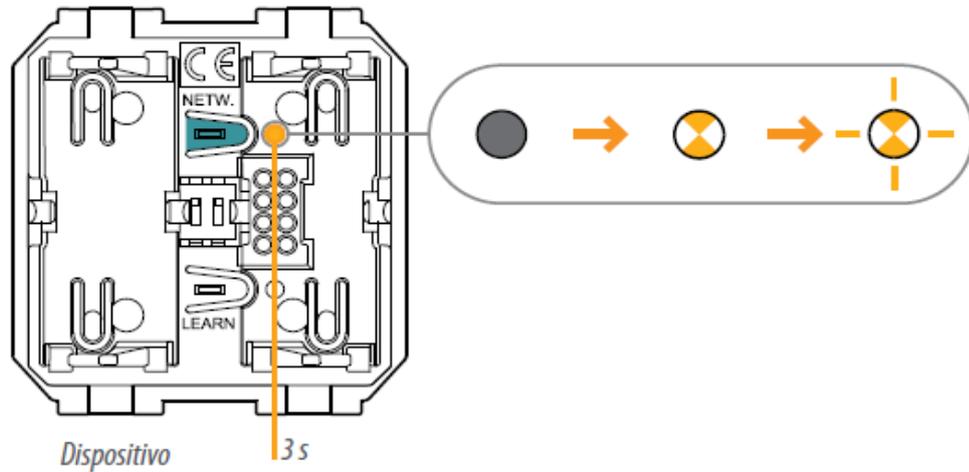


Figura 6. 5: Dispositivo Terminal [30]

- Para terminar el procedimiento de agregación de Dispositivos de debe pulsar brevemente la tecla RED en el dispositivo Coordinador, el indicador de red parpadeará tres veces mientras que los indicadores de los demás dispositivos se apagarán.

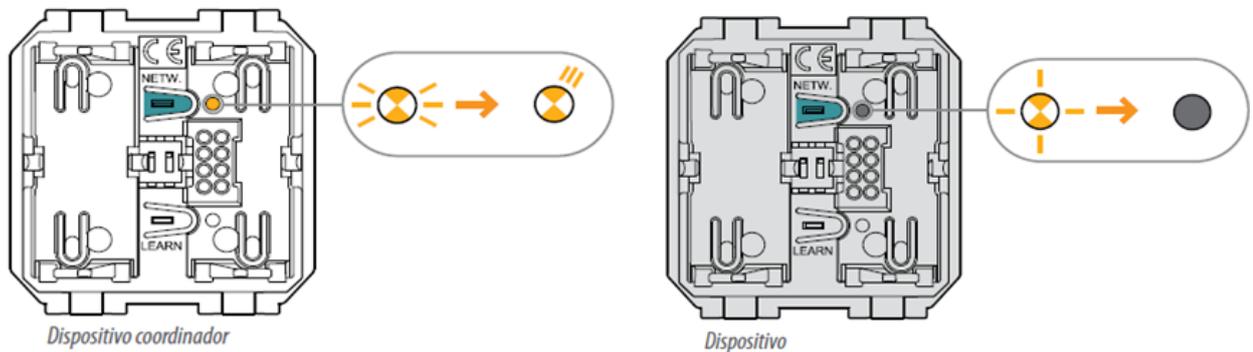


Figura 6. 6: Agregación de Dispositivos [30]

- Para verificar que los dispositivos se encuentran en una red común se debe presionar la tecla de RED de cualquier Actuador o del Coordinador; el indicador de red del coordinador parpadeará lentamente mientras el indicador de red de los demás dispositivos parpadeará rápidamente.

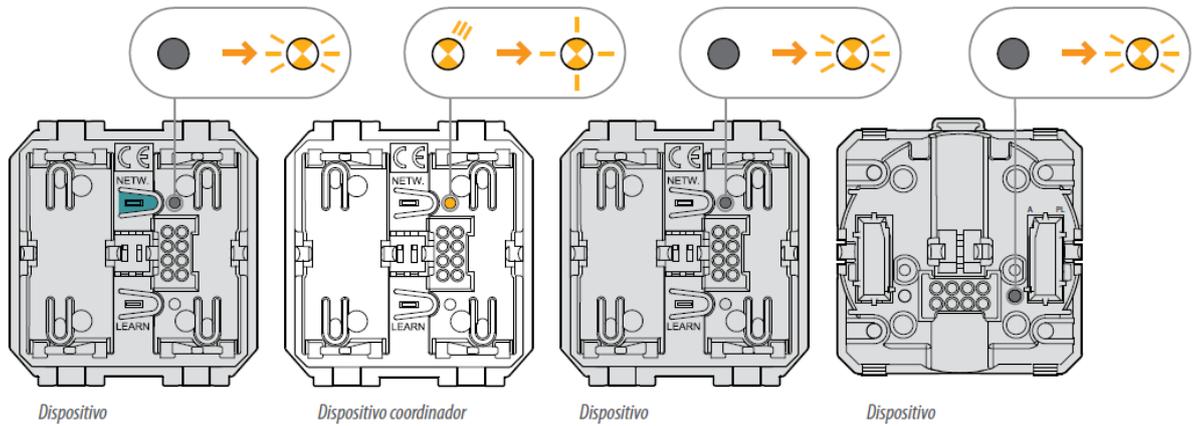


Figura 6. 7: Verificación De Dispositivos En La Red [30]

### 6.3 ASOCIAR DISPOSITIVOS

Presionar la tecla de Aprendizaje del dispositivo que desea asociarse, el indicador de aprendizaje parpadeará lentamente.

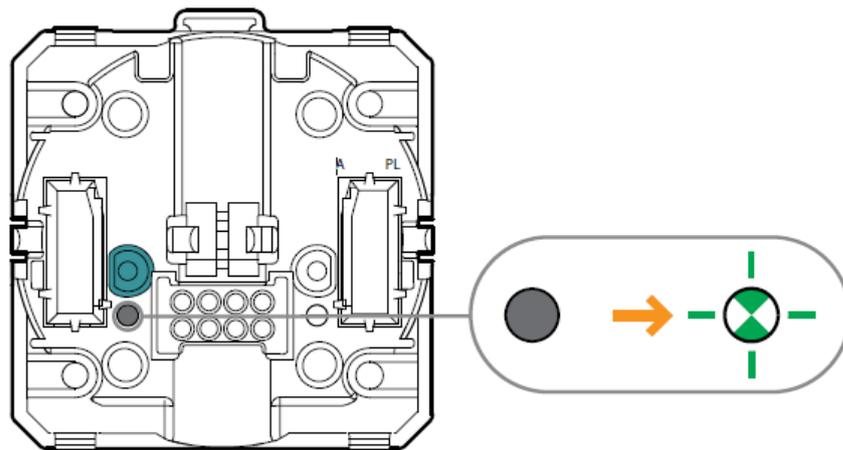


Figura 6. 8: Asociación De Dispositivos En La Red [30]

- Esperar por lo menos 1 segundo y luego pulsar la tecla ON, el indicador de aprendizaje cambiará a un parpadeo rápido, este procedimiento se debe efectuar con todos los Comandos que desean asociarse a un actuador.

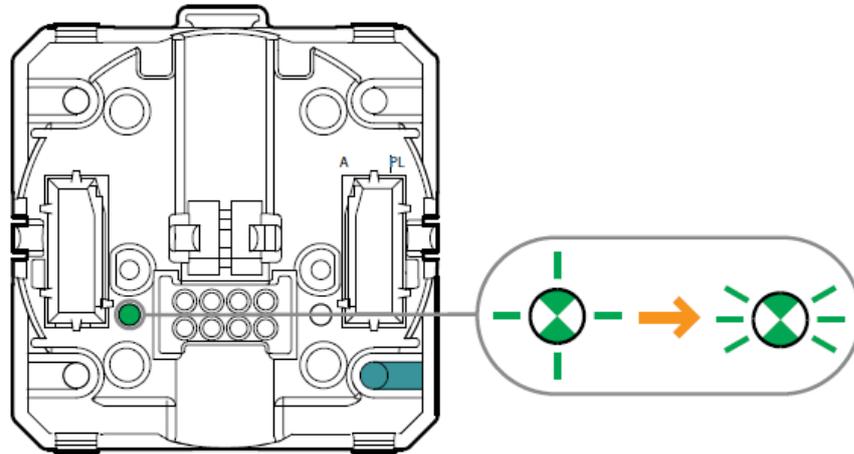


Figura 6. 9: Asociación De Dispositivos En La Red –Comando– [30]

- En el actuador que desea asociarse se debe presionar la tecla de aprendizaje, el indicador de aprendizaje parpadeará lentamente.

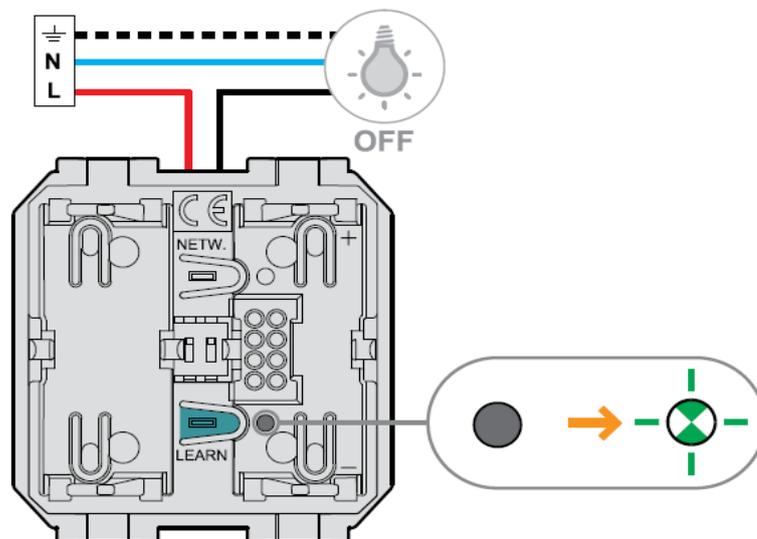


Figura 6. 10: Asociación De Dispositivos En La Red –Actuador– [30]

- Pulsar la tecla ON en el actuador, por tanto el indicador de aprendizaje cambia de parpadeo lento a rápido.

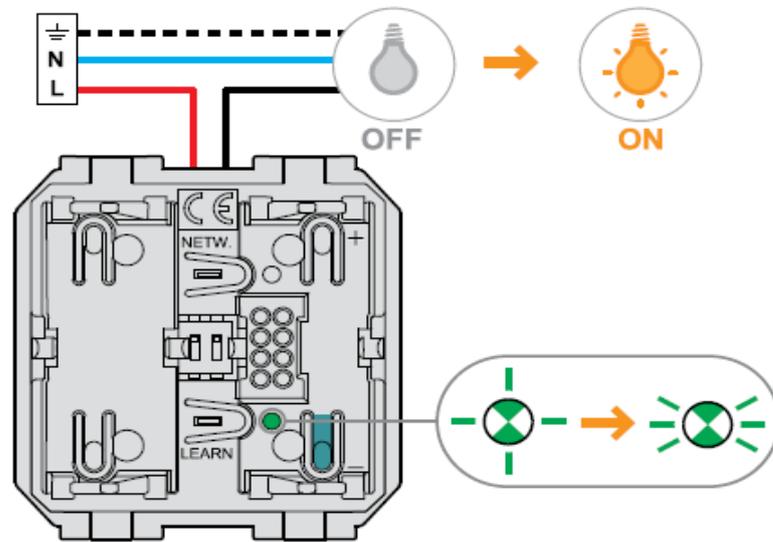


Figura 6. 11: Asociación De Dispositivos En La Red –Actuador– [30]

- En el dispositivo de comando que se asoció se debe pulsar la tecla de aprendizaje, los indicadores de aprendizaje de todos los dispositivos que se asociaron se apagarán.

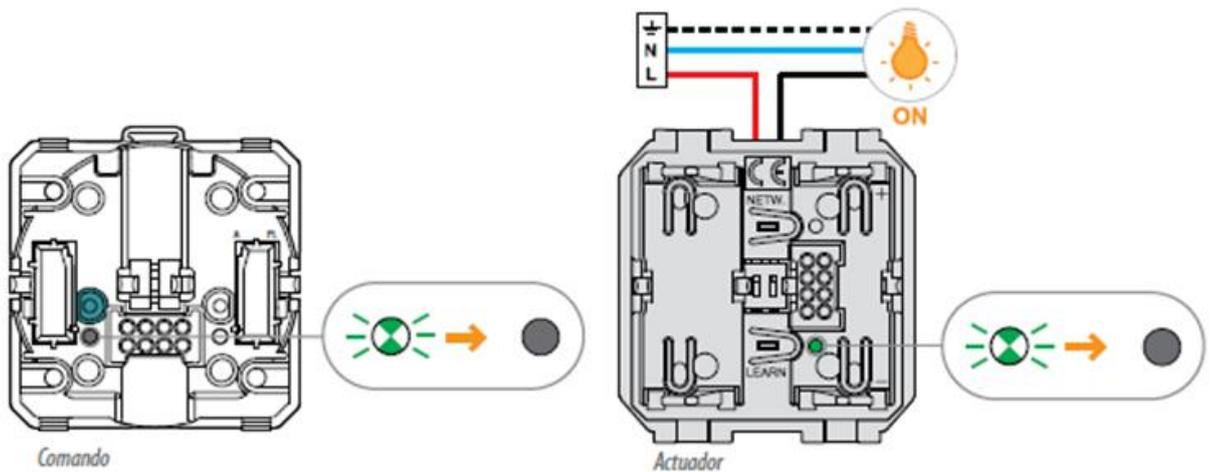


Figura 6. 12: Asociación De Dispositivos En La Red –Comando-Actuador– [30]

- Para verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos que se han asociado, se debe pulsar la tecla Off del Dispositivo de comando, y se deberá apagar la carga conectada al actuador.

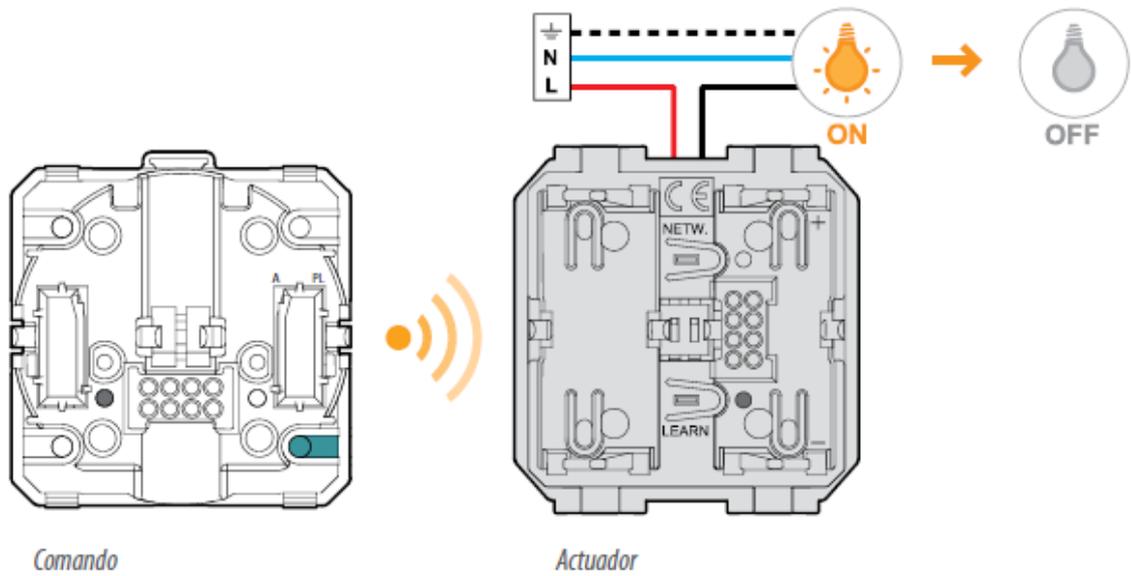


Figura 6. 13: Asociación De Dispositivos En La Red –Comando-Actuador– [30]