

# INDICE GENERAL

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1. Problema y contexto.....	5
1.1 Definición del problema.....	5
1.2 Objetivo.....	9
1.3 Estado de arte.....	10
1.4 Planteamiento de la propuesta.....	17
CAPÍTULO 2. Tecnologías de comunicación inalámbrica.....	21
2.1 Redes inalámbricas.....	21
2.2 IEEE 802.11.....	23
2.3 Wi-Fi Alliance.....	24
2.4 WPAN.....	26
2.5 IEEE 802.15.....	27
2.6 Bluetooth.....	28
2.7 ZigBee.....	30
2.8 ZigBee Alliance.....	33
2.9 WSN.....	34
2.10 WBAN.....	35
2.11 RFID.....	36
2.12 RFID Alliance Lab.....	39
2.13 Comparación de las tecnologías.....	39
2.14 Coexistencia.....	41
2.15 Justificación de la elección de ZigBee.....	42
CAPÍTULO 3. ZigBee.....	43
3.1 Modelo de referencia OSI.....	43
3.2 Relación de ZigBee con el modelo de referencia OSI.....	45
3.2.1 La capa PHY del estándar.....	46
3.2.2 Subcapa MAC del estándar.....	52
3.2.3 Pila ZigBee.....	54

3.3	Dispositivos que conforman una red ZigBee.....	55
3.4	Topología de la red.....	57
3.5	Tráfico en la red.....	59
3.5.1	Con balizas.....	60
3.5.2	Sin balizas.....	60
3.6	Seguridad.....	63
3.7	System on chip.....	64
3.8	Ventajas/Desventajas.....	65
	<b>CAPÍTULO 4. Transmisión y localización de dispositivos.....</b>	<b>67</b>
4.1	Metodologías de localización.....	67
4.1.1	Ángulo de llegada.....	68
4.1.2	Tiempo de llegada.....	68
4.1.3	RSSI.....	69
4.2	RSSI y ZigBee.....	70
4.3	Modelos de transmisión.....	72
4.3.1	Pérdidas en interiores.....	74
4.3.2	Modelos de pérdidas en interiores.....	75
4.3.3	Clasificación de los modelos de transmisión.....	79
4.4	Modelo del sistema de localización.....	85
4.4.1	Obtención del modelo de propagación.....	88
4.4.2	Algoritmo para la obtención del factor de atenuación.....	89
4.4.3	Algoritmo para la localización.....	91
	<b>CAPÍTULO 5. Riesgos a la salud y Regulaciones legales.....</b>	<b>97</b>
5.1	Las comunicaciones inalámbricas y la salud.....	99
5.2	Normatividad de las comunicaciones inalámbricas.....	106
5.3	La tecnología en los hospitales de México.....	109
5.4	Interoperabilidad.....	111
5.5	Interferencia. Comunicaciones inalámbricas y seguridad de los pacientes en los hospitales.....	115

Conclusiones.....	119
Apéndice A. Espectro Disperso.....	123
Apéndice B. Dispositivos aplicables al caso de estudio.....	141
Bibliografía.....	147

## INDICE DE IMÁGENES

### CAPÍTULO 1. Problema y contexto

Figura 1.1 Esquema general de la red de comunicación.....	18
---	----

### CAPÍTULO 2. Tecnologías de comunicación inalámbrica

Figura 2.1 Logotipo de la Wi-Fi Alliance.....	24
---	----

Figura 2.2 Logotipos de algunas de las empresas que conforman la Wi-Fi Alliance .....	25
---	----

Figura 2.3 Logotipo de Bluetooth.....	28
---------------------------------------	----

Figura 2.4 Topologías de red que se pueden implementar con una red trabajando con ZigBee .....	32
--	----

Figura 2.5 Logotipo de la ZigBee Alliance.....	33
--	----

Figura 2.6 Logotipos de las empresas promotoras de la ZigBee Alliance.....	33
--	----

Figura 2.7 Redes de sensores implementadas en un vivero la primera y en una cava la segunda .....	35
---	----

Figura 2.8 Red de sensores de área corporal.....	36
--	----

Figura 2.9 Red trabajando con RFID.....	38
---	----

Figura 2.10 Tag adherido a una etiqueta.....	38
--	----

Figura 2.11 Logotipo de la RFID Alliance Lab.....	39
---	----

Figura 2.12 Logotipos de los socios que pertenecen a la RFID Alliance Lab.....	39
--	----

Figura 2.13 Comparación entre estándares de comunicación.....	40
---	----

### CAPÍTULO 3. ZigBee

Figura 3.1 Las 7 capas del modelo de referencia OSI.....	45
--	----

Figura 3.2 Pila de la tecnología ZigBee.....	46
--	----

Figura 3.3 Formato de la PPDU .....	47
Figura 3.4 Diagrama de modulación y dispersión de la señal.....	50
Figura 3.5 Offset de los chips de O-QPSK.....	51
Figura 3.6 Formato general de la trama MAC .....	53
Figura 3.7 Pila de ZigBee.....	55
Figura 3.8 Elementos que conforman una red ZigBee y su función en ella.....	57
Figura 3.9 Topologías que se pueden presentar en una red ZigBee.....	57
Figura 3.10 Topología cluster tree.....	58
Figura 3.11 Comunicación con coordinador en una red con baliza.....	61
Figura 3.12 Comunicación con coordinador en una red sin baliza.....	61
Figura 3.13 Comunicación del coordinador a un dispositivo en una red con baliza.....	62
Figura 3.14 Comunicación del coordinador a un dispositivo en una red sin baliza.....	63
Figura 3.15 Módulo transreceptor XBee Znet 2.5.....	64
Figura 3.16 Diagrama de un dispositivo SoC de ZigBee.....	65
<b>CAPÍTULO 4. Transmisión y localización de dispositivos</b>	
Figura 4.1 Métodos de localización.....	67
Figura 4.2 Diagrama de un hospital con propuesta de sistema de localización.....	95
<b>CAPÍTULO 5. Riesgos a la salud y Regulaciones legales</b>	
Figura 5.1 Espectro de frecuencias.....	99
Figura 5.2 Imagen del espectro electromagnético.....	102
Figura 5.3 Señal que advierte la presencia de radiación no ionizante.....	108
Figura 5.4 Miembros promotores de Continua Health Alliance.....	111

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Comparación entre Bluetooth y ZigBee.....	28
Tabla 2.2 Características de las bandas ISM.....	31
Tabla 2.3 Comparación entre tecnologías.....	39
Tabla 2.4 Comparación entre ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi.....	40

Tabla 3.1 Bandas de frecuencia y tasas de transferencia de IEEE 802.15.4 .....	48
Tabla 3.2 Tabla de mapeo de símbolo a chip como se muestra en IEEE 802.15.4 .....	50
Tabla 4.1 Diferencias entre productos de diferentes fabricantes.....	78
Tabla 4.2 Exponentes de las pérdidas en diferentes escenarios.....	85
Tabla 5.1 Límites de exposición a radiaciones de $10^{-1}$ a $10^8$ .....	108

## INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1 Distancia contra potencia.....	90
--	----