

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA DE GESTIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA LA TRANSMISIÓN DE PEQUEÑOS VOLÚMENES DE DATOS

Alumno/Alumna: Jose Miguel Vega Díaz

Director/Directora (1): Javier Jesús Bilbao Landache

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 19, 07, 2019

Resumen

El término "comunicación inalámbrica" hace referencia a la tecnología sin cables que permite conectar varios dispositivos entre sí.

Actualmente las tecnologías inalámbricas se han convertido en herramientas indispensables para el desarrollo de nuestra vida tanto laboral como personal. Estas tecnologías se encuentran tan normalizadas que apenas nos damos cuenta de los diferentes usos y ventajas que nos pueden brindar.

Por una parte, entre las más usadas hoy en día podemos destacar tecnologías como WI-FI, Bluetooth, Radiofrecuencias (RF) o la red de telefonía móvil, siendo éstas las más comunes entre los usuarios de a pie y las más reconocidas. Por otro lado, podemos destacar también algunas tecnologías que no son tan comunes o reconocidas como las anteriores y que van a ser objeto de estudio durante este trabajo. Estamos hablando de la tecnología ZigBee.

La realización de una comparativa real de estas tecnologías inalámbricas es el objetivo de este trabajo, donde se realizaran pruebas a diferentes escalas para dar una respuesta a las situaciones en las que daría mejor rendimiento en función de sus cualidades.

Summary

The “Wireless Communication” term refer to technologies than can maintain a connection or data transfer among several devices without the use of wires.

Currently, wireless technologies have become indispensable tools in for the development of our personal and work lives. These technologies are so normalized that we hardly notice about their different uses, capacities or advantages that they can offer us.

On the one hand, between the most used technologies we can highlight some types such as Wi-fi, Bluetooth, Radiofrequency, in addition to the mobile technology. Those are the technologies that we recognise most. On the other hand we can mention other technologies that are not appreciated as much as the popular mentioned above. We are talking about ZigBee. All of them are going to be the main topic of this research.

Making a real comparison between these technologies is the aim of this final thesis. We will make different tests in order to have proves of their capacities and to see how they reaction is in some situations.

Laburpena

“Haririk gabeko komunikazioa” terminoa, hainbat gailu konektatzen dituen haririk gabeko teknologiarik erreferentzia egiten dio.

Gaur egun, haririk gabeko teknologiak ezinbesteko tresna bihurtu dira gure lan eta bizitza pertsonala garatzeko. Teknologia horiek hain estandarizatuta daude, zeinetan ozta-ozta konturatzen garen eskaintzen dituzten erabilera eta abantaila desberdinez.

Gehien erabiltzen diren artean, Wi-Fi, Bluetooth, Radio Frequency (RF) edo telefono mugikorren sarea bezalako teknologiak nabarmentzen dira, hauen artean ohikoenak diren eta gehien ezagutzen direnak izanik. Beste alde batetik, aurrekoen bezain entzunak ez diren teknologiak ere azpimarratu ditzakegu, geroago, lan honetan zehar sakonago aztertuko diren objektuak izango direnak. Hain zuzen ere: ZigBee ez hitz egiten ari gara.

Haririk gabeko teknologia benetako konparazioa gauzatzea lan honetako helburua da, non eskala ezberdinetan probak egingo diren eta haien ezaugarrien arabera errendimendu hobea emango lukeen egoerei erantzuna emateko.

Índice general

1	Introducción	12
2	Objetivos de proyecto.....	14
2.1	Objetivos.....	14
2.2	Propósito.....	14
2.3	Ámbito	14
2.4	Motivación de proyecto	15
3	Definiciones, acrónimos y abreviaturas	16
4	Conocimientos fundamentales.....	19
4.1	Protocolos de red	19
4.2	Modelo OSI	19
4.3	Ondas electromagnéticas.....	21
4.4	Espectro electromagnético	21
4.5	Tipos de redes inalámbricas	22
4.6	Clasificación de alcance.....	23
4.7	WLAN.....	24
4.8	WPAN.....	25
5	Antecedentes	26
5.1	Situación actual.....	26
5.1.1	RF.....	26
5.1.2	Bluetooth.....	26
5.1.3	Wi-fi.....	29
5.1.4	Zigbee	31
6	Análisis de componentes	34
6.1	Arduino Uno	34
6.2	Módulos	35
6.2.1	ESP8266.....	35
6.2.2	BLE HC-08	37
6.2.3	NRF24L01+PA+LNA	38
6.2.4	XBEE.....	39
7	Herramientas.....	41
7.1	Arduino IDE.....	41
7.2	XCTU	41
7.3	PyCharm.....	42
7.4	Fritzing	43
8	Diseño y Planificación.....	44

8.1	Planificación temporal	44
8.1.1	Tareas	44
8.1.2	Diagrama CPM.....	44
8.1.3	Diagrama Gantt.....	46
8.2	Presupuesto.....	47
8.3	Riesgos	48
8.3.1	Errores en la planificación.....	48
8.3.2	Baja producción.....	48
8.3.3	Diseño deficiente del proyecto	48
8.3.4	Averías técnicas.....	48
8.3.5	Bajas médicas.....	49
8.4	Criterios a evaluar	49
8.4.1	Distancia	49
8.4.2	Velocidad de transmisión.....	49
8.4.3	Calidad de transmisión.....	50
8.4.4	Consumo	50
8.4.5	Escalabilidad	50
8.4.6	Tiempo medio de comunicación.....	50
8.4.7	Calidad de conexión.....	50
8.5	Escenarios	51
8.5.1	Campo abierto	51
8.5.2	Dentro de un edificio	51
8.5.3	Diferentes obstáculos	52
8.6	Combinación.....	52
8.7	Material de transmisión.....	52
9	Desarrollo	56
9.1	Estudio previo de expectativas.....	56
9.2	Conexiones y configuraciones.....	57
9.2.1	BLE SH-HC-08	57
9.2.2	XBee S2C.....	58
9.2.3	ESP8266.....	60
9.2.4	NRF24L01.....	62
9.3	Mediciones.....	63
9.4	Análisis del espectro de los entornos	64
9.5	Plan de pruebas.....	67
9.5.1	Pruebas de control.....	67
9.5.2	Pruebas texto corto.....	67
9.5.3	Pruebas texto largo.....	68

10	Resultados	69
10.1	Pruebas de control	69
10.2	Pruebas texto corto	83
10.3	Pruebas texto largo	95
11	Conclusiones.....	108
12	Bibliografía.....	110
13	Anexos	113
13.1	Código de test de conexión NRF con Arduino	113
13.2	Código para la realización de pruebas del NRF con Arduino [EMISOR]...	114
13.3	Código para la realización de pruebas del NRF con Arduino [RECEPTOR]. 116	
13.4	Código de configuración AT para BLE SH-HC-08 [28]	117
13.5	Código pruebas BLE SH-HC-08	117
13.6	Código prueba conexión ESP8266.....	119
13.7	Código Test.py para realizar peticiones a ESP8266	120
13.8	Introducción a los resultados de referencia.....	122
13.9	Resultados referencia ESP8266 Control.....	122
13.10	Resultados referencia ESP8266 Texto Corto.	124
13.11	Resultados referencia ESP8266 Texto Largo.	128
13.12	Resultados referencia BLE SH HC-08Control.....	131
13.13	Resultados referencia BLE SH HC-08 Texto Corto.	134
13.14	Resultados referencia BLE SH HC-08 Texto Largo.	136
13.15	Resultados referencia NRF24L01 Control.....	138
13.16	Resultados referencia NRF24L01 Texto Corto.	141
13.17	Resultados referencia NRF24L01 Texto Largo.	144
13.18	Resultados referencia XBEE Control.....	147
13.19	Resultados referencia XBEE Texto Corto.	150
13.20	Resultados referencia XBEE Texto Largo.	153

Índice de Figuras

Figura 1: La pila OSI. [4]	20
Figura 2: Representación gráfica de la unidad de medida 'herzio' o 'hertzio'.	21
Figura 3: Espectro electromagnético de frecuencias. [7]	22
Figura 4: Tipos de redes inalámbricas [8]	23
Como se puede ver referenciado en la <i>Figura 4</i> tenemos diferentes grupos de clasificación:	23
Figura 5: Clasificación de las tecnologías que serán objeto de estudio.	24
Figura 6: Topología de redes Bluetooth. [11]	27
Figura 7: Arquitectura 802.11. [8]	30
Figura 8: Topologías de red ZigBee. [16]	31
Figura 9: Soporte total en red de malla. [15]	32
Figura 10: Esquema eléctrico de Arduino Uno.	34
Figura 11: Pines ESP8266. [19]	35
Figura 12: Esquema del módulo BLE HC-08. [23]	37
Figura 13: Esquema de pines NRF24L01 + PA + LNA. [23]	38
Figura 14: Esquema de pines XBee XB24CZ7WIT-004.	40
Figura 15: Apariencia inicial de Arduino IDE.	41
Figura 16: Apariencia inicial de XCTU.	42
Figura 17: Licencia PyCharm.	43
Figura 18: Apariencia principal Fritzing.	43
Figura 19: Desglose de tareas. (Generado con GanttProject)	44
Figura 20: Diagrama CPM	45
Figura 21: Diagrama Gantt. (Generado por GanttProject)	46
Figura 22: Consumo en transmisión de los módulos.	57
Figura 23: Consumo en Standby de los módulos.	57
Figura 24: Escalabilidad de las tecnologías.	57
Figura 25: Conexiones BLE SH-HC-08 I.	58
Figura 26: Conexiones XBee.	59
Figura 27: Configuración coordinador XBee I.	59
Figura 28: Configuración router XBee I. [32]	60
Figura 29: Conexión ESP8266 Modo UART.	61
Figura 30: Conexión ESP8266 Modo Flash.	61
Figura 31: Conexión NRF24L01	62

Índice de Tablas

Tabla 1: Distribución de tecnologías inalámbricas a lo largo del espectro. [8]	22
Tabla 2: Dispositivos Bluetooth por clase. [10]	28
Tabla 3: Características Arduino Uno.	35
Tabla 4: Características ESP8266. [20]	36
Tabla 5: Configuración de modos ESP8266. [19]	36
Tabla 6: Tabla de características BLE SH HC - 08.	38
Tabla 7: Características NRF24L01 + PA + LNA. [24]	39
Tabla 8: Holgura del diagrama CPM.....	45
Tabla 9: Riesgo: Errores en planificación.....	48
Tabla 10: Riesgo: Baja producción.....	48
Tabla 11 Riesgo: Diseño deficiente del proyecto.	48
Tabla 12 Riesgo: Averías técnicas	49
Tabla 13: Riesgo: Bajas médicas.....	49
Tabla 14: Texto corto Lorem Ipsum. [31]	53
Tabla 15: Texto largo Lorem Ipsum. [31]	55
Tabla 16: Distancia máxima teórica.	56
Tabla 17: Velocidad máxima de transmisión.	56
Tabla 18: Pruebas de control.....	67
Tabla 19: Pruebas de texto corto.	68
Tabla 20: Pruebas de texto largo.....	68
Tabla 21: Resultados campo abierto fuera de ciudad pruebas de control.	70
Tabla 22: Resultados campo abierto dentro de ciudad pruebas de control.	72
Tabla 23: Resultados dentro de edificio mismo espacio pruebas de control.	73
Tabla 24: Resultados dentro de edificio tras suelo pruebas de control.	75
Tabla 25: Resultados tras pared de pladur pruebas de control.	77
Tabla 26: Resultados tras pared de bloque pruebas de control.	78
Tabla 27: Resultados tras pared de ladrillo pruebas de control.....	80
Tabla 28: Resultados tras ventana de cristal pruebas de control.	81
Tabla 29: Resultados campo abierto fuera de ciudad pruebas de texto corto.	83
Tabla 30: Resultados campo abierto dentro de ciudad pruebas de texto corto.	85
Tabla 31: Resultados dentro de edificio mismo espacio pruebas de texto corto.	86
Tabla 32: Resultados dentro de edificio tras suelo pruebas de texto corto.	87
Tabla 33: Resultados tras pared de pladur pruebas de texto corto.....	89
Tabla 34: Resultados tras pared de bloque pruebas de texto corto.....	90
Tabla 35: Resultados tras pared de ladrillo pruebas de texto corto.	92
Tabla 36: Resultados tras ventana de cristal pruebas de texto corto.	93
Tabla 37: Resultados campo abierto fuera de ciudad pruebas de texto largo.	95
Tabla 38: Resultados campo abierto dentro de ciudad pruebas de texto largo.	97
Tabla 39: Resultados dentro de edificio mismo espacio pruebas de texto largo.	99
Tabla 40: Resultados dentro de edificio tras suelo pruebas de texto largo.	100
Tabla 41: Resultados tras pared de pladur pruebas de texto largo.	102
Tabla 42: Resultados tras pared de bloque pruebas de texto largo.....	103
Tabla 43: Resultados tras pared de ladrillo pruebas de texto largo.	105
Tabla 44: Resultados tras ventana de cristal pruebas de texto largo.	106

Índice de Gráficas

Gráfica 1: Análisis de espectro en campo abierto fuera de ciudad.	65
Gráfica 2: Análisis de espectro en el entorno universitario.	65
Gráfica 3: Análisis del espectro en la escuela de ingenieros.	65
Gráfica 4: Análisis de espectro en vivienda.	66
Gráficas 5-6: Prueba de control campo abierto fuera de ciudad Distancia y Calidad de transmisión. (5)	70
Gráficas 7-8: Prueba de control campo abierto fuera de ciudad Velocidad y Calidad de conexión. (6)	71
Gráfica 9: Prueba de control campo abierto fuera de ciudad Tiempo Medio. (7)	71
Gráficas 10-11: Prueba de control campo abierto dentro de ciudad Distancia y Calidad de transmisión. 8	72
Gráficas 12-13: Prueba de control campo abierto dentro de ciudad Calidad de conexión y Velocidad. 9	72
Gráfica 14: Prueba de control campo abierto dentro de ciudad Tiempo medio. 10	73
Gráficas 15-16: Prueba de control dentro de Edificio Distancia y Calidad de transmisión. 11	74
Gráficas 17-18: Prueba de control dentro de Edificio Calidad de conexión y Velocidad. 12	74
Gráfica 19: Prueba de control dentro de Edificio Tiempo Medio. 13	74
Gráficas 20-21: Prueba de control entre diferentes pisos Distancia y Calidad de transmisión. 14	75
Gráficas 22-23: Prueba de control entre diferentes pisos Calidad de conexión y Velocidad. 15	76
Gráfica 24: Prueba de control entre diferentes pisos Tiempo Medio. 16	76
Gráficas 25-26: Prueba de control tras pared de pladur Distancia y Calidad de transmisión. 17	77
Gráficas 27-28: Prueba de control tras pared de pladur Calidad de conexión y Velocidad. 18	77
Gráfica 29: Prueba de control tras pared de pladur Tiempo medio. 19	77
Gráficas 30-31: Prueba de control tras pared de bloque Distancia y Calidad de transmisión. 20	78
Gráficas 32-33: Prueba de control tras pared de bloque Calidad de conexión y Velocidad. 21	79
Gráfica 34: Prueba de control tras pared de bloque Tiempo medio. 22	79
Gráficas 35-36: Prueba de control tras pared de ladrillo Distancia y Calidad de transmisión. 23	80
Gráficas 37-38: Prueba de control tras pared de ladrillo Calidad de conexión y Velocidad. 24	80
Gráfica 39: Prueba control tras pared de ladrillo Tiempo medio. 25	80
Gráficas 40-41: Prueba de control tras cristal Distancia y Calidad de transmisión. 26	81
Gráficas 42-43: Prueba de control tras cristal Calidad de conexión y Velocidad. 27	82
Gráfica 44: Prueba de control tras cristal Tiempo medio. 28	82
Gráficas 45-46: Texto corto campo abierto fuera de ciudad Distancia y Calidad de transmisión. 29	83
Gráficas 47-48: Texto corto campo abierto fuera de ciudad Calidad de conexión y Velocidad. 30	84
Gráfica 49: Texto corto campo abierto fuera de ciudad Tiempo medio. 31	84
Gráficas 50-51: Texto corto campo abierto dentro de ciudad Distancia y Calidad de transmisión. 32	85
Gráfica 52-53: Texto corto campo abierto dentro de ciudad Calidad de conexión y Velocidad. 33	85
Gráfica 54: Texto corto campo abierto dentro de ciudad Tiempo medio. 34	85
Gráficas 55-56: Texto corto dentro de edificio mismo espacio Distancia y Calidad de transmisión. 35	86
Gráficas 57-58: Texto corto dentro de edificio mismo espacio Calidad de conexión y Velocidad. 36	87
Gráfica 59: Texto corto dentro de edificio mismo espacio Tiempo medio. 37	87
Gráficas 60-61: Texto corto dentro de edificio tras suelo Distancia y Calidad de transmisión. 38	88
Gráficas 62-63: Texto corto dentro de edificio tras suelo Calidad de conexión y Velocidad. 39	88
Gráfica 64: Texto corto dentro de edificio tras suelo Tiempo medio. 40	88
Gráficas 65-66: Texto corto tras pared de pladur Distancia y Calidad de transmisión. 41	89
Gráficas 67-68: Texto corto tras pared de pladur Calidad de conexión y Velocidad. 42	89
Gráfica 69: Texto corto tras pared de pladur Tiempo medio. 43	90
Gráficas 70-71: Texto corto tras pared de bloque Distancia y Calidad de transmisión. 44	91
Gráficas 72-73: Texto corto tras pared de bloque Calidad de conexión y Velocidad. 45	91
Gráfica 74: Texto corto tras pared de bloque Tiempo medio. 46	91
Gráficas 75-76: Texto corto tras pared de ladrillo Distancia y Calidad de transmisión 47	92
Gráficas 77-78: Texto corto tras pared de ladrillo Calidad de conexión y Velocidad. 48	92
Gráfica 79: Texto corto tras pared de ladrillo Tiempo medio. 49	93
Gráficas 80-81: Texto corto tras ventana de cristal Distancia y Calidad de transmisión 50	94
Gráficas 82-83: Texto corto tras ventana de cristal Calidad de conexión y Velocidad. 51	94
Gráfica 84: Texto corto tras ventana de cristal Tiempo medio. 52	94
Gráficas 85-86: Texto largo campo abierto fuera de ciudad Distancia y Calidad de transmisión. 53	96
Gráficas 87-88: Texto largo campo abierto fuera de ciudad Calidad de conexión y Velocidad. 54	96
Gráfica 89: Texto largo campo abierto fuera de ciudad Tiempo medio. 55	96
Gráficas 90-91: Texto largo campo abierto dentro de ciudad Distancia y Calidad de transmisión. 56	97
Gráficas 92-93: Texto largo campo abierto dentro de ciudad Calidad de conexión y Velocidad. 57	98
Gráfica 94: Texto largo campo abierto dentro de ciudad Tiempo medio. 58	98
Gráficas 95-96: Texto largo dentro de edificio mismo espacio Distancia y Calidad de transmisión. 59	99

Gráficas 97-98: Texto largo dentro de edificio mismo espacio Calidad de conexión y Velocidad. 60.....	99
Gráfica 99: Texto largo dentro de edificio mismo espacio Calidad de conexión y Velocidad 61	99
Gráficas 100-101: Texto largo dentro de edificio tras suelo Distancia y Calidad de transmisión. 62.....	100
Gráficas 102-103: Texto largo dentro de edificio tras suelo Calidad de conexión y Velocidad. 63	101
Gráfica 104: Texto largo dentro de edificio tras suelo Tiempo medio. 64	101
Gráficas 105-106: Texto largo tras pared de pladur Distancia y Calidad de transmisión. 65	102
Gráficas 107-108: Texto largo tras pared de pladur Calidad de conexión y Velocidad. 66.....	102
Gráfica 109: Texto largo tras pared de pladur Tiempo medio. 67	102
Gráficas 110-111: Texto largo tras pared de bloque Distancia y Calidad de transmisión. 68	103
Gráficas 112-113: Texto largo tras pared de bloque Calidad de conexión y Velocidad. 69	104
Gráfica 114: Texto largo tras pared de bloque Tiempo medio. 70	104
Gráficas 115-116: Texto largo tras pared de ladrillo Distancia y Calidad de transmisión. 71	105
Gráficas 117-118: Texto largo tras pared de ladrillo Calidad de conexión y Velocidad. 72	105
Gráfica 119: Texto largo tras pared de ladrillo Tiempo medio. 73.....	105
Gráficas 120-121: Texto largo tras ventana de cristal Distancia y Calidad de transmisión. 74	106
Gráficas 122-123: Texto largo tras ventana de cristal Calidad de conexión y Velocidad. 75	106
Gráfica 124: Texto largo tras ventana de cristal Tiempo medio. 76	107

1 Introducción

La comunicación inalámbrica es aquella comunicación en la que tanto el dispositivo emisor como el receptor no se encuentran unidos por un medio de propagación físico (cables de comunicación), sino que se utilizan ondas electromagnéticas a través del espacio para la transmisión de datos. Un ejemplo de esta sería la comunicación a través de teléfonos móviles, mientras que la comunicación a través del teléfono tradicional no sería inalámbrica.

Este tipo de comunicación tuvo su primera aparición a principios del siglo XX mediante la primera patente de radio realizada por Nikola Tesla. Este consiguió realizar una comunicación a través de radio frecuencias (RF) en las que lograba recibir una letra en código morse a través del océano Atlántico (3.360 km de distancia). Este hecho solo fue el inicio de lo que hoy en día llamamos comunicación inalámbrica, y en la que encontramos múltiples tecnologías diferentes a usar en función de las necesidades requeridas.

Actualmente estamos ya avanzados en lo que se conoce como la revolución de las tecnologías inalámbricas.

El uso de estas tecnologías es indispensable para cualquier usuario con un dispositivo electrónico. Entre las amplias ventajas que estas nos pueden proporcionar encontramos la más evidente de todas que es la capacidad de movilidad. El hecho de no depender de un cable ni una ubicación fija para poder comunicarse fue algo revolucionario. Es por eso que resultan unas tecnologías más fácilmente escalables y rápidas siendo a la vez menos costosas que una instalación de red fija. El mantenimiento es otro de los puntos a favor que tienen estas tecnologías. Las redes inalámbricas permiten la conexión de un inmenso número de dispositivos mientras que en las físicas a cuantos más dispositivos se quieran conectar más complicado será el entramado de cables, más costosa la instalación y por tanto más caro el mantenimiento. [1]

Por otro lado no todo son ventajas en estas tecnologías. Normalmente suelen ser más vulnerables que las cableadas e incluso más inestables. Además, la comunicación puede verse afectada por factores externos como árboles, edificios e incluso otras redes inalámbricas lo cual disminuye su fiabilidad. Es por ello que la mayoría de organismos gubernamentales utilizan redes cableadas para sus comunicaciones. [1][2]

Entre estas tecnologías, con el objetivo de determinar la respuesta que nos dan en diferentes circunstancias, vamos a destacar las que van a ser objeto de investigación en este trabajo de fin de grado:

- WI-FI
- Bluetooth
- RF
- ZigBee

Estas tecnologías trabajan en la banda de 2,4GHz, lo cual nos pone en la misma frecuencia para hacer la comparación entre ellas.

En este estudio nos centraremos en la transmisión de bajos volúmenes de datos ya que una de las grandes aplicaciones de estas tecnologías es su utilización para la transmisión de datos obtenida por sensores IoT. Estos sensores son utilizados en numerosos ámbitos, desde la productividad de los campos de cultivo hasta la monitorización energética de edificios o plantas de producción.

A partir de los sensores se recolecta numerosa información y se transmite a través de una red. Los volúmenes de datos recogidos suelen ser habitualmente pequeños pero a su vez son recopilados con alta frecuencia. Las redes inalámbricas son parte de este circuito de recopilación de datos y se encargan de transmitirlos o subirlos a la nube. Es por ello que resulta interesante saber cómo los diferentes tipos de redes pueden rendir en múltiples entornos variados.

Son numerosos los factores que pueden afectar al desempeño correcto de estas tecnologías. La distancia, los diferentes obstáculos que deben atravesar las señales incluso en algunos casos el tamaño de los mensajes que se debe enviar son algunos de ellos.

Las redes inalámbricas se pueden clasificar de múltiples maneras pero nosotros utilizaremos una clasificación basada en su alcance como, veremos en apartados posteriores. Dentro de esta clasificación trabajaremos con redes que pertenezcan a las de corto y medio alcance. Estamos hablando de redes de área local (WLAN) y redes de área personal (WPAN).

Dentro de las redes de área local tendremos la tecnología Bluetooth y ZigBee como representantes y en las de área personal trabajaremos con RF y Wi-fi.

Para trabajar con estas tecnologías haremos uso de placas micro controladoras compatibles con los diferentes módulos para cada tecnología que definiremos más adelante. Realizaremos las pruebas en los diferentes escenarios planteados y recogeremos los datos para hacer una representación gráfica de ellos.

2 Objetivos de proyecto

2.1 Objetivos

El TFG consistirá en investigar el funcionamiento y capacidades de diferentes tecnologías inalámbricas para realizar así una comparativa real, basándose en la transmisión de pequeños volúmenes de datos y aplicando los conocimientos obtenidos en Grado de Ingeniería Informática de Gestión y Sistemas de Información.

Obtener una visión real de sus capacidades y aplicaciones de manera clara y sustentada con evidencias reales.

Aumentar el conocimiento adquirido en el grado en los ámbitos de redes de computadoras y comunicaciones inalámbricas.

Poder basarse en pruebas realizadas en las mismas condiciones para ver las diferencias entre ambas, sus ventajas y sus inconvenientes aplicados en diferentes terrenos.

2.2 Propósito

El propósito que se encuentra detrás de este TFG es la aplicación de los conocimientos adquiridos en el grado y los adquiridos en el proyecto de investigación, para facilitar la selección de una tecnología determinada al usuario que lo desee teniendo en cuenta sus condiciones y presupuestos.

En base al proyecto que se quiera realizar o la integración de tecnologías que se quiera lograr el usuario tendrá la opción de decantarse por unas o por otras.

2.3 Ámbito

En la actualidad existen muchas comparativas realizadas teóricamente de estas tecnologías. Lo que se quiere con este proyecto es dotarlas de solidez y dar una visión más práctica de ellas a través de las pruebas sobre el terreno.

Resulta fácil estudiar sus características sobre el papel pero queremos tener la seguridad de que estas son reales y que pueden cubrir las necesidades que tenga el usuario que desee implementarlas.

2.4 Motivación de proyecto

Este proyecto es realizado como un TFG de la titulación de Grado en Ingeniería Informática de Gestión y Sistemas de Información, en previo acuerdo con el profesor Javier Jesús Bilbao Landache del DPTO. de Matemática Aplicada de la UPV/EHU.

3 Definiciones, acrónimos y abreviaturas

- *AP (Access Point)*: es un punto de acceso inalámbrico que interconecta diferentes dispositivos para formar una red inalámbrica.
- *BSS (Basic Service Set)*: término que se utiliza para describir los conjuntos de estaciones que se comunican entre sí en el estándar 802.11.
- *BLE (Bluetooth Low Energy)*: es una tecnología de red de área personal inalámbrica de bajo consumo.
- *CPM (Critical Path Method)*: es un proceso paso por paso de la planificación del proyecto que nos permite visualizar las tareas críticas del mismo.
- *DS (Distribution System)*: nombre que se le da a una función que permite la interconexión inalámbrica entre routers y puntos de acceso.
- *EDR (Enhanced Data Rate)*: es una tasa de datos mejorada para acelerar la transferencia.
- *ESS (Extended Service Set)*: conjuntos de BSS que se encargan de formar una red inalámbrica del estándar 802.11.
- *HD (High Definition)*: también identificado por las siglas HQ es un sistema de imagen, video o audio de alta calidad.
- *IEEE (Institute of Electrical and electronics Engineers)*: siglas del instituto de ingenieros en electricidad y electrónica.
- *IETF (Internet Engineering Task Force)*: es una organización internacional que tiene como objetivo contribuir al ámbito del internet.
- *IP (Internet Protocol)*: es un protocolo de comunicación de datos. Según el modelo OSI se clasifica en la capa de red.
- *IPsec (Internet Protocol security)*: conjunto de protocolos cuya función es asegurar las comunicaciones sobre el IP.
- *ISM (Industrial, Scientific and Medical)*: son bandas reservadas internacionalmente para el uso de radiofrecuencias en los ámbitos de la industria, ciencia y medicina.

- *MAC (Media Access Control)*: es un identificador de 48 bits que corresponde exclusivamente a un dispositivo o tarjeta de red.
- *OSI (Open System Interconnection)*: modelo de referencia para los protocolos de red.
- *RF (Radiofrecuencia)*: término que se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre los 3 hercios (Hz) y 300 gigahercios (GHz).
- *SPI (Serial Peripheral Interface)*: estándar de comunicaciones usado para la comunicación entre circuitos integrados.
- *WBAN (Wireless Body Area Network)*
- *WEP (Wired Equivalent Privacy)*: sistema de cifrado nivel 2 de la información que se transmite utilizado en las WLAN. Se basa en RC4.
- *Wi-Fi (Wireless Fidelity)*: solución informática que comprende un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11.
- *WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)*: redes de área metropolitana. Red de banda ancha que abarca cientos de Kms, a menudo se las trata como redes LAN extensas.
- *WLAN (Wireless Local Area Network)*: redes de área local inalámbricas. Red que interconecta dispositivos en un área predeterminada de forma inalámbrica.
- *WPA (Wi-Fi Protected Access)*: sistema de protección que tienen las redes Wi-Fi creado para dar solución a las desventajas del sistema anterior (WEP).
- *WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2)*: sistema de protección que tienen las redes Wi-Fi creado para dar solución a las desventajas del sistema anterior (WPA).
- *WPAN (Wireless Personal Area Network)*: es una red de comunicación inalámbrica que sirve para comunicar varios dispositivos cercanos a un punto de acceso.
- *WWAN (Wireless Wide Area Network)*: redes que proveen cobertura a miles de kilómetros ayudando a que la comunicación sea cada vez más globalizada.

4 Conocimientos fundamentales

4.1 Protocolos de red

Un protocolo de comunicación está compuesto por una serie de reglas y formatos de mensajes establecidos para que la comunicación entre dispositivos tanto emisor como receptor sea posible. Estas reglas definen la manera con la que deben realizarse las comunicaciones de las redes inalámbricas. Incluyen la temporización la secuencia y la revisión y corrección de errores.

En los protocolos encontramos tres elementos principales. La sintaxis que hace referencia al formato de los mensajes, la semántica que establece el significado de los comandos y por último el secuenciamiento y la temporización. Este último elemento determina las acciones que se toman en función de los comandos. [3]

Una especificación de un protocolo consiste en múltiples partes.

- Formato preciso que deben tener los mensajes.
- Un conjunto de reglas y procedimientos para el intercambio de información.
- Un conjunto de mensajes validos que está permitido intercambiar junto con el significado de los mismos.

Para la definición de estos protocolos existen algunas arquitecturas estandarizadas como el modelo OSI o el modelo TCP/IP. Desglosaremos el modelo OSI para ver un ejemplo de ellos.

4.2 Modelo OSI

En esta arquitectura de especificación de protocolos, cada capa agrupa determinadas funciones para comunicar los sistemas. Las capas de este modelo poseen una estructura jerarquizada y cada una se apoya en la anterior, realiza su función y ofrece un servicio a la capa superior. Una de las grandes ventajas de este modelo es la capacidad de poder modificar una de las capas sin la necesidad de modificar el resto dando así cierta independencia entre ellas. [3]

En la siguiente figura podemos ver la distribución de capas que posee este modelo.



Figura 1: La pila OSI. [4]

Capa Física: sus funciones establecen la manera mediante la cual se transmite la información al medio, se reciben los mensajes y se envían los bits convirtiéndolos a señales.

Capa de Enlace: logra una comunicación estable entre los dispositivos. Además en esta capa los protocolos realizan el control de errores, de secuencia y de flujo. La unidad de información son las tramas.

Capa de Red: se encarga de conectar dispositivos que se encuentran en redes diferentes permitiendo el ruteo de paquetes desde un origen hasta un destino.

Capa de Transporte: Su función es asegurarse de que los datos llegan al dispositivo destino sin errores y en el mismo orden que hayan sido transmitidos.

Capa de Sesión: Dota de mecanismos que permiten el control del dialogo entre aplicaciones en los sistemas finales.

Capa de presentación: Define el formato de los datos que se van a intercambiar entre las aplicaciones y ofrece a los programas de aplicación un conjunto de servicios de transformación de datos. Permite la normalización entre dispositivos con diferentes representaciones internas. También es responsable de la comprensión y el encriptado de datos.

Capa de aplicación: Esta capa hace referencia a la interfaz con el usuario. Se encarga de la comunicación entre procesos o aplicaciones de dispositivos distintos.

4.3 Ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas viajan por el vacío a $3 \cdot 10^8$ m/s y son capaces de inducir una señal eléctrica en cualquier antena. Controlando estas ondas electromagnéticas podemos transmitir información útil para comunicarnos. [5]

Este tipo de ondas posee una forma sinusoidal y llamamos frecuencia de una onda a la cantidad de veces que se repite esta onda en un segundo. Esta frecuencia se mide en Hertz, y 1Hz equivale a un ciclo de onda por segundo. La longitud de onda es la distancia en la que la onda, en su sentido de propagación, cambia 360° . [6][7]



Figura 2: Representación gráfica de la unidad de medida 'herzio' o 'hercio'.

4.4 Espectro electromagnético

El espectro electromagnético de frecuencias es la distribución energética de las ondas electromagnéticas. Este espectro a su vez se subdivide en subsecciones o bandas. En este estudio con las tecnologías que trabajaremos se encuentran en la banda de radiofrecuencias que a su vez se clasifica como una banda de frecuencias altas y ultra altas. [7]

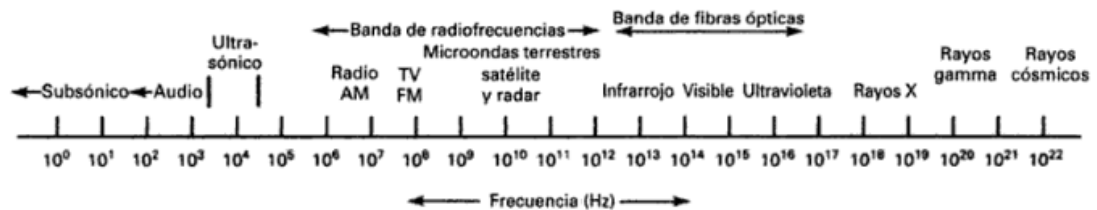


Figura 3: Espectro electromagnético de frecuencias. [7]

Una vez visto el espectro electromagnético en la siguiente tabla podemos ver como se distribuyen las diferentes tecnologías inalámbricas en él.

Tecnología inalámbrica	Bandas de frecuencias
<i>NFC</i>	13,56 MHz
<i>IrDA</i>	Espectro infrarrojo
<i>Bluetooth</i>	2,4 GHz
<i>WiBree</i>	2,4 GHz
<i>ZigBee</i>	2,4 GHz; 868 MHz en Europa y 915 MHz en EE.UU.
<i>WiMedia UWB</i>	3,1 a 10,6 GHz
<i>Wireless USB</i>	3,1 a 10,6 GHz
<i>HomeRF</i>	2,4 GHz
<i>DECT</i>	1,88 a 1,9 GHz en Europa y 1,92 a 1,93 GHz en EE.UU.
<i>Wi-Fi</i>	2,4 GHz
<i>WiMAX</i>	2 a 11 GHz (sin licencia) y 10 a 66 GHz (con licencia)
<i>WiBro</i>	2,3 GHz
<i>GSM</i>	900 MHz; 1,8 GHz y 1,9 GHz
<i>GPRS</i>	900 MHz; 1,8 GHz y 1,9 GHz
<i>UMTS</i>	2 GHz

Tabla 1: Distribución de tecnologías inalámbricas a lo largo del espectro. [8]

4.5 Tipos de redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son conjuntos de dispositivos informáticos que mantienen una comunicación entre sí sin requerir cables de interconexión. Se puede entender que estas redes tienen como objetivo el dar soluciones a las necesidades de conexión de las empresas, pero cada vez forman mas parte del equipamiento de comunicación de nuestras casas o nuestra vida.

Para aprovechar las posibilidades que nos ofrecen estas redes lo único que se necesita es, un conjunto de dispositivos a conectar que den soporte a dicha red mediante una tarjeta de conexión y realizar una simple

configuración de la tecnología que vamos a usar. Este proceso resulta más fácil y rápido que la instalación de una red cableada. [8]

4.6 Clasificación de alcance

Existen muchas formas diferentes de realizar una clasificación de las redes inalámbricas en función de su amplia gama de características.

En esta clasificación cogeremos como referencia la el alcance que toman algunas de ellas, es decir la distancia máxima a la que podrán situarse dos dispositivos que se encuentran en la misma red y mantener la comunicación.

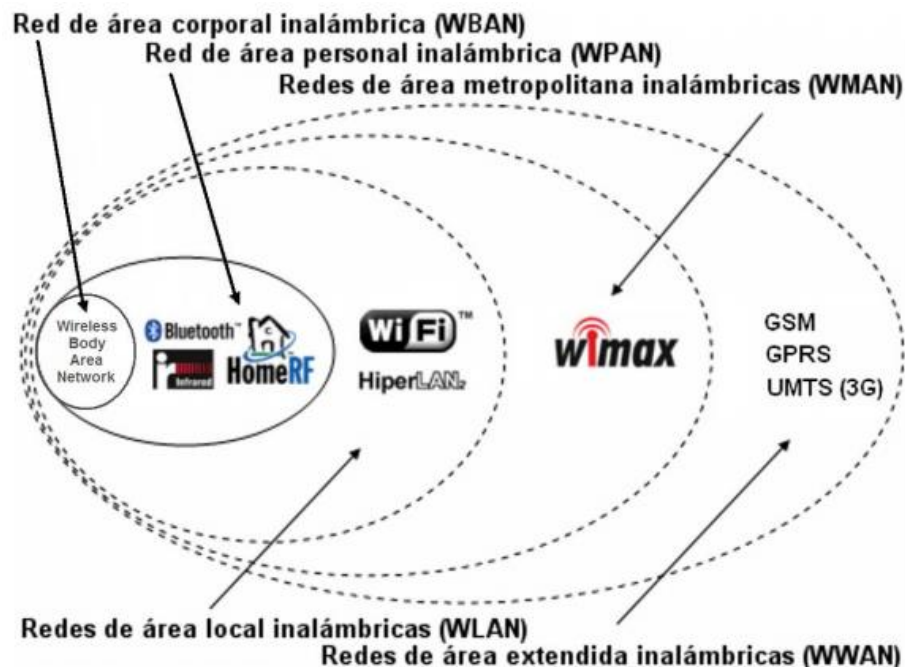


Figura 4: Tipos de redes inalámbricas [8].

Como se puede ver referenciado en la *Figura 4* tenemos diferentes grupos de clasificación:

- WBAN: cubren una distancia máxima de entre 1 y 2 metros.
- WPAN: cubren una distancia inferior a los 20 metros como puede ser la tecnología Bluetooth o de IEEE 802.15.
- WLAN: entre su alcance se encuentran distancias de unos cientos de metros y están pensadas para dar cobertura a edificios o conjuntos de edificios. Estamos hablando de tecnologías como el Wi-Fi o HomeRF.
- WMAN: estas son redes inalámbricas de área metropolitana y pueden cubrir el área de un entorno urbano.

- WWAN: estas redes pueden ser conocidas como WGAN o redes de área global que pueden llegar a cubrir un área de un país o conjunto de países. En este grupo situaríamos las redes de tecnología móvil.

En este estudio nos centraremos más en las redes pertenecientes a los grupos WLAN y WPAN. Dado que estudiaremos las tecnologías Zigbee, Wi-fi, Bluetooth y RF, en el siguiente diagrama podremos ver, de manera más clara, donde las encontramos dentro de esta clasificación.

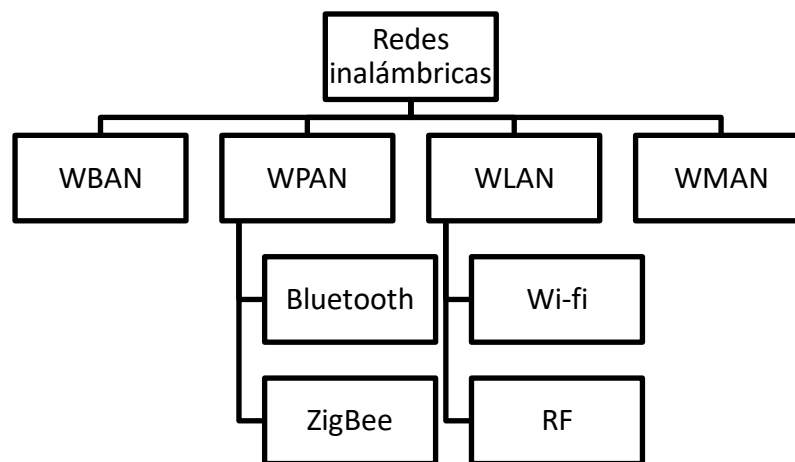


Figura 5: Clasificación de las tecnologías que serán objeto de estudio.

4.7 WLAN

Las WLAN constituyen hoy en día una solución de gran interés para el sector de comunicaciones de banda ancha por operar en bandas de frecuencia exentas de licencia, lo cual es una gran ventaja.

Inicialmente se diseñaron para el ámbito empresarial, pero se ha visto que su uso puede aplicarse en múltiples situaciones tanto en el sector público como privado. Estas redes permiten al usuario reemplazar por conexiones inalámbricas todas aquellas conexiones de cableado que conectan los diferentes dispositivos electrónicos a la red. Como grandes ventajas dotan de libertad de movilidad a los usuarios en las zonas de cobertura alrededor de los puntos de acceso emisores de estas redes. Estos puntos de acceso si se encontrarían conectados a otros dispositivos de la red cableada.

Un usuario que haga uso de una de estas redes es capaz tanto de transmitir como de recibir datos, voz, imagen, video etc. Se diferencian de

las convencionales principalmente en las capas físicas y de enlace de datos, operando únicamente en entornos de radio frecuencia ISM 2,4GHz y 5GHz. [8]

Dentro de este grupo trabajaremos en concreto con la tecnologías Wi-fi y RF.

4.8 WPAN

Estas redes surgen como consecuencia del proceso de acercar la red al usuario y automatizar el entorno del mismo. Esto conlleva a que equipos de comunicación o dispositivos como sensores, portátiles, móviles mantengan una conexión en relativamente poca distancia (10 metros, el entorno que rodea al usuario). Aparecieron junto con estas redes la domótica, robótica, juguetes interactivos, identificación biométrica y muchas otras posibilidades con las que convivimos en nuestra vida diaria. [8]

Dentro de este trabajo estudiaremos las tecnologías ZigBee y Bluetooth que entrarían dentro de este grupo de redes.

5 Antecedentes

5.1 Situación actual

5.1.1 RF

Damos el nombre de Radio Frecuencia a la comunicación que tiene lugar en el rango de entre 30KHz a 300GHz. Esta comunicación se propaga desde un transmisor que envía la señal hacia un receptor que la recibe a través de una antena. Entre estos no siempre se produce una línea de vista directa y la transmisión puede sufrir diferentes efectos antes de ser recibida. [9]

Se dice que hay línea de vista cuando no existen obstáculos aparentes entre el emisor y el receptor en una ruta directa. En cambio, si existen obstáculos entre ellos, estamos hablando de una transmisión multiruta.

En las transmisiones multiruta la señal puede sufrir diferentes efectos como difracción, refracción, reflexión y dispersión. La difracción ocurre cuando la señal impacta en un obstáculo y cambia de dirección debido al borde del mismo. Esto puede facilitar la transmisión de la señal cuando no se tiene línea de vista pero también puede provocar pérdidas de información. La refracción al igual que el fenómeno anterior también tiene como consecuencia el cambio de dirección pero esta ocurre cuando la señal pasa de un medio a otro con índice de refracción distinto. Cuando la refracción ocurre también se presenta el fenómeno de reflexión que sucede cuando la señal impacta con un objeto de mayores dimensiones que la longitud de onda. En este caso un porcentaje de la información es transmitido y otro es reflejado. El hecho de que haya reflexión no implica refracción y cuando esta es total las pérdidas de información son notablemente menores. La dispersión únicamente se da cuando la señal choca con superficies rugosas y al hacerlo esta se refleja en múltiples direcciones pudiendo originar un cambio de frecuencia y de onda electromagnética. En cambio si esta señal choca con una superficie lisa estaríamos hablando de reflexión.

Las diferentes señales provenientes de diferentes rutas no llegan al mismo tiempo ni con la misma intensidad sino que pueden sufrir retrasos y pérdidas dependiendo de la distancia de transmisión y el modo de propagación.

La radio frecuente es la base para la mayoría de las comunicaciones como pueden ser la radio, radares, telefonía móvil etc.

5.1.2 Bluetooth

El Bluetooth es una especificación regulada por el grupo de trabajo IEE 802.15.1 que permite la transmisión entre diferentes dispositivos mediante un

enlace de radiofrecuencia en la banda ISM de 2,4GHz. Este permite la transmisión de voz y datos entre el emisor y el receptor/receptores. [1]

Es un protocolo de comunicaciones diseñado para dispositivos de bajo consumo que no necesitan un largo alcance de comunicación. Permite conectar de manera inalámbrica múltiples dispositivos electrónicos facilitando, abaratando y garantizando la interoperabilidad entre diferentes fabricantes. [1][8][10]

Esta tecnología define un alcance corto de alrededor de 10 metros y de forma opcional un alcance medio de alrededor de 100 metros por lo que la clasificamos dentro del grupo de las WPAN.

Dentro de las redes de tecnología Bluetooth tenemos diferentes roles para los dispositivos. Cualquier dispositivo puede actuar como maestro o como esclavo. Es el dispositivo maestro quien se encarga de definir cómo se va a establecer la comunicación en cuanto a aspectos físicos mientras que los esclavos coordinaran sus transmisiones en función de las especificaciones del maestro. El primer dispositivo que solicita el servicio es el que normalmente adquiere el rol de maestro. [1]

La topología de las redes Bluetooth puede ser tanto de punto a punto como de punto a multipunto. Cada red se denomina como *piconet* y cuando un dispositivo se encuentra dentro de dos *piconets* diferentes conectándolos se le denomina *scatternet*. Los *piconets* pueden aumentar hasta tener 8 conexiones punto a punto. [11]

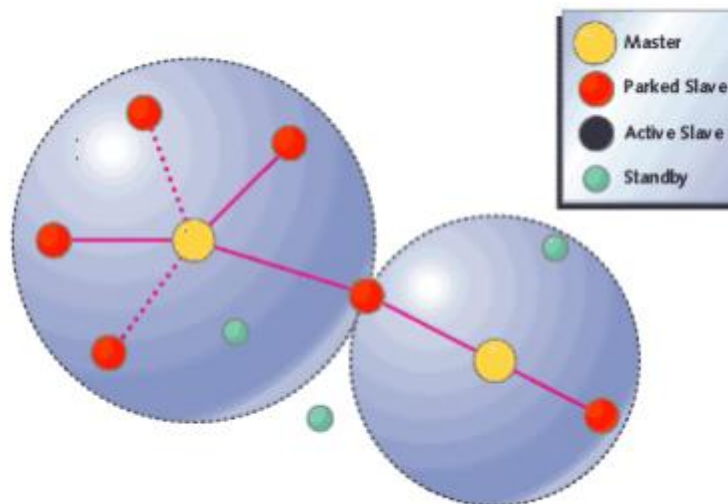


Figura 6: Topología de redes Bluetooth. [11]

Son varias las maneras en las que podemos clasificar los dispositivos de estas tecnologías pero nosotros utilizaremos dos, la clasificación por clase, que se basa en la potencia de transmisión, y la clasificación por versión.

Según la clasificación por clase podremos diferenciar los dispositivos de la siguiente manera:

Clase	Potencia Máxima Permitida (mW)	Potencia Máxima Permitida (dBm)	Alcance (m)
1	100	20	100
2	2.5	4	5-10
3	1	0	1
4	0.5	0	0.5

Tabla 2: Dispositivos Bluetooth por clase. [10]

En referencia a la versión que pertenezca los podemos dividir en los siguientes apartados.

- Versión 1.0: esta versión, que actualmente se encuentra en desuso fue la primera usada para la transmisión de datos. Presentó muchos inconvenientes en cuanto a la conexión entre dispositivos y es por ello que le sucedieron las actualizaciones v1.1 (2002) y v1.2 (2003). Estas fueron reconocidas como estándares de comunicación IEEE y alcanzaron velocidades de transmisión de hasta 721 kb/s.
- Versión 2.0 + EDR: fue lanzada en 2004 y es compatible con la versión anterior (v1.2). En esta versión el EDR era opcional y permitía una transferencia de datos de 2,1 Mb/s además de un menor consumo de energía a través de un ciclo de trabajo reducido. Más tarde la sucedió la versión 2.1 + EDR en 2007 que siendo también compatible con v1.2 permitía una mayor seguridad y una mejor experiencia de emparejamiento.
- Versión 3.0 + HS: data de 2007 y su principal característica es que soporta velocidades de transferencia de 24Mb/s lo cual es un gran salto en cuanto a la versión anterior. Esto se consigue utilizando la conexión Bluetooth para establecer la negociación entre dispositivos y una conexión 802.11 para hacer la transferencia de datos.
- Versión 4.0: esta versión adoptada en 2010 incluye el Bluetooth de alta velocidad que está basado en Wi-Fi, el Bluetooth clásico (protocolos preexistentes) y el BLE o Bluetooth de baja energía. Además de todas estas anteriores ventajas, esta versión es capaz de transmitir a 32Mb/s. A esta versión la suceden las v4.1 y v4.2 que actualizan la fiabilidad de la anterior.

- Versión 5.0: anunciada a finales de 2016 esta versión transmite teóricamente al doble de velocidad que la anterior y a un rango notablemente mayor. Esta versión posee un ancho de banda de 50Mb/s y un alcance teórico de 240 metros.

5.1.3 Wi-fi

Esta tecnología permite la conexión de dispositivos electrónicos inalámbricamente entre sí o a internet a través de un punto de acceso. A lo que Wi-Fi se refiere, es solamente la marca de la organización que comprueba, adopta y certifica que los dispositivos cumplen los IEEE 802.11 relacionados con las WLAN. [12]

Los protocolos 802.X se encargan de definir las tecnologías LAN y MAN y los IEEE 802.11 clasifican los diferentes tipos de Wi-Fi que podemos encontrar. Este estándar define el uso de los dos niveles inferiores, la capa física y la capa de enlace de datos, de la arquitectura OSI especificando el funcionamiento de las WLAN y sus normas. Los principales son los siguientes:

- IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n operan en la banda de 2,4 GHz que se encuentra disponible casi a nivel mundial y es por ello que estos estándares disfrutan de una aceptación de nivel internacional. Funcionan a una velocidad de hasta 11 Mbits/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s, respectivamente.
- IEEE 802.11ac opera en la banda de 5 GHz, es también conocido como Wi-Fi 5 y tiene la ventaja de operar con canales relativamente limpios debido a que no existen otras tecnologías que la utilicen (ZigBee, Bluetooth etc.). Si la comparamos con las que funcionan a 2,4 GHz, esta tiene un menor alcance ya que su frecuencia es mayor.

En cuanto a la seguridad de esta tecnología existen varias formas de garantizar un mínimo pero aun así se la considera un tipo de conexión inalámbrica bastante vulnerable. Entre ellas encontramos el posible uso de la red de alguien no autorizado, la monitorización de la información que pasa por esa red (contraseñas, usuarios, datos personales etc.). Por ello tenemos diferente alternativas que nos ayudan a garantizar la seguridad de estas redes. [12]

Entre ellas tenemos:

- WEP
- WPA
- WPA2

- IPSEC
- Filtrado de MAC

En función del rol que tengan los dispositivos con la red los podemos clasificar en dispositivos de distribución de red y dispositivos terminales (tarjetas receptoras que conectan nuestros portátiles). Entre los de distribución encontramos los siguientes dispositivos:

- Puntos de acceso: sirven para generar una red Wi-Fi a partir de una red ya existente. Se pueden unir varios para aumentar la cobertura de esta.
- Repetidores: sirven para ampliar la cobertura de una red Wi-Fi de manera que a partir de una señal débil de una red ya existente emite una más fuerte.
- Enrutadores: son dispositivos diseñados para redes pequeñas que se encargan de interconectar por ejemplo la red del hogar con Internet.

En cuanto a la arquitectura del estándar 802.11 se basa en una arquitectura celular donde el sistema se divide en celdas y cada una de estas celdas se denomina BSS (Basic Service Set). Cada BSS es controlada por una estación denominada AP (Access Point). La gran parte de las instalaciones de esta tecnología se encuentran conectadas a un *backbone*. Este *backbone* puede ser una LAN o incluso una WLAN. Un conjunto de celdas formando una red con los APs conectados a un *backbone* se denomina DS (Distribution System). El conjunto de los elementos descritos anteriormente forma una red única 802.11 para los niveles superiores del modelo de referencia OSI y se denomina ESS (Extended Service Set). [8]

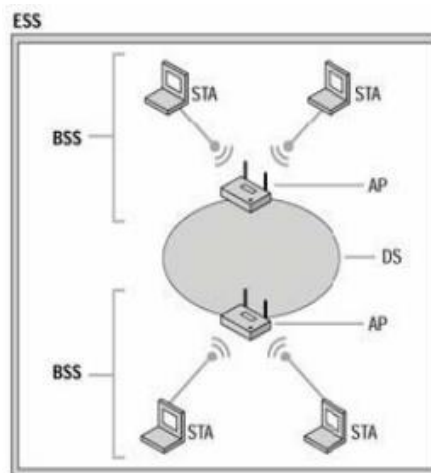


Figura 7: Arquitectura 802.11. [8]

5.1.4 Zigbee

ZigBee es un estándar de comunicación desarrollado por la ZigBee Alliance constituida por más de 270 compañías. Esta especificación se basa en el estándar 802.15.4 definido por el IEEE donde queda especificada la capa física y de enlace de protocolo. Las ventajas de utilizar el estándar IEEE 802.15.4 es que permite la utilización de dispositivos de fácil instalación que proveen transmisiones confiables a distancias cortas y a un precio muy bajo. Además este estándar permite proporcionar un tiempo de vida razonable al utilizar fuentes de energía limitada y al mismo tiempo proporciona una pila de protocolo simple y sencillo. Sobre las capas superiores (capa de red, capa de aplicación, framework de aplicación, perfiles y mecanismos de seguridad) es la propia ZigBee Alliance la que establece las reglas que deben cumplir. [8][13][14]

Entre las características del estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4 encontramos tasas de transferencias de 250Kb/S, 40Kb/S y 20Kb/S y el manejo de redes en estrella y malla.

Esta tecnología se agrupa dentro de las redes WPAN y fue desarrollada con el objetivo de desarrollar una tecnología inalámbrica de bajo coste para su uso en dispositivos de domótica, automatización de edificios, control industrial, sensores médicos y demás.

En una red ZigBee podemos encontrar hasta 254 nodos, sin embargo según la agrupación de red que se haga se puede generar hasta 255 clústeres, por tanto podemos llegar a tener hasta 64770 nodos. Para esto existen varias topologías de red como se puede ver en la *Figura 8*. [15]

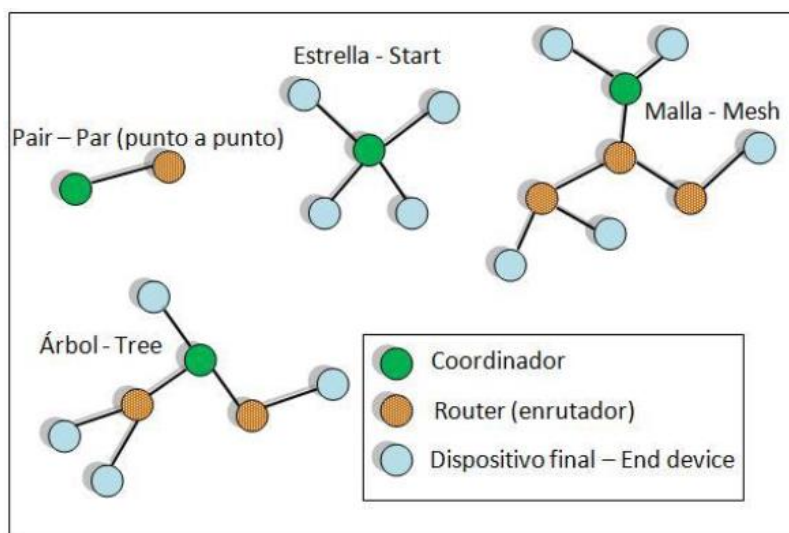


Figura 8: Topologías de red ZigBee. [16]

En ZigBee podemos encontrarnos con 3 tipos de dispositivos:

- Coordinador:

- Uno por red.
- Inicia la formación de la red.
- Coordina la red.
- Router:
 - Se comunica con el coordinador o con otro router ZigBee
 - Puede tomar el papel de coordinador de la red.
 - Encargado del enrutamiento.
- Dispositivo final:
 - Nodo básico de la red.
 - No hace tareas de enrutamiento.

Una de las principales características es el soporte total de la malla, ante la caída de nodos se busca una comunicación alternativa vía otros dispositivos de esta red, de manera que no suponga una pérdida grave de comunicación. En la *Figura 9* podemos observar esta característica.

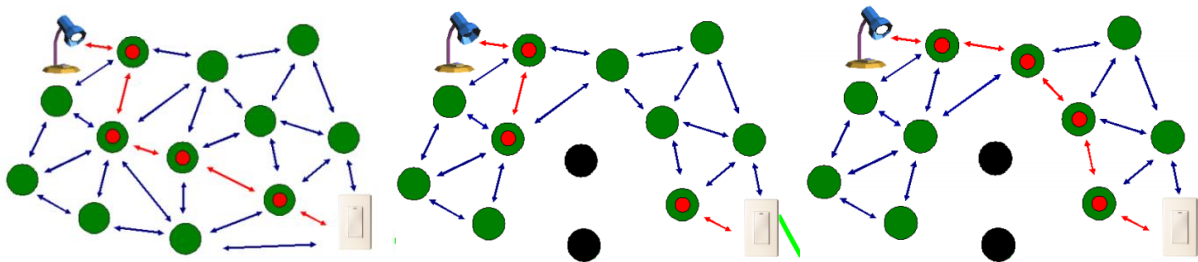


Figura 9: Soporte total en red de malla. [15]

En este proyecto utilizaremos una configuración punto a punto en la que los dos módulos se comportaran de igual manera entre sí.

Entre las características más importantes de este estándar podemos destacar las siguientes: [8]

- Bajo consumo de energía.
- Bajo costo de los dispositivos, instalación y mantenimiento.
- Los dispositivos ZigBee extienden la vida de las baterías, no necesitarán recarga en años permitiendo la creación de redes que requerirán poco mantenimiento.
- Las redes son de alta densidad de nodos.
- El *stack* de protocolos que utiliza ZigBee es bastante simple y se estima que es un cuarto de los protocolos de Bluetooth y de Wi-fi. Esta simplicidad es un factor clave para el costo, interoperabilidad y mantenimiento.
- Implementación global. La capa física del IEEE 802.15.4 se ha diseñado para la banda 868 MHz en Europa, 915 MHz en Norte América, Australia

etc. y la banda 2,4 GHZ que es reconocida a nivel global y aceptada en casi todos los países.

6 Análisis de componentes

6.1 Arduino Uno

Para la realización de este estudio utilizaremos dos unidades micro controladoras Arduino Uno Rev 3 ya que su simple programación y facilidad de uso al bajo coste que tiene es ideal para el desarrollo de este proyecto. En la *Figura 10* podremos ver la distribución física que tiene nuestro modelo de Arduino Uno.

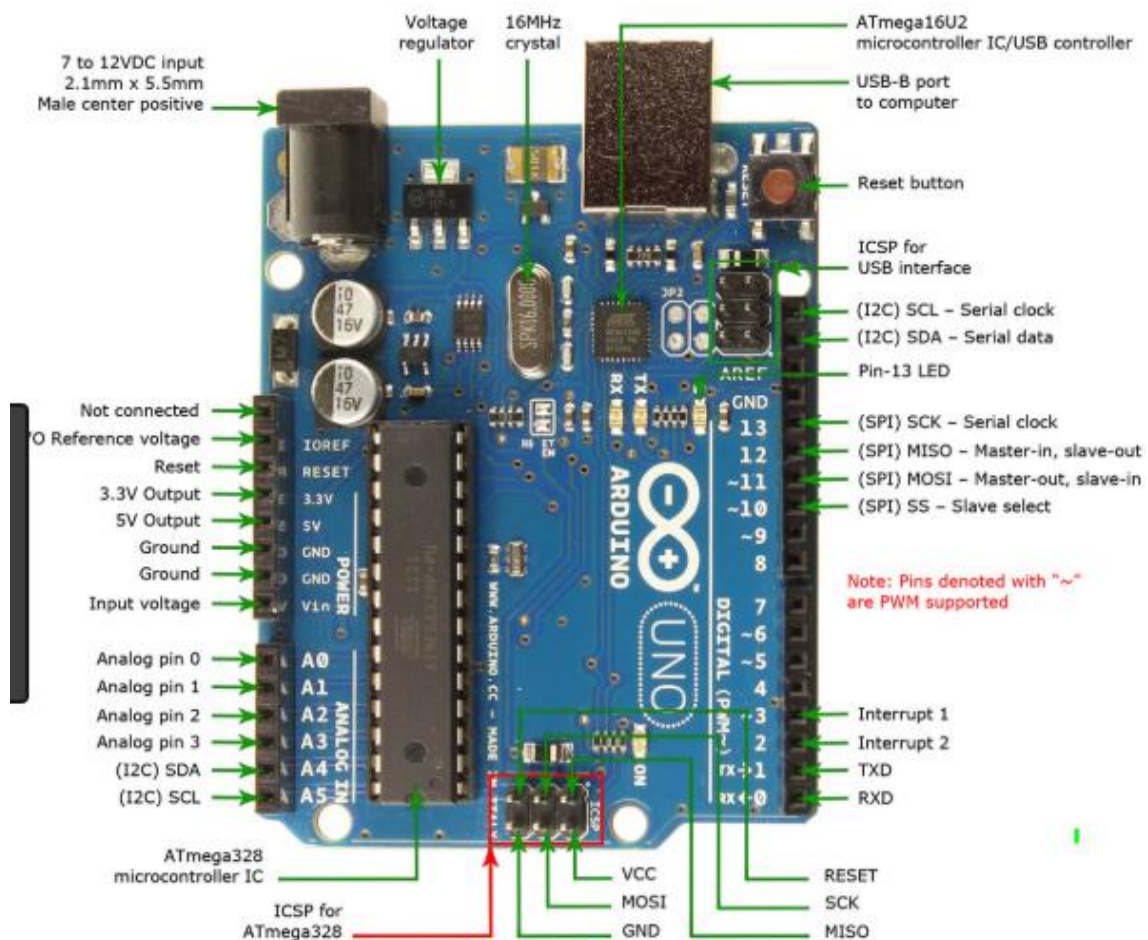


Figura 10: Esquema eléctrico de Arduino Uno.

Esta placa nos permitirá programar e interconectar los diferentes módulos que usaremos para realizar nuestras pruebas. Lo conectaremos al ordenador con ayuda de un conector USB y usando la herramienta Arduino IDE, podremos programar los diferentes *Sketchs (Programas)* que usaremos. El lenguaje de programación que usaremos es un lenguaje de medio nivel que está basado en C. [17]

Para poder empezar a trabajar con Arduino es importante que entendamos sus características y todo lo que nos ofrece este dispositivo. Esto lo podemos ver en la siguiente tabla. [18]

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13

Tabla 3: Características Arduino Uno.

6.2 Módulos

6.2.1 ESP8266

El módulo ESP8266 es un chip integrado con conexión Wi-fi compatible con el protocolo TCP/IP y cuyo objetivo es proporcionar acceso a cualquier microcontrolador a una red. [19]

Este módulo ofrece una gran cantidad de posibilidades y es usado para conexiones de electrodomésticos, automatizaciones del hogar, casas inteligentes, industria... etc. Además es bastante simple y asequible (se puede obtener por tan solo 3€) lo que lo hace ideal para la realización de este proyecto.

En la siguiente figura podremos ver un claro esquema y la definición de sus pines.

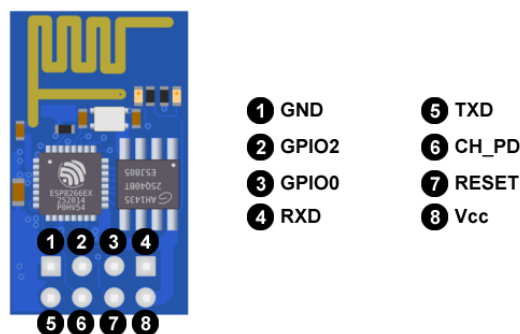


Figura 11: Pines ESP8266. [19]

- GND: es la toma de tierra.
- GPIO2: es una entrada salida de propósito general. Pin digital número 2.
- GPIO0: es una entrada salida de propósito general. Pin digital número 0.

- RXD: es el pin de recepción de datos de nuestro modulo. También se puede utilizar como pin digital siendo este el número 3. Trabaja a 3,3V.
- TXD: es el pin mediante el cual se van a transmitir los datos del puerto serie. Al igual que el RXD este pin trabaja a 3,3V.
- CH_PD: este pin hace la función de interruptor en nuestro modulo, si lo ponemos a 0V nuestro modulo se apaga y si lo ponemos a 3,3V nuestro modulo se encenderá.
- RESET: este pin lo utilizamos para resetear nuestro modulo. Si lo ponemos a 0V este se resetea.
- VCC: es por donde alimentaremos a nuestro modulo. Este funciona a 3,3V y admite un máximo de 3,6. A este pin sería conveniente suministrarle una corriente mayor a 200 mA.

Este módulo es configurable mediante comandos AT de manera sencilla. Además es importante tener en cuenta su tabla de características principales para realizar un buen uso del mismo.

Procesador	Tensilica LX106 32 bit a 80MHz
RAM	80kB (40 disponibles)
Flash	4 MB
ROM	No
Alimentación	3.0 a 3.6 V (Utilizaremos 3.3V)
Consumo promedio	80 mA, 225 mA máximo
Consumo en modo sleep	20 Ua
WiFi	802.11 b/g/n WPA y WPA

Tabla 4: Características ESP8266. [20]

Para programar este módulo también tendremos que tener en cuenta los modos a los que lo podremos establecer. Tenemos por una parte el modo UART, que lo estableceríamos para la carga del programa en la memoria del módulo, y el modo Flash, que sería el modo de ejecución del programa que ya teníamos cargado en el mismo. Para configurar el dispositivo en cualquiera de los anteriores módulos explicados tenemos que tener en cuenta la siguiente gráfica.

	GPIO0	GPIO2
Modo UART (carga programa)	LOW	HIGH (desconectado)
Modo Flash (ejecuta programa)	HIGH (desconectado)	HIGH (desconectado)

Tabla 5: Configuración de modos ESP8266. [19]

6.2.2 BLE HC-08

El módulo BLE HC-08 pertenece a una extensa familia de módulos Bluetooth. Este es un módulo de transmisión de datos de nueva generación basado en Bluetooth V4.0 BLE. Trabaja la banda de frecuencia de 2,4GHz ISM. [21]

Al igual que el ESP8266 este módulo también es configurable mediante comandos AT y se puede usar como transmisor de mensajes simplemente conectándolo a los puertos serie de nuestro Arduino Uno. Tenemos que tener presente que debe ser alimentado con 5V. [22]

En la siguiente ilustración veremos un pequeño esquema del módulo y la distribución de sus pines.

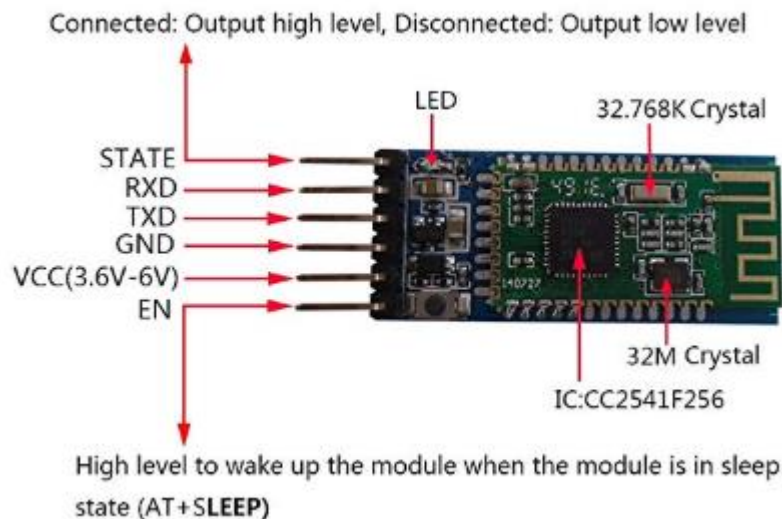


Figura 12: Esquema del módulo BLE HC-08. [23]

- STATE: es el pin de salida que nos indica si el dispositivo está conectado o no. High si está conectado y Low en caso contrario.
- RXD: es el pin de recepción de datos de nuestro módulo y trabaja a 3,3V.
- TXD: es el pin de transmisión de datos que utiliza nuestro modulo y al igual que el RDX trabaja a 3,3V.
- GND: es la toma de tierra de nuestro dispositivo.
- VCC: es el pin mediante el cual alimentamos a nuestro dispositivo y como nos indica en el mismo este funciona desde 3,6V a 6V. Nosotros lo alimentaremos con los 5V que nos da el Arduino.
- EN: este pin nos sitúa el modulo en modo configuración de manera forzada si lo colocamos a High.

Para poder hacer un buen uso del módulo y tener en cuenta su funcionamiento es importante entender la siguiente tabla de características.

Frecuencia	Banda ISM 2.4GHz
Versión	4.0
Clase de potencia de salida	Clase 2
Voltaje	3.3V
Antena integrada	Si
Alcance (m)	110
Consumo en transferencia	8.5 mA.

Tabla 6: Tabla de características BLE SH HC - 08.

6.2.3 NRF24L01+PA+LNA

El módulo NRF24L01+PA+LNA es un módulo de bajo coste que opera a 2,4GHz con un consumo ultra-bajo. Tiene 8 pines macho alimentados a 3.3V y se comunica mediante SPI. Además de esto resulta muy interesante que este módulo posea un amplificador de potencia (PA), un sistema amplificador de bajo ruido (LNA) y una antena adicional que nos permita según la teoría lograr alcances de hasta 1000m. En la siguiente figura veremos un esquema de distribución de sus pines y la apariencia que este tienes. [24]

A parte de esto utilizaremos un adaptador con el objetivo de asegurarnos que le llega la suficiente potencia y el voltaje recomendado para que este módulo funcione en plenas facultades.

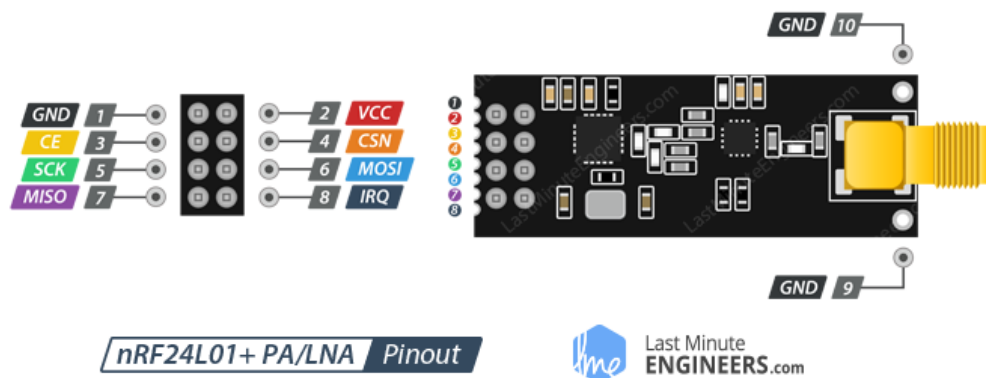


Figura 13: Esquema de pines NRF24L01 + PA + LNA. [23]

- GND: esta es la toma de tierra de nuestro módulo.
- CE: pin para habilitar la comunicación SPI.
- SCK: nos proporciona la frecuencia de reloj con la que funciona la comunicación SPI.
- MISO: pin para el envío de datos.
- VCC: es el pin mediante el cual alimentaremos a nuestro módulo. La alimentación va desde 1,9V a 3,6V y nosotros lo alimentaremos a 3,3V.

- CSN: este pin es requerido para que la comunicación SPI si no se encuentra conectado deshabilita la comunicación SPI.
- MOSI: pin dedicado a la recepción de datos.
- IRQ: se utiliza en los casos que se requieran interrupciones.

Es interesante ver las características que este módulo nos ofrece de cara al estudio.

Fuente de alimentación:	1.9 ~ 3.6V
Consumo Corriente:	115 mA
Tasa de transmisión:	+20 dBm
Recepción de sensibilidad:	≤ -95dBm a 1Mbps
El alcance de transmisión:	1000m en zona abierta
Dimensiones:	16.5mmx45.5mm
Voltaje de funcionamiento del puerto IO:	0 ~ 3.3v / 5v (Tolerante a 5V)

Tabla 7: Características NRF24L01 + PA + LNA. [24]

6.2.4 XBEE

Existen una gran cantidad de modelos de módulos XBee. Estos son soluciones integradas que ofrecen un medio inalámbrico para la comunicación entre dispositivos. Utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes punto a multipunto y punto a punto. Fueron diseñados para aplicaciones que requieren un alto tráfico de datos con baja latencia. Estos módulos son bastante sencillos de usar. [26]

Nosotros en concreto en este estudio utilizaremos un módulo XBee 2mw S2C con antena (XBee XB24CZ7WIT-004). Este módulo en concreto es la versión 2.5 que incluye una mejora de potencia de salida y del protocolo de comunicación. Este módulo se puede manejar mediante un puerto serial UART que facilita la comunicación punto a punto que es la que realizaremos en este proyecto. Únicamente para esta comunicación es compatible con módulos del mismo modelo. [27]

Para poder interactuar con este módulo utilizaremos dos adaptadores, uno que nos permitirá realizar la configuración de forma directa con el ordenador (XBee Explorer USB) y otro para realizar una conexión con el Arduino (Placa XBee Explorer regulada). [27]

La configuración de estos módulos la realizaremos a través de XCTU y en las siguientes figuras veremos la distribución de pines que tiene nuestro módulo.

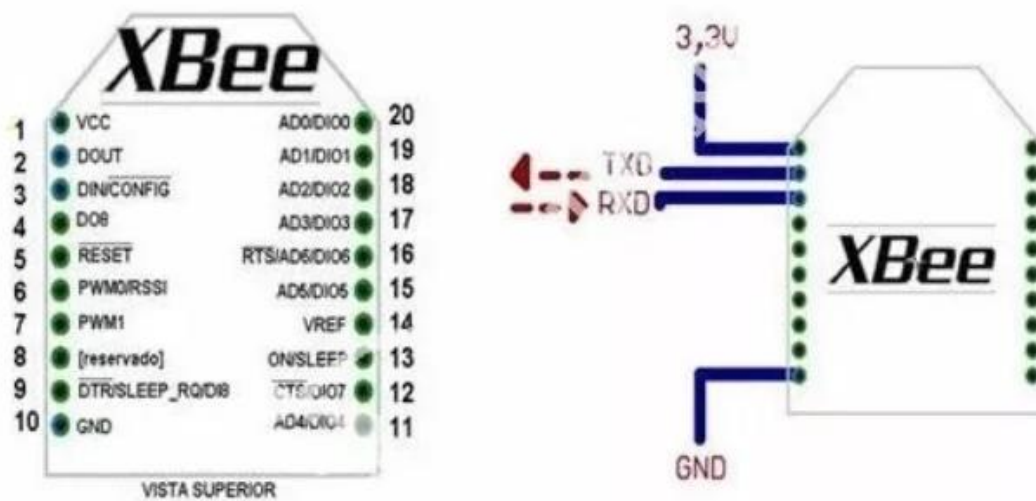


Figura 14: Esquema de pines XBee XB24CZ7WIT-004

7 Herramientas

7.1 Arduino IDE

Arduino IDE es un software de código abierto escrito en java que nos permite programar código, compilarlo y subirlo a nuestra placa Arduino de forma fácil y rápida. Este software funciona tanto en Mac como Linux y Windows y es totalmente compatible con cualquier placa Arduino del mercado. En este estudio más concreto utilizaremos la versión 1.8.9 descargada de la página oficial de Arduino. [28]

En la siguiente figura veremos la interfaz principal de este software.

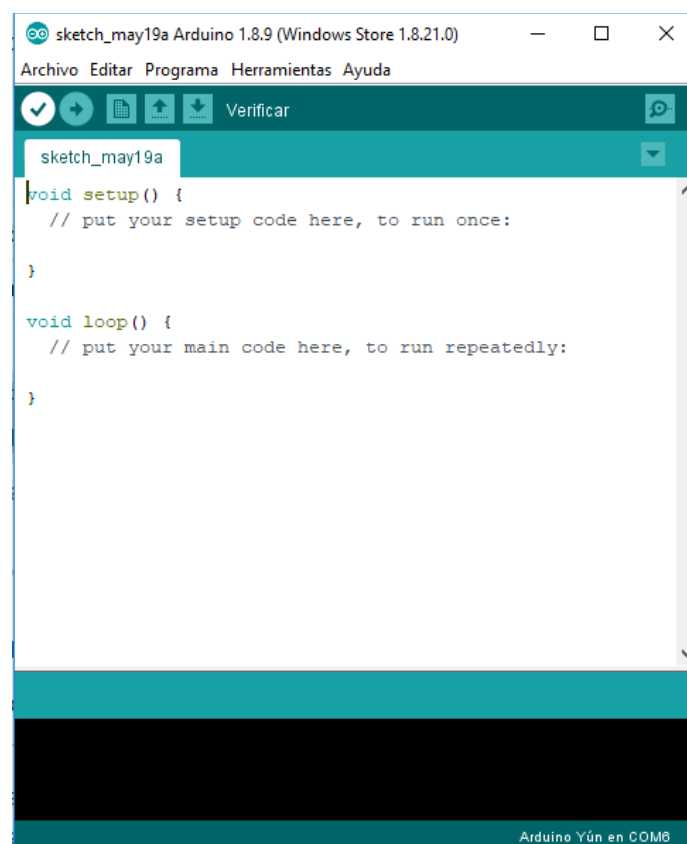


Figura 15: Apariencia inicial de Arduino IDE.

7.2 XCTU

XCTU es una aplicación gratuita multiplataforma diseñada para permitir a los desarrolladores interactuar con los diferentes módulos de Digi mediante una interfaz gráfica fácil de usar. Nos provee de unas herramientas muy útiles para poder configurar y probar los módulos XBee de este proyecto. [29]

Entre las características que este software posee se encuentran las siguientes:

- Configuración de dispositivos incluso de manera remota.
- Actualizaciones de los dispositivos manteniendo su configuración de forma automática.
- Consola AT.
- Permite la realización de test de distancia entre dispositivos.

En la siguiente figura veremos la interfaz principal de este software.

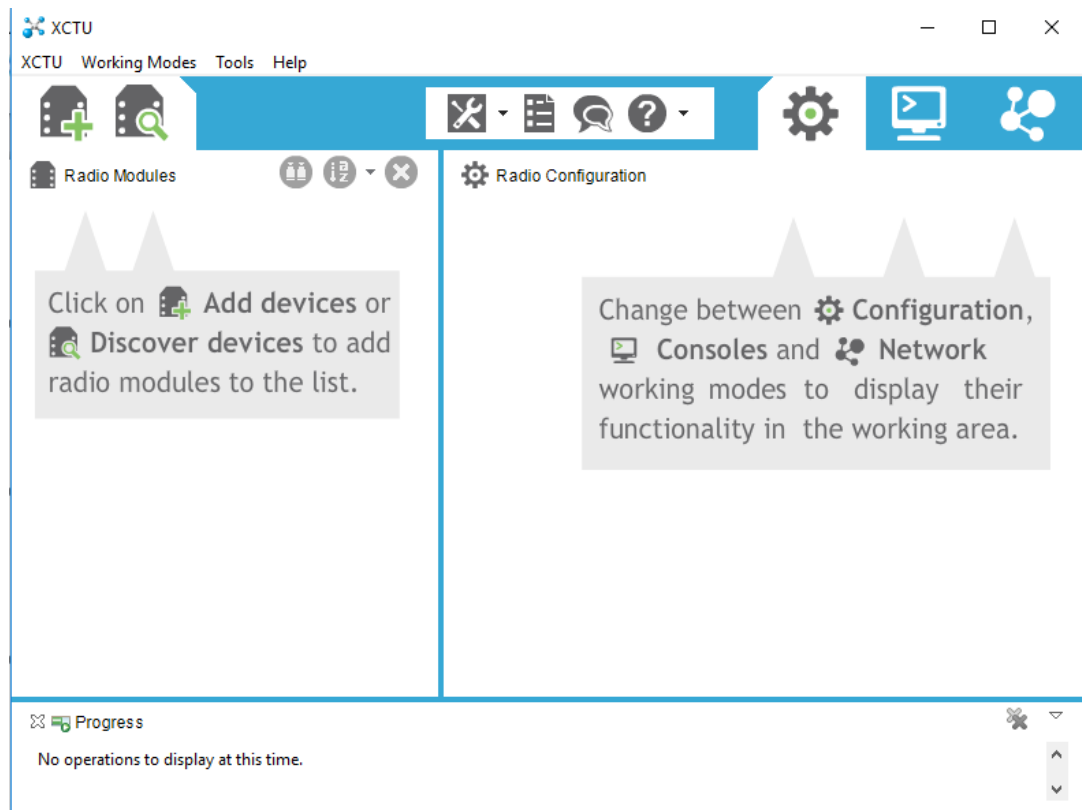


Figura 16: Apariencia inicial de XCTU.

7.3 PyCharm

PyCharm es una herramienta de desarrollo en Python que hemos usado anteriormente en la asignatura de Sistemas Web del Grado de Informática. Hemos seleccionado esta herramienta para programar las pruebas referentes a la tecnología Wi-fi cuyo código podemos encontrar en los anexos, porque es una herramienta que ya conocemos con anterioridad. [30]

De manera más concreta, hemos usado la versión 2018.3.1 Profesional Edition para 64 bits que ya teníamos previamente instalada, configurada y con licencia de estudiante.



Figura 17: Licencia PyCharm.

7.4 Fritzing

Fritzing es una herramienta software de código abierto que nos proporciona diferentes utensilios para crear esquemas y documentar nuestros proyectos de Arduino. A parte de esto también nos ofrece una gran comunidad donde se comparten y se pueden extraer los diferentes módulos y adaptadores que usaremos en este trabajo.

En la siguiente imagen veremos la interfaz principal del software donde podemos ver un proyecto abierto, los diferentes menús que nos ofrece para seleccionar los elementos y las conexiones que hemos establecido para el proyecto.

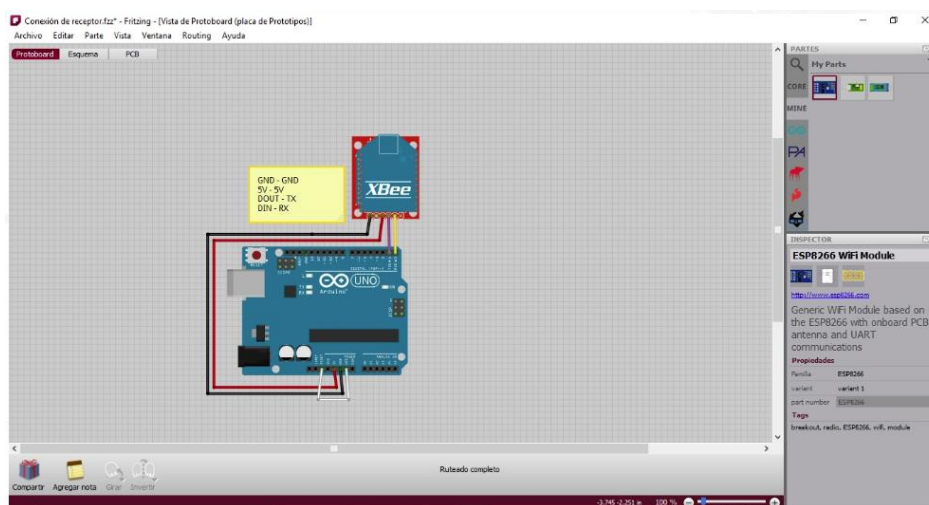


Figura 18: Apariencia principal Fritzing.

8 Diseño y Planificación

Para cumplir el objetivo de este proyecto hemos de realizar numerosas pruebas de contexto a las diferentes tecnologías intentando mantener una igualdad en el ámbito de las mismas. Para ellos he establecido entre todas las características los aspectos a evaluar que veremos a continuación. También cabe destacar que se harán repetidas pruebas en diferentes escenarios que puedan intervenir en la comunicación de la red.

Además de realizar las pruebas y ver los resultados obtenidos se realizara un estudio para ver cuáles son los valores teóricos sobre estos aspectos que el fabricante nos promete de los dispositivos.

Antes de realizar todo esto describiremos la planificación temporal del proyecto y los riesgos a tener en cuenta.

8.1 Planificación temporal

8.1.1 Tareas

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
1 Diseño y Planificación	14/12/18	1/03/19
1.1 Estudio de posibilidades	14/12/18	14/12/18
1.2 Selección de dispositivos	17/12/18	19/12/18
1.3 Establecimiento de criterios de evaluación	20/12/18	31/12/18
1.4 Diseño de pruebas	1/01/19	19/02/19
1.5 Diseño de conexiones	1/01/19	1/02/19
1.6 Planificación de pruebas	20/02/19	1/03/19
2 Desarrollo	4/03/19	25/06/19
2.1 Implementación de pruebas	4/03/19	29/03/19
2.2 Realización de pruebas	1/04/19	24/05/19
2.3 Elaboración de gráficas y resultados	27/05/19	5/06/19
2.4 Elaboración de conclusiones	6/06/19	17/06/19
2.5 Manual de usuario	6/06/19	17/06/19
2.5 Presentación	18/06/19	25/06/19

Figura 19: Desglose de tareas. (Generado con GanttProject)

8.1.2 Diagrama CPM

Elaboramos el diagrama CPM de nuestro proyecto que nos permitirá establecer los tiempos y la ruta crítica del mismo además de sus holguras.

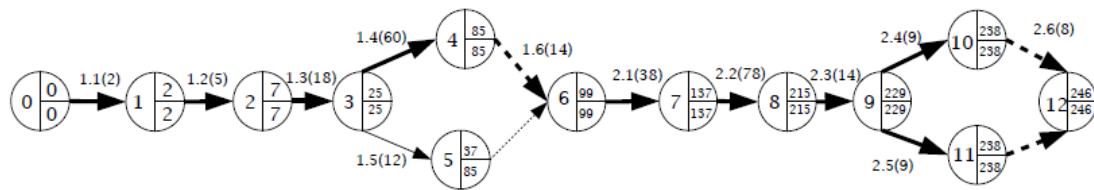


Figura 20: Diagrama CPM

Ruta crítica: 1.1 – 1.2 – 1.3 – 1.4 – 1.6 – 2.1 – 2.2 – 2.3 – 2.4 – 2.6

Holgura:

La holgura se define como el tiempo que se puede retrasar una tarea sin que el tiempo del proyecto se vea comprometido.

	HOLGURA TOTAL
1.1	0
1.2	0
1.3	0
1.4	0
1.5	48
1.6	0
2.1	0
2.2	0
2.3	0
2.4	0
2.5	0
2.6	0

Tabla 8: Holgura del diagrama CPM.

8.1.3 Diagrama Gantt

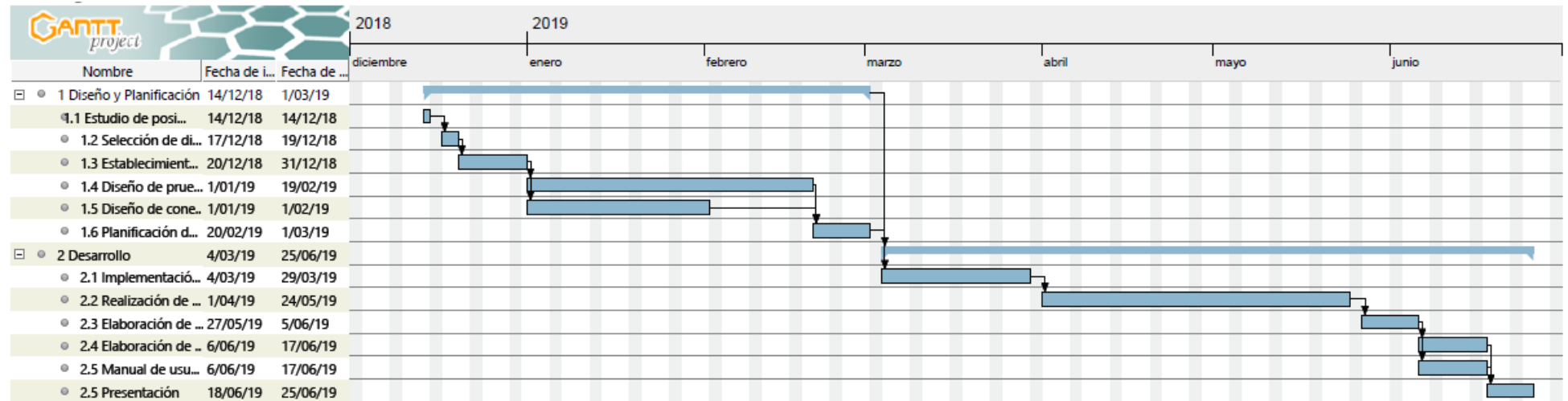


Figura 21: Diagrama Gantt. (Generado por GanttProject)

8.2 Presupuesto

Para llevar a cabo este proyecto teniendo en cuenta la planificación temporal establecida anteriormente, hemos elaborado la siguiente tabla de presupuestos. Todas las medidas están dadas en €.

Coste de materiales :

Arduino Uno Rev. 3 x2	48,28
ESP8266 – 01	5,45
XBee XB24CZ7WIT-004 x2	35,90
NRF24L01 + PA + LNA x2	19,36
XBee Explorer USB	28,98
XBee Explorer Eegulated	11,50
ESP8266 USB Adapter	2,53
NRF24L01 3.3V Adapter x2	4,00
Kit Arduino	13,99

Coste de licencias :

Python IDE for professional developers	199
--	-----

Coste de la mano de obra :

Coste hora ingeniero :	14
Número de horas del proyecto :	690

Total coste mano de obra :	9600
16% IVA :	1545,6
Total coste mano de obra con IVA :	11.145,5

COSTE TOTAL DEL PROYECTO:	11.511,89
----------------------------------	------------------

8.3 Riesgos

8.3.1 Errores en la planificación

Descripción	Se pueden cometer errores a la hora de planificar el proyecto o estimar la duración de las diferentes tareas.
Plan de prevención	Dedicar el suficiente tiempo a la planificación del proyecto hasta estar conformes con la precisión de los resultados.
Plan de contingencia	Comprobar periódicamente si la duración real de alguna tarea va a resultar en un retraso del proyecto y, en caso afirmativo, actuar en consecuencia como grupo para paliar el retraso.
Probabilidad	Alta.
Magnitud	6
Impacto	4,8

Tabla 9: Riesgo: Errores en planificación.

8.3.2 Baja producción

Descripción	Los niveles de producción pueden ser más bajos de lo necesario como consecuencia de tener una fecha de entrega lejana.
Plan de prevención	Tratar de mantener la producción incluso sin la presión de fechas límite.
Plan de contingencia	Dedicar el tiempo extra necesario a las tareas retrasadas.
Probabilidad	Alta.
Magnitud	6
Impacto	4,8

Tabla 10: Riesgo: Baja producción.

8.3.3 Diseño deficiente del proyecto

Descripción	El deseo de empezar cuanto antes con las pruebas del proyecto puede acarrear un diseño apresurado o defectuoso, lo cual terminaría dificultando el desarrollo y retrasando la obtención de resultados.
Plan de prevención	Dedicar el tiempo suficiente en la fase de diseño de pruebas.
Plan de contingencia	Detener el desarrollo de pruebas y volver a trabajar en el diseño hasta obtener resultados satisfactorios.
Probabilidad	Media.
Magnitud	5
Impacto	3

Tabla 11 Riesgo: Diseño deficiente del proyecto.

8.3.4 Averías técnicas

Descripción	Cualquier problema técnico en alguno de los equipos de trabajo o de los dispositivos adquirido para el proyecto que
--------------------	---

	impida o dificulte su utilización de forma que esta pueda afectar a la duración de cierta tarea.
Plan de prevención	Mantenimiento de los equipos actualizados y prestar especial atención a las características y requerimientos de cada dispositivo con el objetivo de minimizar los errores de conexiones y voltajes.
Plan de contingencia	Intentar restablecer los equipos o sustituir los dispositivos de la manera más rápida posible.
Probabilidad	Baja.
Magnitud	8
Impacto	2

Tabla 12 Riesgo: Averías técnicas

8.3.5 Bajas médicas

Descripción	Cualquier baja producido por enfermedad o lesión física que impida o dificulte la realización de ciertas tareas del proyecto.
Plan de prevención	No es prevenible.
Plan de contingencia	En función de la gravedad de dicha baja realizar las tareas de documentación.
Probabilidad	Baja.
Magnitud	5
Impacto	1,2

Tabla 13: Riesgo: Bajas médicas.

8.4 Criterios a evaluar

8.4.1 Distancia

Llamaremos distancia a la diferencia en metros con la que dos dispositivos de una misma red puedan mantener una comunicación buena.

8.4.2 Velocidad de transmisión

Llamaremos velocidad de transmisión al tiempo que tarda un tipo determinado de dato o fichero en transmitirse desde un dispositivo a otro u otros y estos en responderle con el mismo dato.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Datos enviados(KB)}}{\text{Tiempo de transmisión}}$$

Siendo el tiempo de transmisión el tiempo entre el cual se comienzan a enviar los datos hasta que se termina de recibir el último dato enviado.

8.4.3 Calidad de transmisión

Determinaremos la calidad de la transmisión en función de la cantidad de datos erróneos que reciba el dispositivo o dispositivos destino para una transmisión. Se medirá en un porcentaje y este será el porcentaje de datos correctos que se reciban cada vez.

$$\%Calidad = 100 * \frac{\text{Datos correctos}}{\text{Datos enviados}}$$

8.4.4 Consumo

Dividiremos este apartado en dos parámetros, el consumo que tiene el dispositivo en transmisión y el consumo que tiene en reposo.

8.4.5 Escalabilidad

Mediremos este criterio teniendo en cuenta el número de nodos que puedan participar de una misma red de cada tecnología en base a las especificaciones teóricas.

8.4.6 Tiempo medio de comunicación

Mediremos el tiempo que tarda la comunicación en efectuarse, es decir haremos la suma de las medias de los tiempos de conexión y los tiempos de transmisión de los mensajes.

8.4.7 Calidad de conexión

A partir de la conexión que mantienen los distintos de dispositivos de una misma red monitorizaremos las veces que se pierde y recupera esta conexión con el objetivo de evaluar la estabilidad de la misma.

Se tendrán en cuenta el mismo número de pruebas para todos los dispositivos.

$$\text{Calidad (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Nº de desconexiones}}{\text{Nº Pruebas}}\right) * 100$$

8.5 Escenarios

Para tener una visión más completa de los ámbitos que vamos a probar es importante realizar las evaluaciones teniendo en cuenta diferentes escenarios posibles. De esta manera tendremos una mejor visión de a que problemáticas concretas podrían dar solución las diferentes tecnologías.

8.5.1 Campo abierto

Se realizaran pruebas en campo abierto y dividiremos este apartado en dos. Las pruebas en campo abierto serán en lugares planos sin ningún objeto que haga de obstáculo entre dispositivos. Uno de los apartados será realizar estas pruebas en zona urbana sabiendo que pueden afectar las diferentes interferencias que encontramos en las ciudades. El otro apartado será el de realizar las mismas pruebas pero en una zona lejana a cualquier centro urbano buscando así un ambiente más “limpio”.

8.5.1.1 Fuera de ciudad

En este apartado realizaremos las pruebas en una zona alejada de la ciudad donde no puedan afectar o sean mínimas las interferencias que puedan causar otros tipos de redes.

8.5.1.2 Ciudad

En este apartado realizaremos las pruebas en diferentes zonas de la ciudad, ya sean concurridas como no concurridas pero siempre fuera de edificios.

8.5.2 Dentro de un edificio

Utilizaremos la universidad como entorno para realizar estas pruebas dentro de edificio. Buscaremos la variación tanto de habitaciones como de pisos con el objetivo de determinar un área de comunicación entre dispositivos.

8.5.3 Diferentes obstáculos

En este apartado lo que se buscara es una variación de materiales de los que estén construidas los diferentes obstáculos para ver así como pueden verse estas tecnologías afectadas. Seleccionaremos diferentes edificios de diferentes materiales para ello.

8.6 Combinación

Los criterios definidos anteriormente se combinaran entre ellos de las siguientes maneras entre ellos para aumentar el conocimiento reflejado en las pruebas.

- **Distancia-Velocidad:** La distancia se combinara con la velocidad de transmisión para que así quede reflejado cómo o si esta última se ve afectada en función de la distancia.
- **Distancia-Calidad de conexión:** La distancia se combinara con la evaluación de estabilidad quedando reflejado si la conexión resulta estable y como la distancia afecta a esta.
- **Distancia-Calidad de transmisión:** Veremos cómo se mantiene o no la calidad de la transmisión en función de la distancia a la que se encuentren los dispositivos.
- **Distancia-Tiempo de conexión:** Teniendo en cuenta las diferentes distancias a las que se encuentren los dispositivos mediremos si la tecnología lo requiere cual es el tiempo de conexión entre dispositivos.
- **Volumen de datos-Calidad de transmisión/conexión:** En la medida de lo posible observaremos cómo puede afectar el volumen de datos a transmitir a las diferentes tecnologías.

Con las combinaciones mencionadas en este apartado tendremos en cuenta los diferentes escenarios que hemos definido previamente para adquirir una mayor visión de la comparativa.

8.7 Material de transmisión

En la medida que las tecnologías y dispositivos nos lo permitan intentaremos realizar cada una de las diferentes pruebas transmitiendo diferentes tipos y cantidades de datos.

Para iniciar las pruebas haremos siempre un envío de control con un carácter definido “1” que nos sirva para comprobar que la conexión se ha establecido de manera correcta. Esta prueba de control sobre las diferentes situaciones también se tendrá en cuenta para la realización de la comparativa.

- **Texto**

- Para las pruebas de texto hemos seleccionado un texto corto de 100 palabras y determinaremos las pruebas realizadas con este texto como pruebas de “Texto corto”. Generaremos este texto con un generador Lorem Ipsum.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In mollis, dui ac mattis hendrerit, est ante venenatis tellus,a mattis tortor nunc eget lectus. Nunc in convallis dui. Fusce gravida at dolor eu viverra. In ex dui, tincidunt ac diam a, tincidunt tempor metus. Nunc eu elit sed lectus venenatis sodales.Nam ut nulla et sapien dignissim posuere. Donec metus tortor, lobortis in sem vel, fermentum dignissim massa. Cras maximus leo lorem.Maecenas lacus orci, viverra non elit nec, ultrices vulputate urna.Pellentesque lacinia ultrices sem, vel dapibus neque molestie. Integer eleifend tellus eu libero fermentum, eget mattis orci maximus.
--

Tabla 14: Texto corto Lorem Ipsum. [31]

Este texto se compone de 689 bytes y será transmitido tal cual por los dispositivos que nos lo permitan. Habrá tecnologías como la RF que debido a su capacidad de transmisión tendremos que subdividirlo mediante software antes de enviarlo y realizar el envío en distintos paquetes,

- Se realizaran pruebas de texto también con un texto que hemos seleccionado de 500 palabras de longitud y determinaremos las pruebas realizadas con este texto como pruebas de “Texto largo”. Al igual que el anterior texto de prueba, lo generaremos con un generador de textos Lorem Ipsum.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam posuere orci et eros varius, sit amet imperdiet sem mollis. Vivamus velit augue, maximus nec ex eu, cursus aliquet justo. Etiam egestas vulputate sem. Maecenas maximus varius ornare. Praesent lectus magna, ullamcorper at mattis id, ornare vitae lorem. Morbi molestie malesuada vulputate. Quisque tortor enim, aliquet in feugiat non, dictum at odio. Nulla iaculis, orci in porta ultricies, turpis sapien fermentum turpis, id molestie nisl dui vitae augue. Curabitur tristique tincidunt massa, tincidunt bibendum nunc rhoncus quis. Aliquam tempus bibendum tempus. Sed quis gravida lectus. Ut scelerisque imperdiet nisl ut consectetur. Mauris et vestibulum sem. In dignissim, neque non consequat convallis, odio risus mattis ipsum, a condimentum velit enim ac ipsum.

In egestas interdum viverra. Etiam nec ultrices arcu. Nam et accumsan nunc, et malesuada dolor. Curabitur cursus elit vel eleifend auctor. Sed in leo aliquet, pellentesque odio fringilla, vulputate augue. Vestibulum quis efficitur tortor. Praesent justo nisl, suscipit sed felis eget, maximus dapibus lacus. Suspendisse aliquet condimentum est, ut fermentum risus lacinia interdum. In ut massa non velit dictum vulputate eu vel neque. Praesent nec mi sit amet urna convallis eleifend. Curabitur vel mauris mi. Maecenas id feugiat purus. Nullam vitae iaculis eros. Vivamus in pharetra augue. Quisque fringilla lobortis eros, et condimentum lorem rutrum sit amet. Nullam luctus nisl purus, sed euismod tellus facilisis quis.

Integer et eleifend velit. Aenean scelerisque nisl eu ipsum consequat, ut rhoncus odio tincidunt. Sed euismod, dui at malesuada rutrum, diam metus fermentum mi, ultricies tristique nunc ipsum vitae erat. Vivamus auctor tincidunt feugiat. Aliquam rhoncus ligula lacus, ac pharetra risus aliquam id. Sed ultrices congue mauris. Proin interdum diam euismod, tristique velit vel, hendrerit odio. In suscipit, lorem ut efficitur accumsan, dolor nulla laoreet est, nec interdum lacus enim vel neque. Nullam nec porta sapien.

Sed volutpat dolor at nisl interdum, ut euismod sem tempus. Sed facilisis nisl est, vel suscipit augue aliquam sit amet. Fusce feugiat arcu non dui lobortis, eu imperdiet urna finibus. Nullam a turpis ex. Aliquam a velit ipsum. Donec consequat justo gravida arcu tincidunt, vel consequat nisi aliquam. Curabitur sagittis erat id odio sodales, ut feugiat erat gravida. Suspendisse sit amet erat ut nulla eleifend mollis. Duis tincidunt venenatis augue quis malesuada. Aliquam quis sapien nec nisl posuere

tincidunt a a urna. In varius, metus quis ullamcorper pretium, metus augue semper odio, nec placerat turpis enim a ligula. Nam et blandit est, sed iaculis augue. Curabitur aliquet congue nisl sit amet eleifend. Sed efficitur, risus sit amet luctus fringilla, eros ipsum porta sapien, sit amet mollis orci nisl id tortor. Vivamus tincidunt in sem in rhoncus.

Nam ullamcorper magna id pharetra laoreet. Nullam convallis libero non leo pellentesque mattis. In dui orci, aliquet ut volutpat in, elementum eu nisl. Mauris malesuada arcu venenatis nisl efficitur, a accumsan augue volutpat. Vivamus ac efficitur ante. Ut a enim tellus. Ut varius risus vitae risus imperdiet vestibulum. Morbi luctus, risus vel eleifend venenatis, magna justo faucibus augue, ac lacinia justo felis.

Tabla 15: Texto largo Lorem Ipsum. [31]

9 Desarrollo

9.1 Estudio previo de expectativas

Teniendo en cuenta las posibilidades que nos ofrecen los diferentes dispositivos a interconectar que hemos seleccionado vamos a realizar una investigación sobre los datos teóricos que estos nos deberían dar a lo largo de nuestras pruebas para así luego poder comparar la teoría con la práctica. La totalidad de estos datos se ha obtenido de las datashet de cada dispositivo que se adjuntan a este trabajo.

Haremos una comparativa final para ver cuánto de exactos son los datos teóricos con los obtenidos en nuestras pruebas.

En cuanto a distancia, contemplaremos la máxima teórica de los dispositivos que vamos a utilizar.

Módulo	Distancia (m)
BLE SH-HC-08	110
ESP8266-01	300
XBee S2C	1200
NRF24L01	1000

Tabla 16: Distancia máxima teórica.

En cuanto a la velocidad máxima según las especificaciones de cada protocolo de red podemos observar los siguientes datos. Cabe destacar que estos se refieren siempre a la tecnología aplicada en las mejores condiciones posibles. Mediremos la velocidad de transmisión en kbps.

Módulo	Velocidad (Kbps)
BLE SH-HC-08 802.15.1	32000
ESP8266-01 802.11b/n/g	600000
XBee S2C 802.15.4	250
NRF24L01	2000

Tabla 17: Velocidad máxima de transmisión.

En cuanto al consumo, dividiremos esto en dos apartados. Contemplaremos el consumo del módulo en transmisión de información y también en modo reposo.

Módulo	Consumo en transmisión (mA)
BLE SH-HC-08 802.15.1	8,5
ESP8266-01 802.11b/n/g	80
XBee S2C 802.15.4	30,5
NRF24L01	11,4

Figura 22: Consumo en transmisión de los módulos.

Módulo	Consumo en Standby o en sleep mode (mA)
BLE SH-HC-08 802.15.1	0,4-1,5
ESP8266-01 802.11b/n/g	0,01
XBee S2C 802.15.4	0,001
NRF24L01	0,026

Figura 23: Consumo en Standby de los módulos.

En cuanto a la escalabilidad tendremos en cuenta el número de nodos que son capaces de mantener como máximo en una red las siguientes tecnologías.

Tecnología	Nº nodos
RF	No hay límite
Bluetooth	8
ZigBee	65535
Wi-fi	253

Figura 24: Escalabilidad de las tecnologías.

9.2 Conexiones y configuraciones

9.2.1 BLE SH-HC-08

Para la realización inicial de las pruebas de este módulo hemos realizado las siguientes conexiones con nuestro Arduino uno.

Los pines VCC y GND del módulo se conectan a los pines 5V y GND del Arduino y respecto al RDX y TDX del módulo los disponemos de forma cruzada con los pines serial de nuestro Arduino que estableceremos en el código con la librería SoftwareSerial para que cada mensaje recibido con el modulo se envíe al Arduino y lo podamos ver reflejado en el monitor serial de este.

Adicionalmente hemos conectado un LED al pin 13 y GND del Arduino para poder ver a distancia que este recibe el mensaje de control correctamente. Cuando reciba la señal de forma correcta este se encenderá.

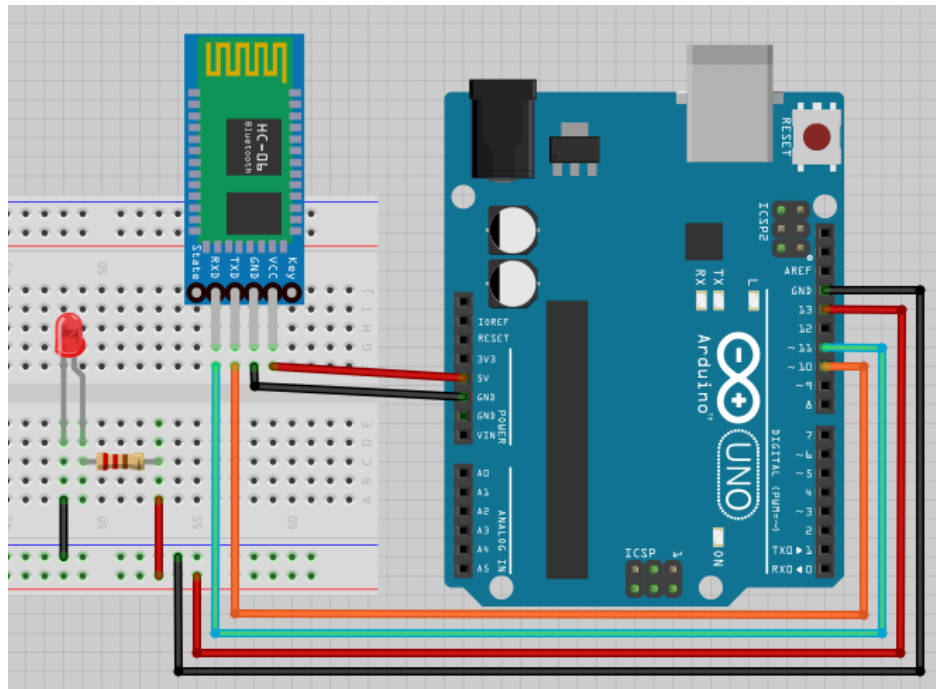


Figura 25: Conexiones BLE SH-HC-08 I.

La configuración de este módulo se realizará mediante comandos AT, donde estableceremos el nombre y los diferentes parámetros. Para las pruebas que no sean de control eliminaremos el led ya que no lo vemos necesario en esos casos.

9.2.2 XBee S2C

A través de las placas XBee Explorer USB y Regulated estableceremos la comunicación tanto con el ordenador como con el Arduino ya sea para realizar la configuración o la alimentación para la emisión y recepción de los mensajes.

En la siguiente figura podemos ver como conectaremos el XBee Explorer Regulated a nuestro Arduino haciendo un puente en los pines RESET y GND. Este puente se realiza para poder comunicarnos directamente con el módulo XBee sin pasar por el microcontrolador.

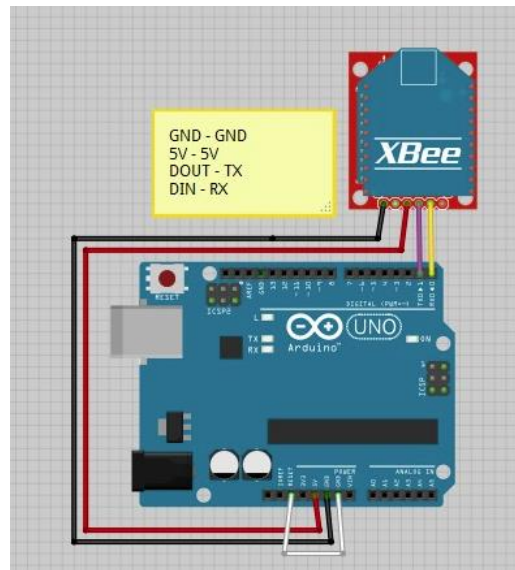


Figura 26: Conexiones XBee.

Para poder establecer la comunicación de control punto a punto de los módulos XBee hemos realizado las siguientes configuraciones. Hemos establecido uno de los módulos como coordinador y el otro como router. Para que ambos módulos se comuniquen en el mismo canal hemos de darle el mismo valor al atributo PAN ID de ambos.

9.2.2.1 Coordinador

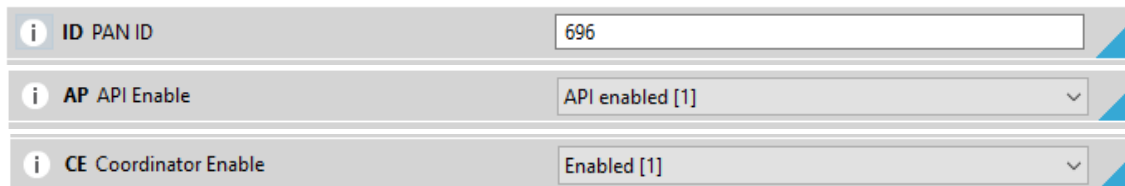


Figura 27. Configuración coordinador XBee I.

Después de que XCTU reconozca nuestro modulo solo modificaremos los campos que se ven en la *Figura 27* dejando el resto de manera por defecto. Estos campos establecen el id del canal donde se van a comunicar ambos dispositivos, el modo api para recibir la información que vamos a programar desde el módulo router y activamos el modo coordinador. [29]

9.2.2.2 Router

i ID PAN ID	696
i JV Channel Verification	Enabled [1]
i DH Destination Address High	0
i DL Destination Address Low	0

Figura 28: Configuración router XBee I. [32]

Después de que XCTU reconozca nuestro módulo XBee dejaremos todos sus atributos por defecto a excepción de los que se muestran en la *Figura 28*. Como podemos observar el PAN ID es el mismo al del coordinador, activamos la verificación de canal para que el router busque en el canal un coordinador válido y establecemos las direcciones de destino a 0 porque no tenemos un dispositivo final al que vaya destinado el mensaje a enviar.

9.2.3 ESP8266

Para poder conectar el dispositivo con el ordenador y configurarlo a través del Arduino IDE utilizaremos un adaptador USB que nos asegurará que todos los pines reciben la alimentación correcta sin ningún riesgo. De manera más concreta no conectaremos directamente el módulo con el ordenador sino que realizaremos las siguientes conexiones para poder resetearlo y pasar de modo configuración a modo ejecución de manera más fácil.

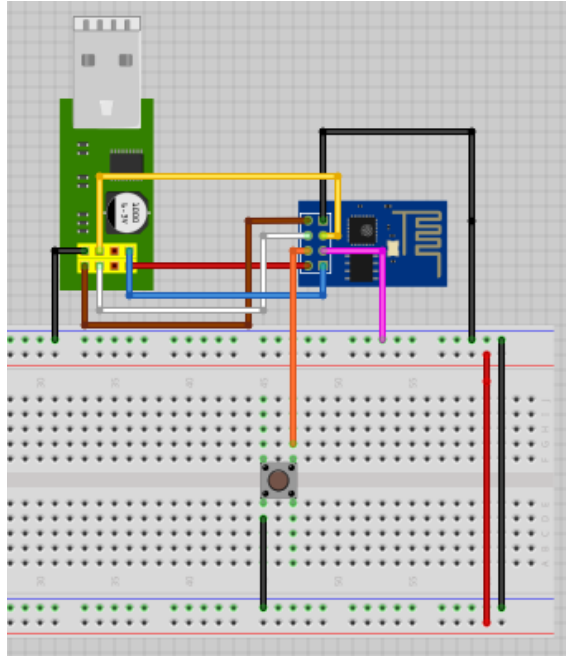


Figura 29: Conexión ESP8266 Modo UART.

Para poder cargar los programas necesitamos poner el módulo ESP8266 en modo UART y para ello tendremos que poner el pin GPIO0 a GND como podemos ver en la figura 23 con el cable rosa conectado a tierra.

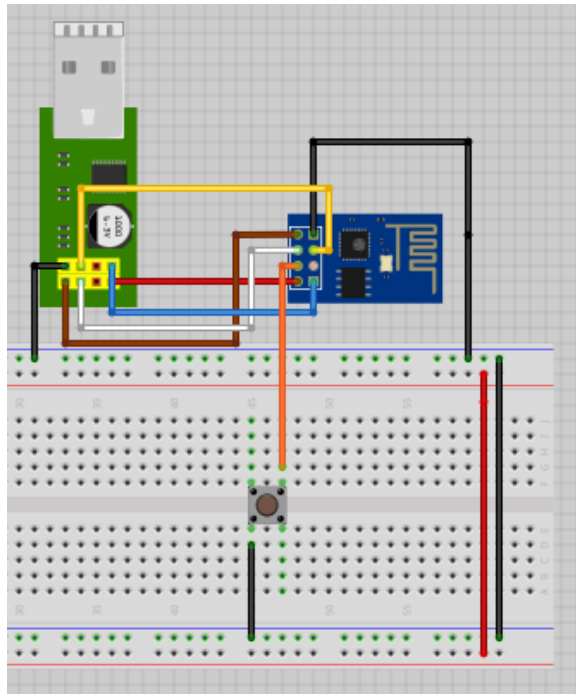


Figura 30: Conexión ESP8266 Modo Flash.

Para poder ejecutar el programa previamente cargado tendremos que desconectar de GND el pin GPIO0. Podemos eliminar el cable que lo conectaba como se ve en la figura 24 o dejarlo desconectado simplemente. Además de esto

tras cargar el sketch tendremos que resetearlo y para ello hemos puesto el botón en la protoboard. De esta manera presionándolo el modulo se reseteará y entrará en modo Flash.

La configuración que realizaremos para poder probar este módulo la haremos a través de Arduino IDE, donde instalaremos una serie de librerías como podremos ver en el manual de usuario de este proyecto adjuntado e este documento.

9.2.4 NRF24L01

Para utilizar los módulos NRF24L01 a través de Arduino tenemos varias opciones de conexión. La que veremos en la siguiente figura será el esquema de conexiones básicas sobre la que trabajaremos. A partir de esta podremos utilizar unos adaptadores que nos evitan que los pines trabajen a un voltaje que no es el que corresponde, este adaptador haría de puente para las conexiones. También podremos utilizar una fuente de alimentación externa que nos permita dar más alcance a los módulos.

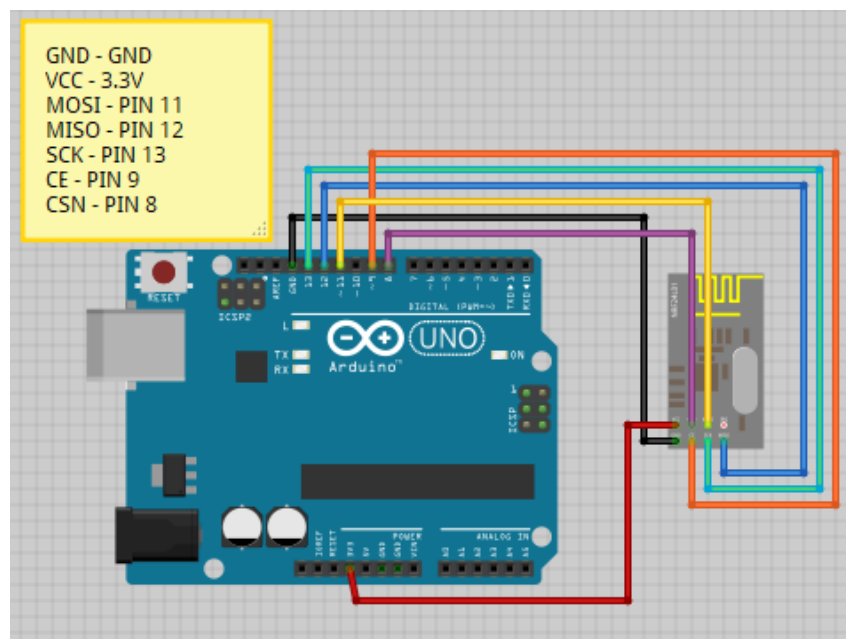


Figura 31: Conexión NRF24L01.

Tanto para el dispositivo emisor como receptor usaremos esta configuración dado que la diferenciación se verá en el código. Estos módulos apenas requieren configuración del software como veremos en el manual de usuario adjuntado a este trabajo.

9.3 Mediciones

Las pruebas de control como se ha mencionado anteriormente constan del envío de un carácter para comprobar que la conexión se realiza de manera exitosa y se pueden enviar datos de manera correcta por lo que no tienen mucha complicación.

La **distancia** la mediremos mediante la aplicación de google maps que nos permitirá en algunos casos la medición en metros entre dos puntos. En otros casos en lo que esto no nos sea posible utilizaremos documentación del lugar o edificio para poder tomar puntos de referencia y establecer una distancia de la manera más exacta posible. En casos en los que no nos sea posible ninguna de las dos opciones anteriores utilizaremos la medida en pasos multiplicada por la longitud media de los pasos del individuo que los haya realizado. Es decir si la prueba se realiza a 10 pasos y el usuario recorre 10 metros cada 15 pasos se hará el cálculo de la siguiente manera:

$$10(\text{pasos}) * \frac{10 \text{ metros}}{15 (\text{pasos})} = 6,66 \text{ metros}$$

Para determinar la **velocidad de transmisión** conoceremos previamente el volumen de datos que estamos transmitiendo y se dividirá entre el **tiempo de transmisión**. En el caso del BLE SH-HC-08 dado que haremos las pruebas con un móvil tendremos en la aplicación los tiempos de llegada de los mensajes en milisegundos, los que nos permitirá realizar estos cálculos de manera sencilla. Esta aplicación que hemos seleccionado se encuentra pública y se llama *Serial Bluetooth Terminal* de Kai Morich. Para el ESP8266 utilizaremos un cliente Python que nos permitirá realizar las mediciones de tiempo de conexión y de respuesta de la petición que realizaremos al punto de acceso. Para los módulos XBee será el propio software XCTU el que nos proporcione los datos de las pruebas. Y por último para los módulos NRF extraeremos los datos del mismo programa de Arduino ya que al tener emisor y receptor podremos realizar las mediciones de los tiempos desde el propio programa establecido en Arduino IDE.

Para establecer la **calidad de la transmisión** comprobaremos los datos recibidos en la transmisión con los que han sido enviados por el dispositivo pertinente y de esta manera podremos establecer una relación entre ambos y determinar la cantidad de información que ha sido enviada de manera correcta. Utilizaremos un plugin de *Notepad++* llamado *Compare* que nos permite comparar dos archivos de texto y ver donde se encuentran sus diferencias. Además le propio *Notepad++* nos permite ver el tamaño de este mensaje y podremos analizar el número de bytes que se reciben. Posteriormente aplicaremos la fórmula establecida en los criterios de evaluación para cuantificarlo en un porcentaje final.

Para el **tiempo de conexión** en las tecnologías que requieran de cierta conexión como el Bluetooth o el Wi-fi utilizaremos las aplicaciones antes mencionadas que nos permiten medir el tiempo desde que se realiza la petición de conexión hasta que esta se confirma. En casos como los de la tecnología ZigBee o el RF esto no se podrá determinar ya que un dispositivo se encuentra enviando y el otro escuchando todo lo que se reciba por el canal establecido. No requieren de una conexión o vínculo directo como los otros dispositivos.

La **calidad de conexión** estará en constante evaluación durante todas las pruebas. Se tendrá en cuenta el número de ocasiones que los dispositivos hayan perdido la conexión durante las sesiones de pruebas. De manera que si realizamos 50 pruebas de envíos de datos en una determinada situación y los dispositivos pierden la conexión 10 veces, podremos determinar que en esta situación la estabilidad de la red se ha visto afectada por las condiciones o el volumen de datos. Aplicaremos la formula previamente definida y cuantificaremos estos datos en un porcentaje de manera que podremos afirmar que para este caso la red se mantiene estable en un 80% de las pruebas mientras que es inestable en un 20%. En cuanto a la tecnología RF o ZigBee, como alternativa ya que no requieren que se establezca conexión, contemplaremos el número de paquetes que se envían y reciben para dar por perdida de conexión cualquier perdida de información.

El **consumo** lo mediremos utilizando las especificaciones de los respectivos fabricantes para compararlos en estado de reposo. Para cuantificarlo en estado de transmisión multiplicaremos el tiempo medio que lleva la realización de la transmisión por el consumo que hace dicho dispositivo mientras transmite datos.

9.4 Análisis del espectro de los entornos

Con el objetivo de determinar como de congestionados están los entornos de tecnologías inalámbricas que operan en la misma banda de 2,4GHz, utilizamos una de las herramientas que nos proporciona el software XCTU para analizar el espectro. Las siguientes gráficas muestran los resultados que obtuvimos de cada entorno, en donde se puede ver la saturación que tienen o no los correspondientes canales de radiofrecuencia.

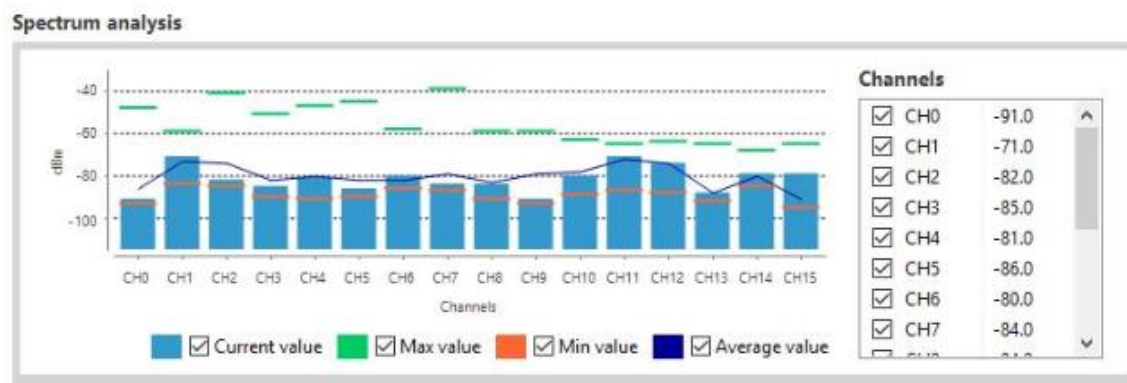
En las gráficas que se verán a continuación veremos los diferentes canales de la banda de 2,4GHz. Esta banda se compone de 16 canales separados por 5MHz. En las gráficas se mostrará el nivel de ruido de cada canal, tanto la medida máxima alcanzada, la mínima y la media.

- Análisis del espectro obtenido en el entorno de campo abierto fuera de ciudad:



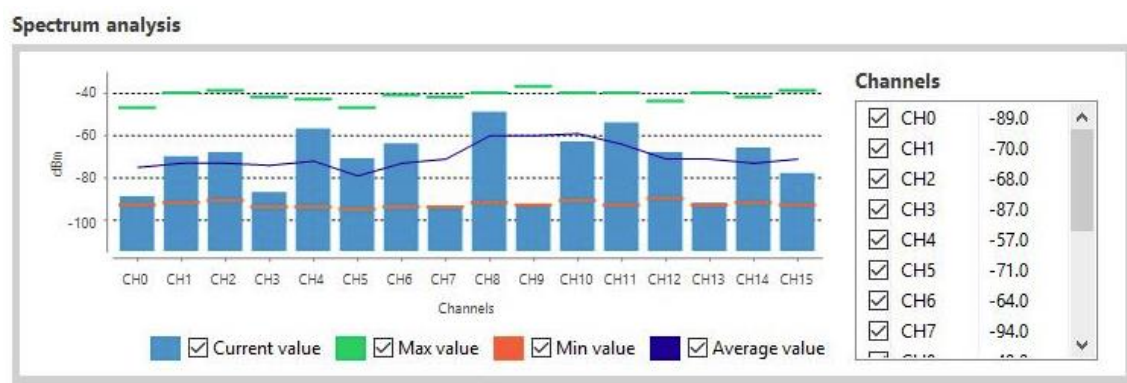
Gráfica 1: Análisis de espectro en campo abierto fuera de ciudad.

- Análisis del espectro obtenido en el entorno de campo abierto dentro de ciudad.



Gráfica 2: Análisis de espectro en el entorno universitario.

- Análisis del espectro obtenido dentro del edificio de la escuela de ingenieros donde se realizarán las pruebas que se refieren a dentro de edificios como paredes de pladur, de bloque, entre pisos y en un mismo espacio.



Gráfica 3: Análisis del espectro en la escuela de ingenieros.

- Análisis del espectro obtenido en una vivienda donde se realizaran las pruebas tras paredes de ladrillo, tras cristal y algunas pruebas tras pared de bloque.



Gráfica 4: Análisis de espectro en vivienda.

Como podemos observar en las gráficas recopiladas hay una notable diferencia entre los entornos que se sitúan alejados de la ciudad, de la concurrencia de personas y los que se sitúan en pleno centro de ciudad o en un bloque de viviendas donde el espacio se encuentra lleno de redes Wi-fi, comunicaciones Bluetooth y comunicaciones Zigbee. Tras ver esto vemos lógico que las pruebas fuera de ciudad nos puedan dar mejores resultados en comparación dado que hay menos ruido en el ambiente.

9.5 Plan de pruebas

Se harán como hemos comentado anteriormente diferentes tipos de pruebas en distintos entornos, variando las distancias acorde con lo que nos permita el dispositivo y tecnología de prueba. Nos encontraremos con pruebas que se tendrán que realizar cada 5 metros por las limitaciones del dispositivo, o pruebas que se realizaran cada centenar de metros.

Las pruebas establecidas son las que podemos observar en las siguientes gráficas.

9.5.1 Pruebas de control

Definiremos el carácter de control como '1'. Se realizaran las pruebas desde 5 metros como mínimo hasta la distancia máxima que nos permita el dispositivo. Estas pruebas no resultaran muy relevantes para medir los criterios establecidos, pero nos permitirán establecer los límites a los que podemos llegar realizando pruebas de mayor peso. A determinada distancia o entorno se realizaran las pruebas de control primero y en caso de que haya algún tipo de respuesta se continuara con las de texto. En caso de no recibir ninguna señal se omitirán las pruebas siguientes para ese punto en concreto.

ESCENARIO
Campo abierto (Kobetas)
Campo abierto Ciudad (San Mamés)
Mismo espacio en edificio (UPV)
Tras pared de pladur (UPV)
Tras pared de bloque (UPV, Vivienda)
Tras pared de ladrillo (Vivienda)
Tras cristal (ventana Vivienda)
Tras suelo (UPV)

Tabla 18: Pruebas de control.

9.5.2 Pruebas texto corto

Como se ha definido anteriormente estas pruebas consistirán en el envío de un texto pequeño de apenas 690 Bytes que se ha autogenerado. En algunos casos podremos enviar el mensaje en un único paquete mientras que en otros como el de RF y XBee tendremos que subdividirlo en diferentes paquetes y enviar uno detrás de otro consecutivamente.

ESCENARIO
Campo abierto (Kobetas)
Campo abierto Ciudad (San Mamés)
Mismo espacio en edificio (UPV)
Tras pared de pladur (UPV)
Tras pared de bloque (UPV, Vivienda)
Tras pared de ladrillo (Vivienda)
Tras cristal (ventana Vivienda)
Tras suelo (UPV)

Tabla 19: Pruebas de texto corto.

9.5.3 Pruebas texto largo

El texto a transmitir en estas pruebas consta de 3416 Bytes y resultará más pesado para algunos dispositivos. Como el texto corto, tendremos que subdividirlo o incluso sustituirlo por repeticiones de paquetes más pequeños para alcanzar una transmisión de volumen equivalente.

ESCENARIO
Campo abierto (Kobetas)
Campo abierto Ciudad (San Mamés)
Mismo espacio en edificio (UPV)
Tras pared de pladur (UPV)
Tras pared de bloque (UPV, Vivienda)
Tras pared de ladrillo (Vivienda)
Tras cristal (ventana Vivienda)
Tras suelo (UPV)

Tabla 20: Pruebas de texto largo.

10 Resultados

Los resultados obtenidos en las pruebas de control de los siguientes dispositivos estarán expuestos en diferentes gráficas. Por cada escenario y tipo de prueba tendremos una gráfica en la que se verán los resultados de los diferentes dispositivos para poder contrastarlos. Tendremos cinco gráficas diferentes (Distancia, Calidad de transmisión, Calidad de conexión, Velocidad y Tiempo medio.)

En la gráfica de distancia veremos las distancias máximas obtenidas por cada tecnología dada en metros o paredes atravesadas.

En cuanto a las gráficas de Calidad de transmisión y Calidad de conexión mediremos en porcentaje el número de bytes que se han transmitido de forma correcta frente a los bytes totales y el porcentaje de conexiones exitosas realizadas. Teniendo en cuenta que la tecnología ZigBee y RF no necesitan establecer ningún tipo de enlace, estos dos porcentajes serán idénticos. Serán distintos en el caso de que los paquetes se reciban (lo tomaremos como conexión exitosa) pero estos vengan alterados o modificados (lo entendemos como una mala transmisión).

La gráfica de Velocidad nos indicara las velocidades medias alcanzadas por las diferentes tecnologías. Esto lo mediremos en Kilo bits por segundo (Kbps).

Por ultimo podremos ver la gráfica de Tiempo medio donde veremos en segundos el tiempo que ha llevado desde que se establece la conexión hasta que se envía el último de los datos.

Adicionalmente en los anexos tendremos las pruebas que tomaremos como referencia para la elaboración de estas gráficas.

10.1 Pruebas de control

- **Escenario:** Campo abierto fuera de ciudad.
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en el parque de Kobetas lejos de interferencias que puedan alterar la transmisión.
 - Comentarios: el dispositivo Bluetooth es el dispositivo que más pérdidas de control tiene dentro de todos los que hemos probado. Además de esto también requería retroceder a los 30 metros como mínimo para poder reconectarse de nuevo. En cuanto al ESP para recuperar la conexión no era necesario retroceder mucho. Simplemente con tener una señal un poco buena restablecía la conexión sin ningún problema. También hay que resaltar que el

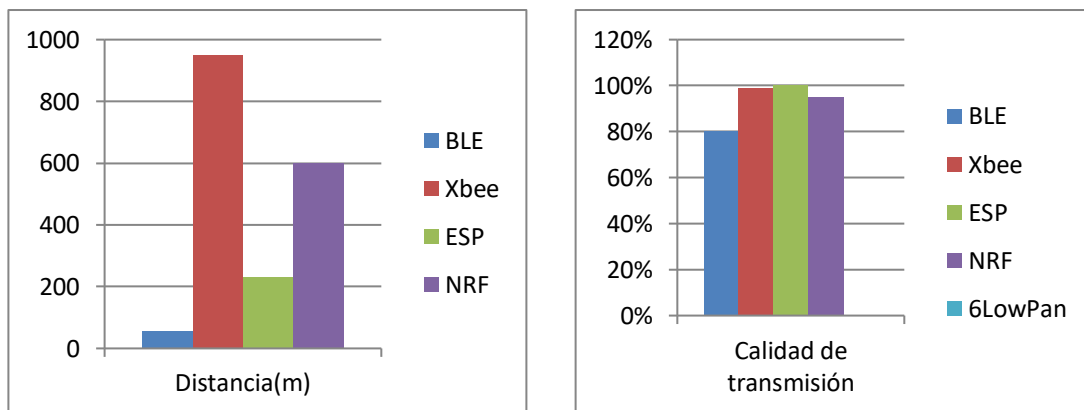
hecho de recibir señal no significa que se pueda establecer la conexión de manera correcta por lo cual a los 250 metros seguíamos teniendo señal pero resultaba imposible establecer la conexión. En cuanto al XBee no presentaba problemas de conexión hasta llegar al kilómetro de distancia, es ahí cuando dejo de detectar el otro dispositivo en la misma red y comenzaron a perderse todos los mensajes. El dispositivo RF al igual que el XBee es bastante acertado para este tipo de entorno dando un buen rango de alcance aunque con más problemas para transmitir con obstáculos como algún árbol por ejemplo. Además de esto este último modulo requiere de una fuente de alimentación externa para poder llegar a más distancia.

- Tabla de datos:

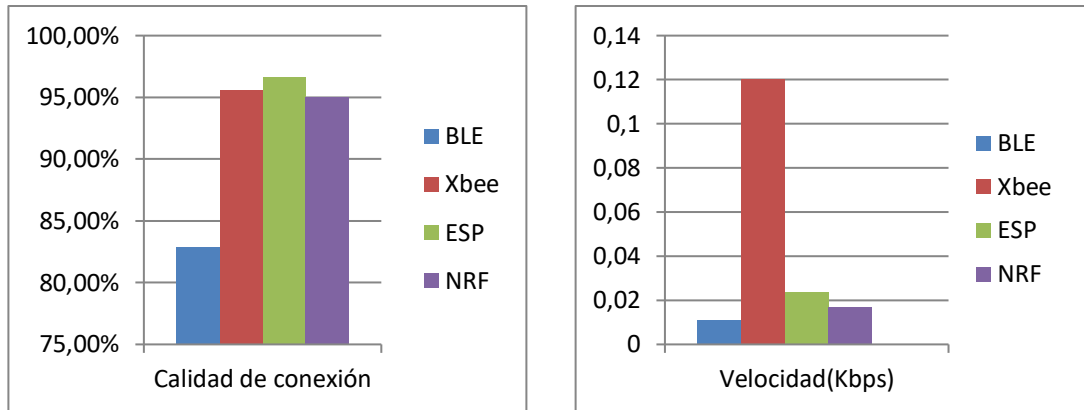
	DISTANCIA(m)	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	55	80%	82,86%	0,111	2,119
XBEE	950	98,67%	95,62%	0,12	0,067
ESP	230	100%	96,67%	0,024	0,339
NRF	600	95%	95%	0,017	0,458

Tabla 21: Resultados campo abierto fuera de ciudad pruebas de control.

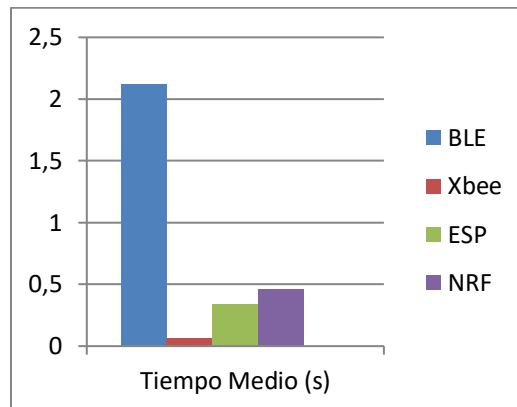
- Gráficas:



Gráficas 5-6: Prueba de control campo abierto fuera de ciudad Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 7-8: Prueba de control campo abierto fuera de ciudad Velocidad y Calidad de conexión.



Gráfica 9: Prueba de control campo abierto fuera de ciudad Tiempo Medio.

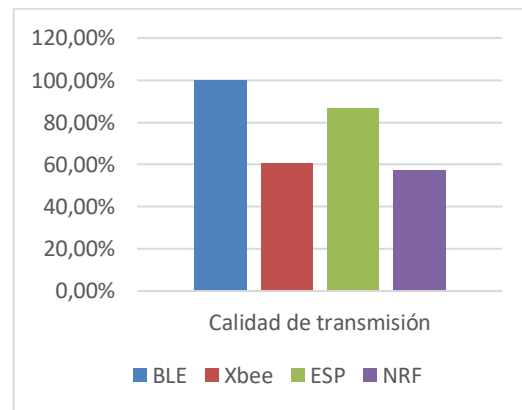
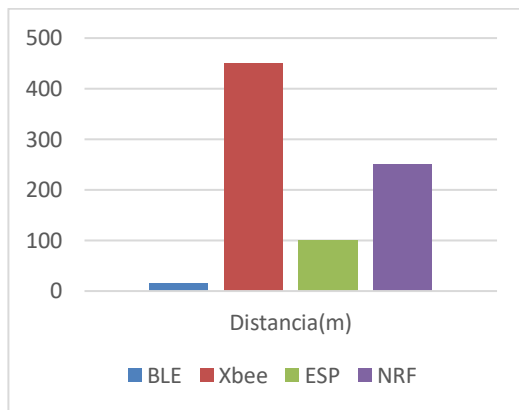
- **Escenario:** Campo abierto dentro de ciudad.
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la explanada fuera de la universidad que se sitúa entre esta y el estadio de San Mamés. Al contrario que las pruebas realizadas fuera de ciudad, el espacio de transmisión se encontraba concurrido debido a la gran cantidad de señales Wi-Fi y dispositivos que se encuentran en las inmediaciones.
 - Comentarios: como era previsible los resultados obtenidos en los diferentes criterios se redujeron hasta en un 50% en comparación con los de campo abierto fuera de ciudad. El dispositivo Wi-fi sufrió mayores problemas de conexión y de recuperación de la misma en caso de pérdida. El módulo BLE responsable de la tecnología Bluetooth también se vio afectado en consecuencia a la concurrencia de señales y es por ello que redujo tanto su distancia de transmisión como de reconexión de manera notable. Los módulos XBee y RF también se vieron afectados tanto en distancia como en calidad de transmisión. Por ultimo para este escenario destacamos que a causa de las diferentes señales del entorno en ocasiones el modulo RF receptor captaba señales que no correspondían, y hasta en una ocasión bloqueando la prueba por completo.

○ Tabla de datos:

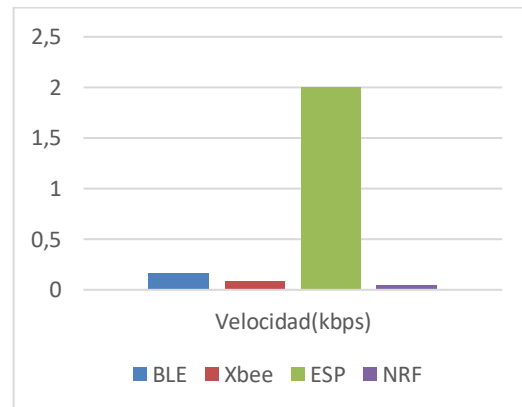
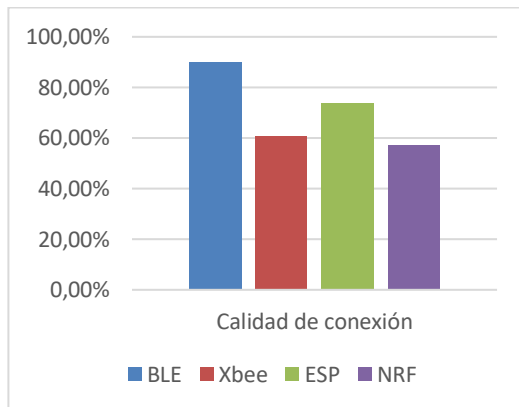
	DISTANCIA(m)	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	15	100%	90%	0,16	1,56
XBEE	450	60,80%	60,80%	0,08	0,1
ESP	100	87%	73,70%	2	0,01
NRF	250	57,33%	57,33%	0,04	0,18

Tabla 22: Resultados campo abierto dentro de ciudad pruebas de control.

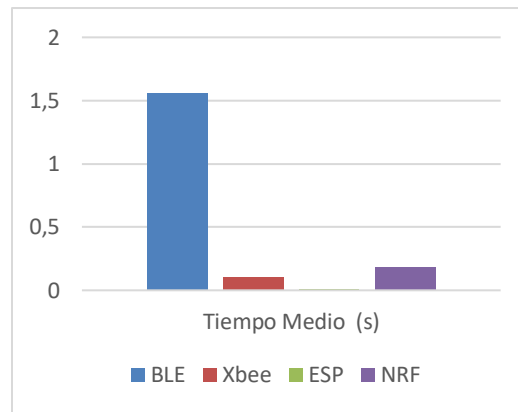
○ Graficas:



Gráficas 10-11: Prueba de control campo abierto dentro de ciudad Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 12-13: Prueba de control campo abierto dentro de ciudad Calidad de conexión y Velocidad.



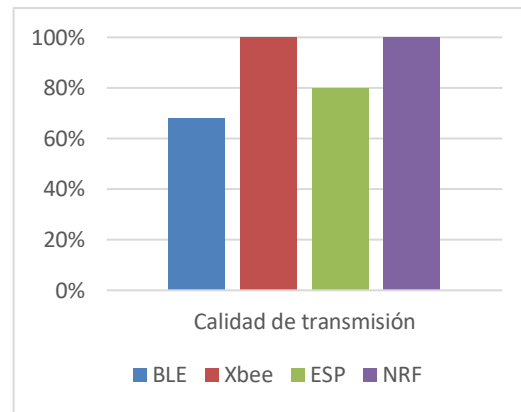
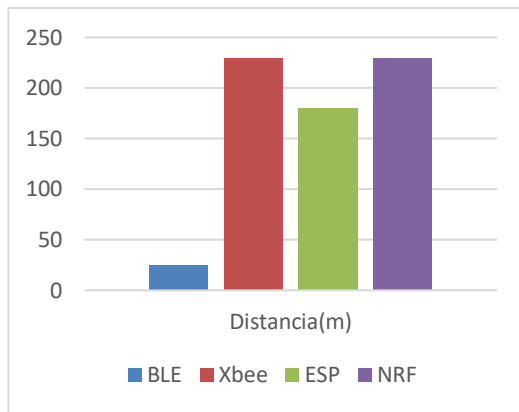
Gráfica 14: Prueba de control campo abierto dentro de ciudad Tiempo medio.

- **Escenario:** Dentro de un edificio (UPV – Pasillo primer piso).
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos en el pasillo del primer piso.
 - Comentarios: la tecnología ZigBee no tuvo problema alguno a la hora de transmitir e incluso faltó espacio para poder medir su distancia máxima de transmisión. La tecnología Wi-fi a pesar de tener un espacio también ocupado por otras redes como Eduroam se comportó de manera bastante sorprendente sin ningún problema. La tecnología Bluetooth en cambio se vio más afectada y rindió a menor nivel que en otras pruebas como en las de campo abierto fuera de ciudad. Por ultimo en cuanto a la tecnología RF destaco al igual que la XBee sin ningún problema.
 - Tabla de datos:

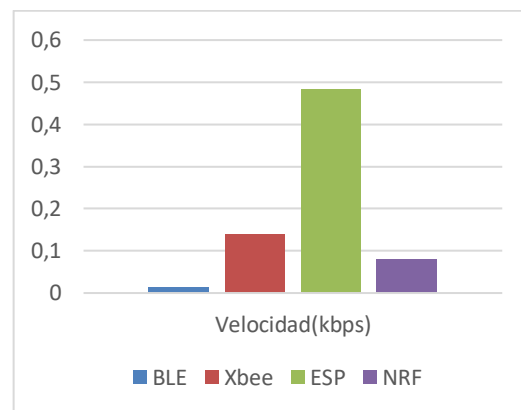
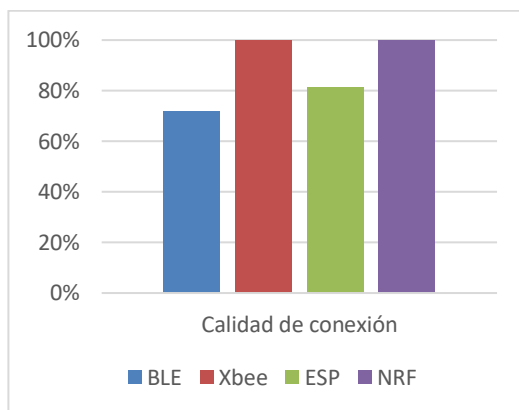
	DISTANCIA(m)	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	25	68%	72%	0,01	1,61
XBEE	230	100%	100%	0,14	0,06
ESP	180	80%	81.25%	0.05	0,02
NRF	230	100%	100%	0,10	0,08

Tabla 23: Resultados dentro de edificio mismo espacio pruebas de control.

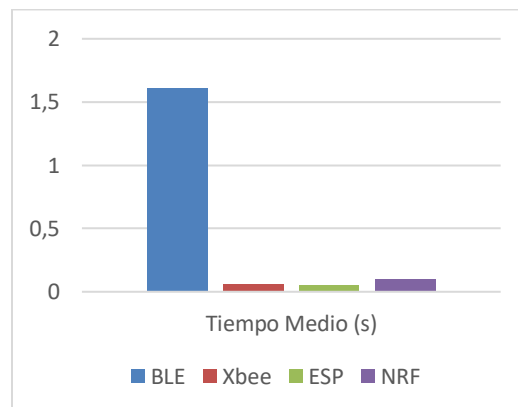
- Gráficas:



Gráficas 15-16: Prueba de control dentro de Edificio Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 17-18: Prueba de control dentro de Edificio Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 19: Prueba de control dentro de Edificio Tiempo Medio.

- **Escenario:** Dentro de un edificio tras suelos (UPV – Entre diferentes pisos).
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos haciendo pruebas desde el piso 0 hasta el piso 8, de manera que los dispositivos emisores se situaban en un punto X del piso 0 y a medida que ascendíamos un piso se iba al mismo punto en el piso correspondiente para realizar la prueba. De esta

manera probamos la capacidad de establecer conexiones y transmitir a través de los suelos del edificio.

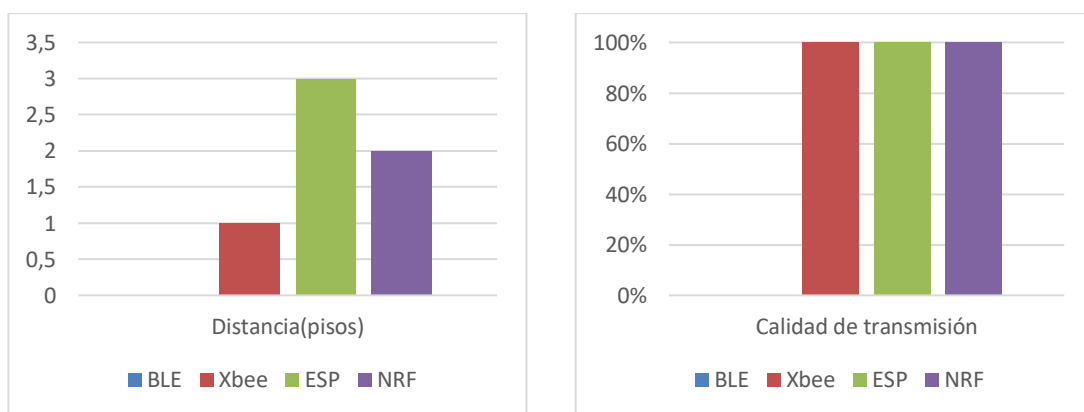
- Comentarios: La tecnología Bluetooth no fue capaz de transmitir ni con un piso de diferencia por lo que nos aporta poco en este escenario. No nos dio ningún resultado a pesar de que el transmisor emitía perfectamente la señal ya que cuando bajábamos las escaleras nos empezaban a llegar los paquetes de información. Teniendo en cuenta los criterios para realizar esta prueba, teniendo que ir al mismo punto del piso siguiente a donde estaba el transmisor podemos decir que no nos han dado ningún resultado. Entre las tecnologías sí que nos han dado resultados tenemos el Wi-fi que fue capaz de transmitir hasta con 4 pisos de diferencia, la tecnología RF que retransmitió a 2 pisos de diferencia y el ZigBee que solo llegó a transmitir a 1 piso de diferencia. Éste último nos sorprendió, dados los altos rango de distancia que nos ofrecía en campo abierto, ya que esperábamos bastantes mejores resultados.

- Tabla de datos:

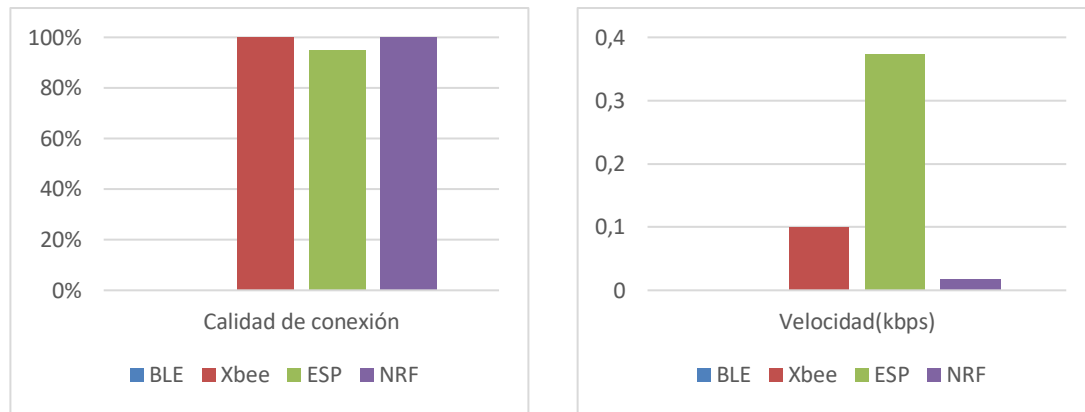
	DISTANCIA(pisos-m)	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	0-0	0%	0%	0,0	0,0
XBEE	2-6	100%	100%	0,1	0,08
ESP	3-9	100%	95%	0,37	0,5845
NRF	2-6	100%	100%	0,02	0,44

Tabla 24: Resultados dentro de edificio tras suelo pruebas de control.

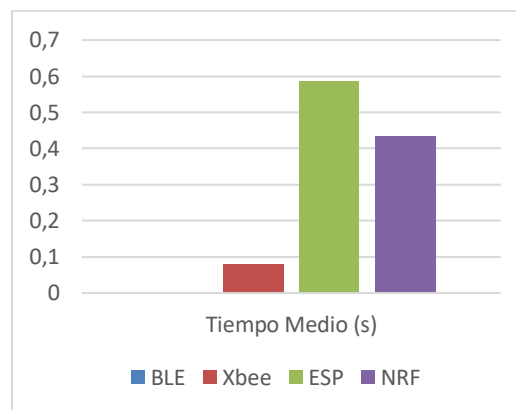
- Graficas:



Gráficas 20-21: Prueba de control entre diferentes pisos Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 22-23: Prueba de control entre diferentes pisos Calidad de conexión y Velocidad.



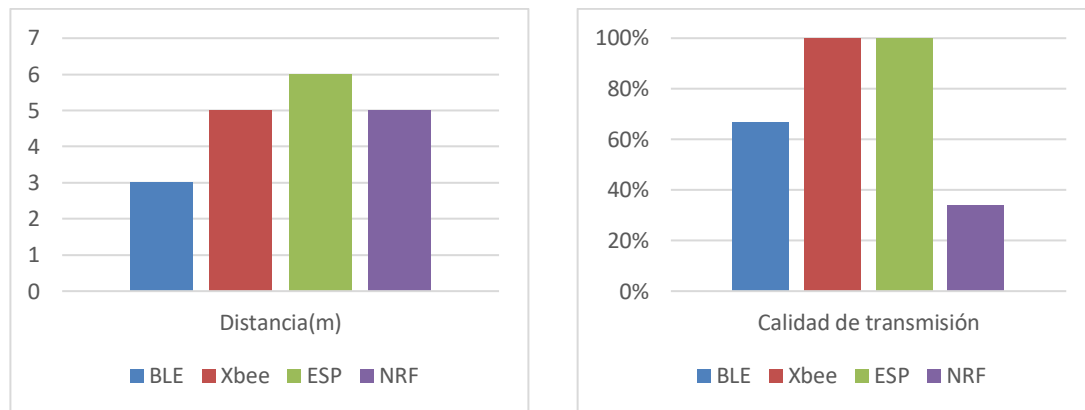
Gráfica 24: Prueba de control entre diferentes pisos Tiempo Medio.

- **Escenario:** Tras pared de pladur (UPV – aulas y pasillos)
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos realizando las pruebas entre una de las aulas y otra de manera que en la mitad tenemos una pared de separación.
 - Comentarios: Una vez más destacamos el Bluetooth por resultar la tecnología que más trabas nos pone para realizar las pruebas. En esta ocasión es por el gran número de desconexiones y reconexiones que tuvimos que realizar. (Estas últimas siempre retrocediendo hasta casi la misma estancia para conectar). En cuanto a la tecnología RF destacamos el bajo porcentaje de calidad ya que se perdían por el camino más de un 60% de los datos enviados. Respecto a ZigBee resaltar que nos dio unos resultados excelentes sin ninguna pérdida de información. La tecnología Wi-fi es la que más ha rendido con diferencia a pesar de sufrir una desconexión por el camino.
 - Tabla de datos:

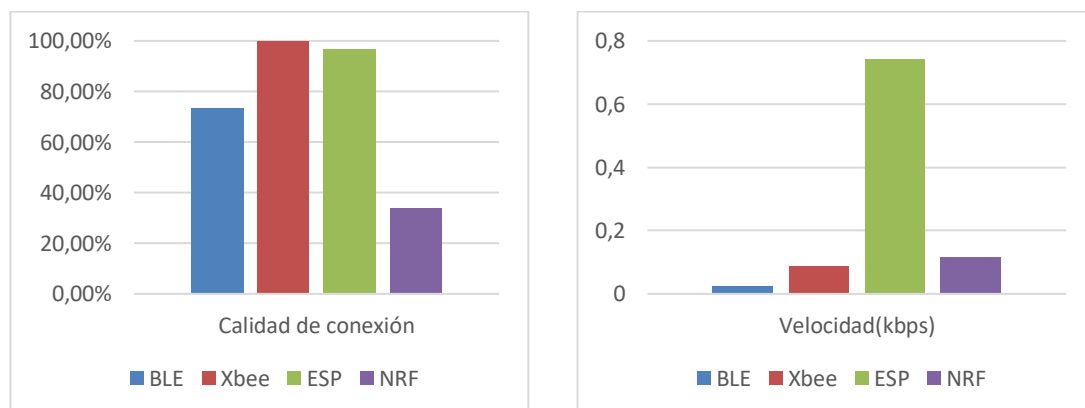
	DISTANCIA (pared-m)	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	2-15	66,66%	73,33%	0,02	1,99
XBEE	5-35	100%	100%	0,09	0,09
ESP	6-45	100%	96,67%	0,74	0,02
NRF	5-35	34%	34%	0,11	0,07

Tabla 25: Resultados tras pared de pladur pruebas de control.

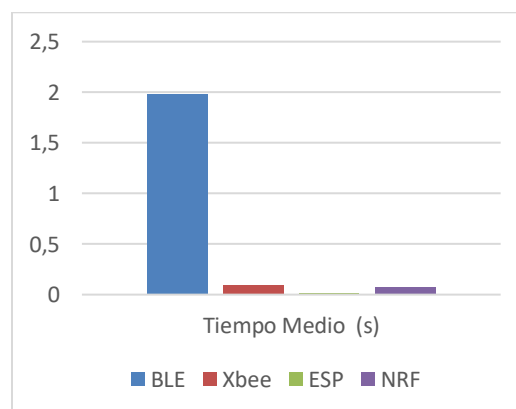
○ Gráficas:



Gráficas 25-26: Prueba de control tras pared de pladur Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 27-28: Prueba de control tras pared de pladur Calidad de conexión y Velocidad.



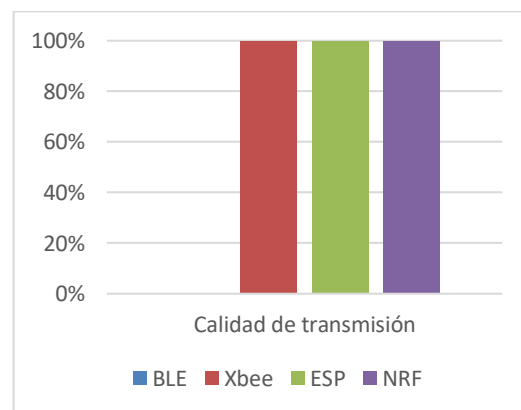
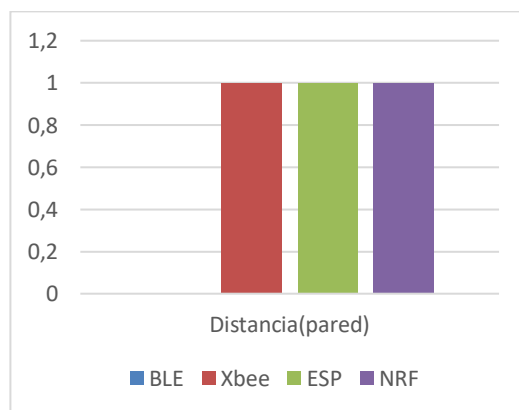
Gráfica 29: Prueba de control tras pared de pladur Tiempo medio.

- **Escenario:** Tras pared de bloque
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en los laboratorios que se encuentran pegados al departamento de matemáticas de la escuela de ingeniería de San Mamés y en una casa de pueblo donde encontramos una pared de bloque de hormigón similar.
 - Comentarios: La tecnología Bluetooth no ha sido capaz de establecer conexión a través de la pared de bloques de hormigón por lo que no nos aporta nada en este escenario. En cuanto al resto todas han conseguido transmitir y con muy buenos porcentajes la prueba de control. Siendo la tecnología Wi-fi la que transmite como viene haciendo, y como se ve en sus especificaciones, con mayor velocidad. En cuanto a las dos tecnologías que restan, han obtenido medidas parecidas aunque la RF tarda algo más en cuanto a la transmisión.
 - Tabla de datos:

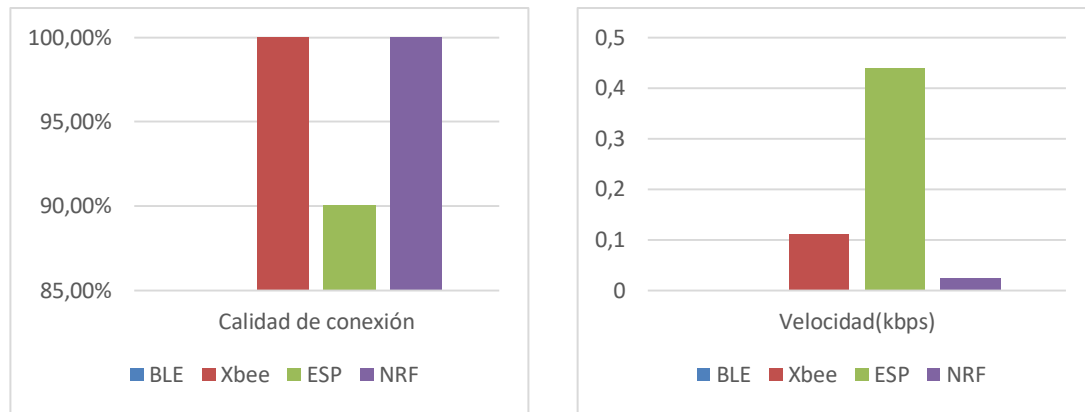
	DISTANCIA (Pared)	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	0	0%	0%	0.0	0
XBEE	1	100%	100%	0,11	0,07
ESP	1	100%	90%	0,44	0,03
NRF	1	100%	100%	0,02	0,35

Tabla 26: Resultados tras pared de bloque pruebas de control.

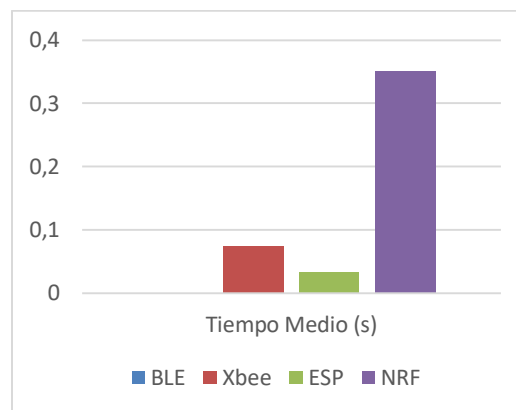
- Gráficas:



Gráficas 30-31: Prueba de control tras pared de bloque Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 32-33: Prueba de control tras pared de bloque Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 34: Prueba de control tras pared de bloque Tiempo medio.

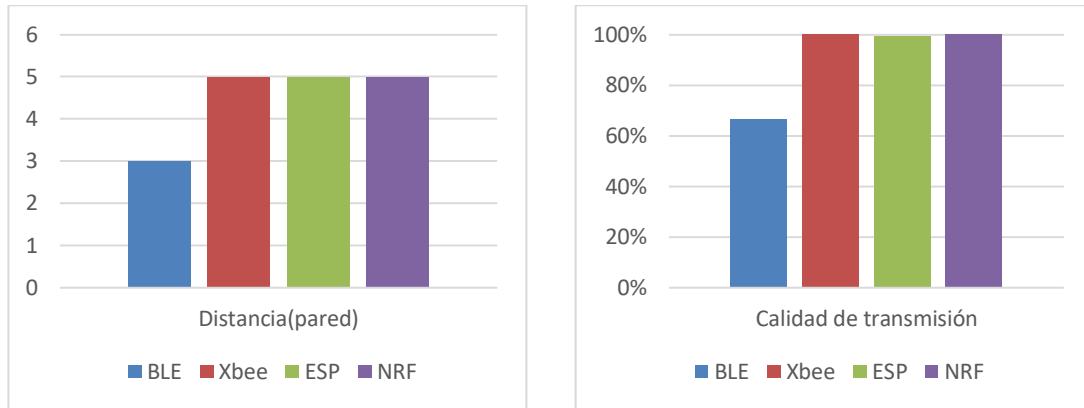
- **Escenario:** Tras pared de ladrillo (Casa)

- Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en una casa de pueblo cuyas paredes están hechas de ladrillo con un cobertura fina de cemento.
- Comentarios: La tecnología Bluetooth a partir de la tercera pared era incapaz de establecer conexión, en cambio las demás han dado soporte a toda la vivienda (5 paredes de ladrillo) sin apenas problemas. Las tecnologías ZigBee y RF han conseguido transmitir todos sus mensajes de manera correcta mientras que la Wi-fi ha tenido algún problema con una conexión puntual. Por lo demás vemos que esta última sigue siendo la que mejor rendimiento nos da en lo que se refiere a velocidad y tiempo.
- Tabla de datos:

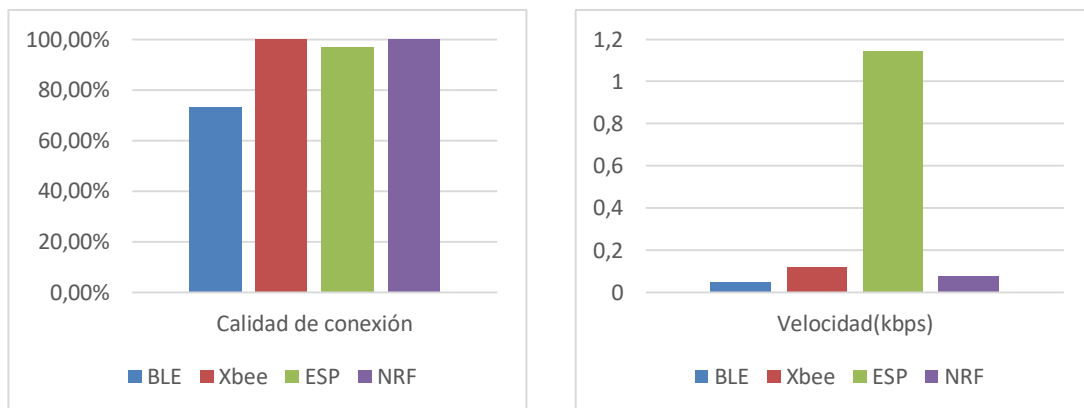
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	3	67%	73,33%	0,05	1,67
XBEE	5	100%	100%	0,12	0,07
ESP	5	99,33%	96,77%	1,14	0,01
NRF	5	100%	100%	0,07	0,107

Tabla 27: Resultados tras pared de ladrillo pruebas de control.

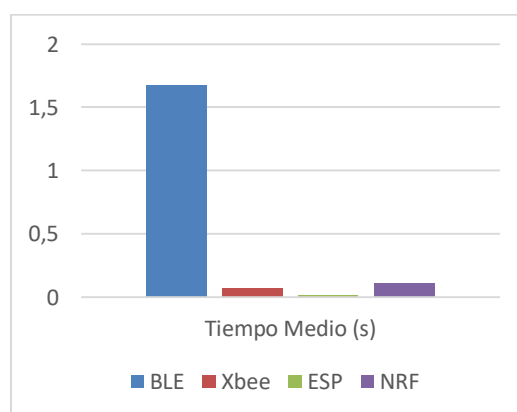
○ Gráficas:



Gráficas 35-36: Prueba de control tras pared de ladrillo Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 37-38: Prueba de control tras pared de ladrillo Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 39: Prueba control tras pared de ladrillo Tiempo medio.

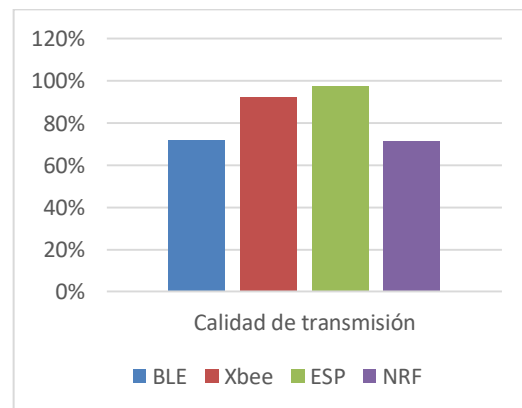
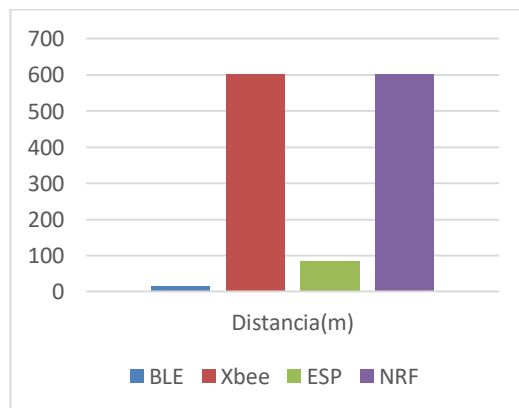
- **Escenario:** Tras ventana de cristal (Casa)

- Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en una casa de pueblo, más concretamente se hicieron las pruebas a través de una ventana simple de cristal desde dentro de la estancia hacia afuera.
- Comentarios: Encontramos amplias diferencias entre los resultados. Por una parte tenemos el Bluetooth con una distancia relativamente pequeña de 15 metros aproximadamente y con porcentajes bajos en comparación con el resto. Aumentando un poco la distancia encontramos el Wi-fi con muy buenos resultados en cuanto a calidad pero a partir de 85 metros no alcanzaba a conectar la señal. Finalmente por el otro lado tenemos las tecnologías ZigBee y RF que han transmitido en un gran rango de hasta 600 metros sin aparentes problemas. Los únicos inconvenientes han sido algunas perdidas de paquetes por el camino.
- Tabla de datos:

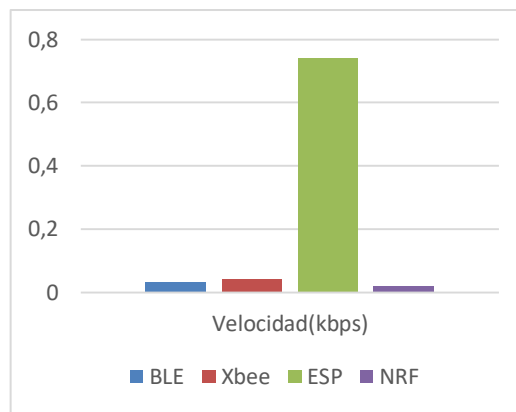
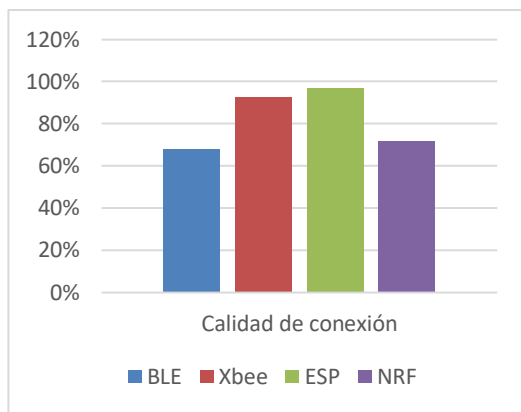
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	15	72%	68%	0,03	1,78
XBEE	600	92,33%	92,33%	0,04	0,2
ESP	85	97,55%	96,67%	0,74	0,07
NRF	600	71,42%	71,42%	0,02	0,51

Tabla 28: Resultados tras ventana de cristal pruebas de control.

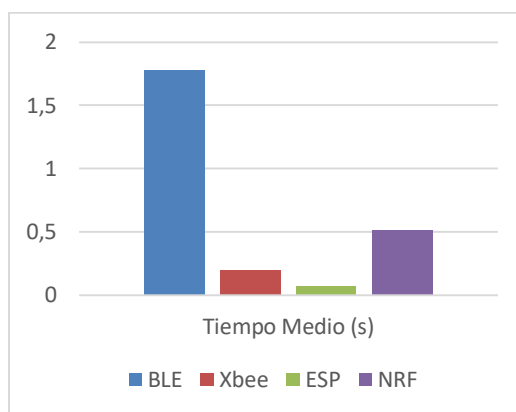
- Gráficas:



Gráficas 40-41: Prueba de control tras cristal Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 42-43: Prueba de control tras cristal Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 44: Prueba de control tras cristal Tiempo medio.

10.2 Pruebas texto corto

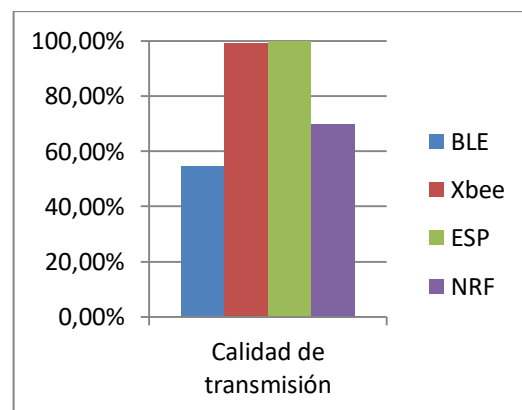
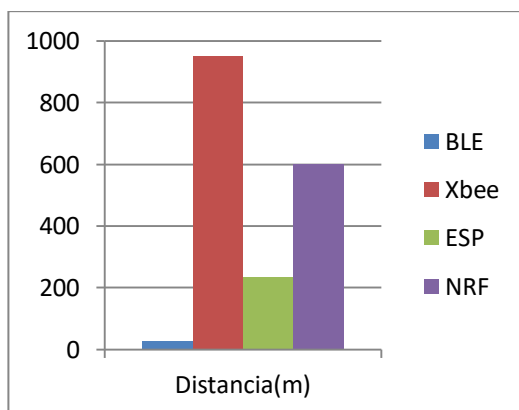
Destacamos que tras realizar las pruebas de control los resultados obtenidos en estas pruebas son bastante parecidos en tecnologías como el Wi-fi y ZigBee, sin embargo en la tecnología Bluetooth ha habido bastantes cambios en cuanto a la calidad de la transmisión y un aumento destacable de las pérdidas de conexión inesperadas incluso a poca distancia.

- **Escenario:** Campo abierto fuera de ciudad.
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en el parque de Kobetas lejos de interferencias que puedan alterar la transmisión.
 - Comentarios: El dispositivo Bluetooth se ha visto bastante afectado por el tamaño de datos y es por ello que ha aumentado su tiempo de transmisión y se ha visto afectada su calidad reducida hasta un 54%. También ha sufrido bastantes desconexiones inesperadas como podemos ver en la disminución de la calidad de conexión en las gráficas. En cuanto al resto el dispositivo ZigBee ha marcado la diferencia en cuanto a distancia mientras que el Wi-fi ha destacado en velocidad y porcentajes de calidad. Por último la tecnología RF ha cumplido bastante bien las expectativas tanto de alcance como de calidad.
 - Tabla de datos:

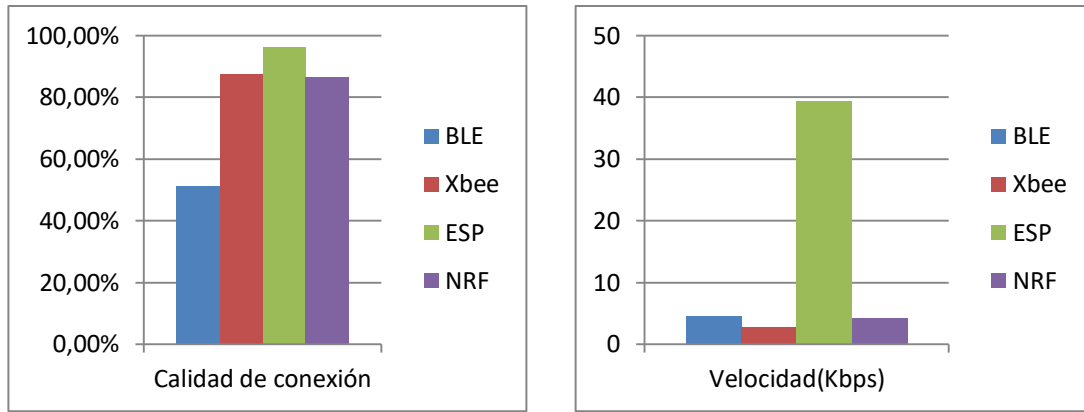
	DISTANCIA(m)	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	25	54,68%	51,11%	4,67	1,966
XBEE	950	99,04%	87,50%	2,83	1,948
ESP	235	100%	96,36%	39,45	0,140
NRF	600	70%	86,66%	4,34	1.27

Tabla 29: Resultados campo abierto fuera de ciudad pruebas de texto corto.

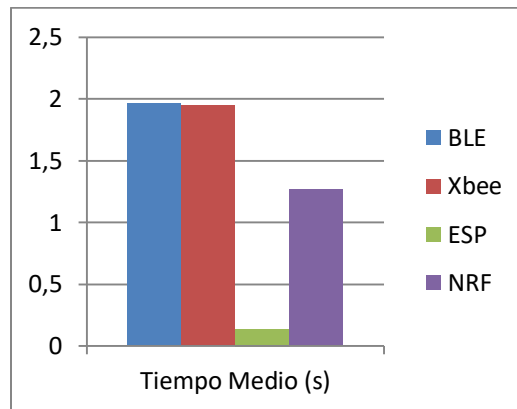
- Gráficas:



Gráficas 45-46: Texto corto campo abierto fuera de ciudad Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 47-48: Texto corto campo abierto fuera de ciudad Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 49: Texto corto campo abierto fuera de ciudad Tiempo medio.

- **Escenario:** Campo abierto dentro de ciudad.

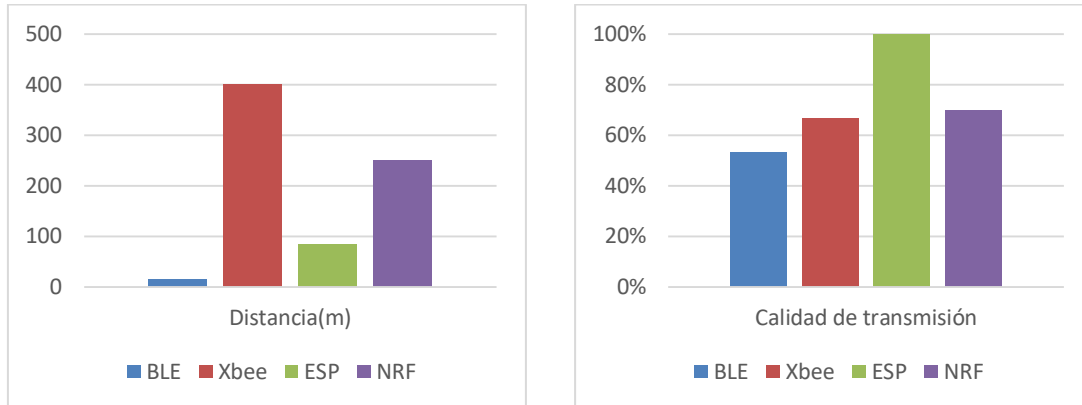
- Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en el parque de Kobetas lejos de interferencias que puedan alterar la transmisión.
- Comentarios: contrastando los datos con los obtenidos en las pruebas de control es interesante destacar como la tecnología Bluetooth se ve afectada por el aumento de volumen de datos. El RF en diferencia ha conseguido aumentar su porcentaje debido a la mayor cantidad de paquetes aunque sigue perdiendo bastantes. La tecnología ZigBee ha alcanzado menos distancia que en las pruebas de control pero sigue manteniendo esta diferencia notable con el resto. Por último el Wi-fi ha dado los mejores resultados en velocidad y a pesar de tener un ambiente saturado de redes no se ve muy afectado.
- Tabla de datos:

	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Mbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	15	53%	55,00%	4,06	2,56
XBEE	400	66,67%	83,33%	3,19	1,73

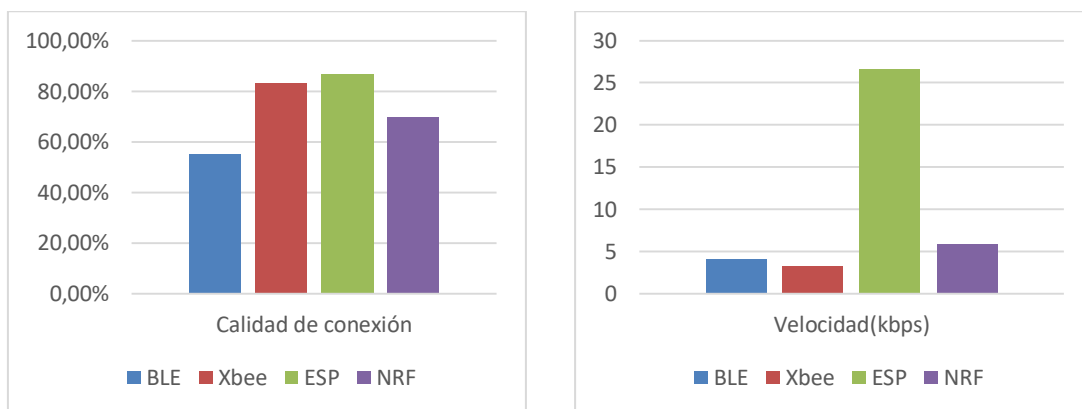
ESP	85	100%	86,67%	26,65	0,20
NRF	250	70%	70%	5,83	0,94

Tabla 30: Resultados campo abierto dentro de ciudad pruebas de texto corto.

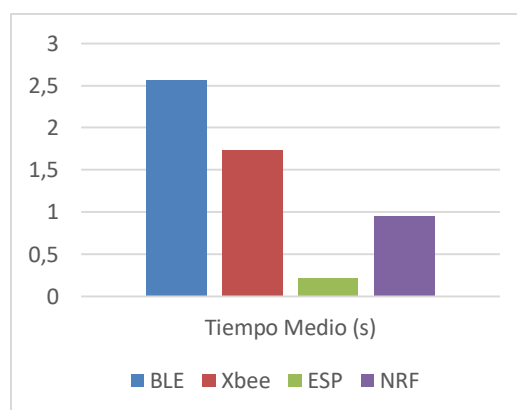
○ Gráficas:



Gráficas 50-51: Texto corto campo abierto dentro de ciudad Distancia y Calidad de transmisión.



Gráfica 52-53: Texto corto campo abierto dentro de ciudad Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 54: Texto corto campo abierto dentro de ciudad Tiempo medio.

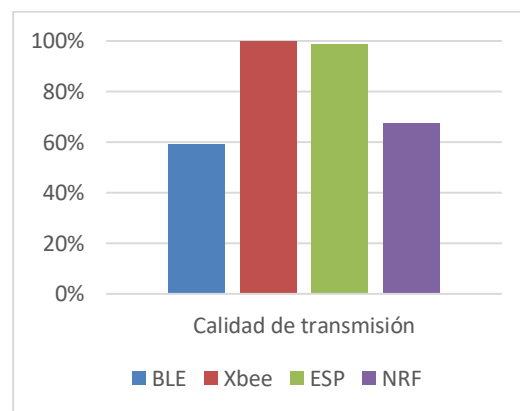
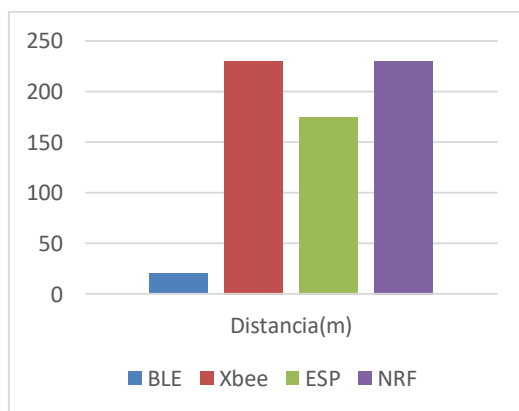
- **Escenario:** Dentro de un edificio (UPV – Pasillo primer piso)

- Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos en el pasillo del primer piso.
- Comentarios: la tecnología Bluetooth ha sufrido alguna que otra desconexión y recepción de mensajes parciales. Por otro lado las otras tres tecnologías han dado soporte perfectamente a la mayoría o totalidad de la planta destacando el Wi-fi por su velocidad de transmisión en comparación con las demás. La tecnología RF a pesar de los buenos resultados ha sufrido algunas pérdidas de información por el camino que hay que destacar.
- Tabla de datos:

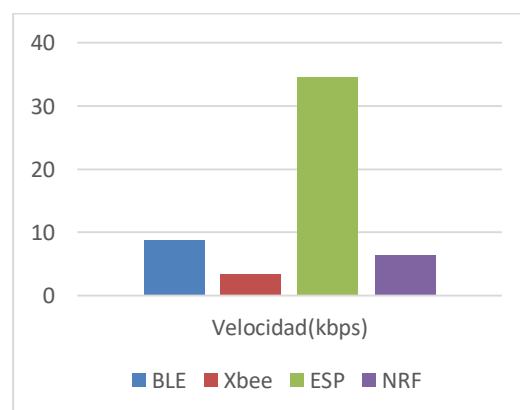
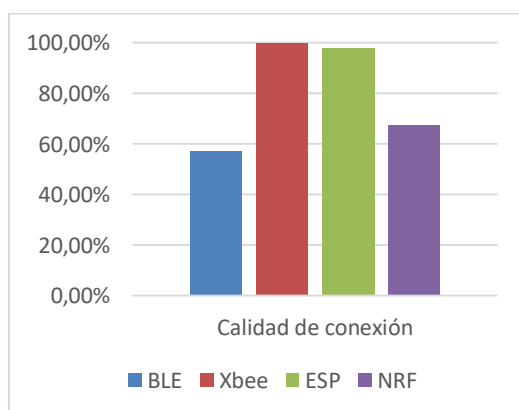
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	20	59,20%	57,14%	8,63	1,84
XBEE	230	100%	100%	3,33	1,66
ESP	175	99%	97,78%	34,45	0,34
NRF	230	67,49%	100%	6,42	0,86

Tabla 31: Resultados dentro de edificio mismo espacio pruebas de texto corto.

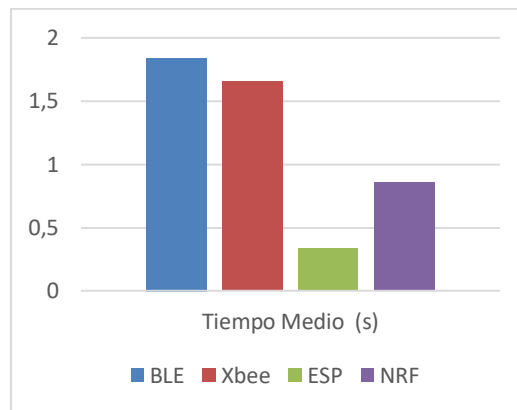
- Gráficas



Gráficas 55-56: Texto corto dentro de edificio mismo espacio Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 57-58: Texto corto dentro de edificio mismo espacio Calidad de conexión y Velocidad.



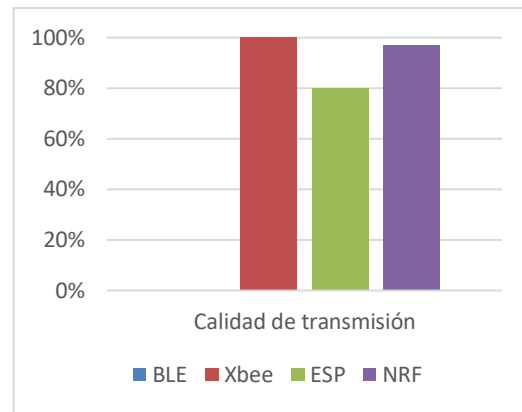
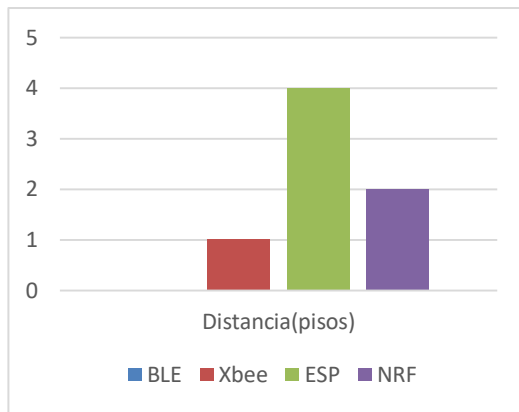
Gráfica 59: Texto corto dentro de edificio mismo espacio Tiempo medio.

- **Escenario:** Dentro de un edificio (UPV – Entre diferentes pisos)
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos haciendo pruebas desde el piso 0 hasta el piso 8, de manera que los dispositivos emisores se situaban en un punto X del piso 0 y a medida que ascendíamos un piso se iba al mismo punto en el piso correspondiente para realizar la prueba. De esta manera probamos la capacidad de establecer conexiones y transmitir a través de los suelos del edificio.
 - Comentarios: cómo podemos observar en las gráficas esta prueba ha afectado bastante a la tecnología ZigBee que tan solo conseguía transmitir a través de un piso de diferencia y ha eliminado por completo a la tecnología Bluetooth. A pesar de solo alcanzar un piso de diferencia, la comunicación entre los dispositivos XBee se ha realizado con un 100% de éxito. El Wi-fi ha destacado transmitiendo con 3 pisos de diferencia y el RF ha rendido bastante bien pese a las grandes pérdidas de información que se le han presentado en otras pruebas con obstáculos similares.
 - Tabla de datos:

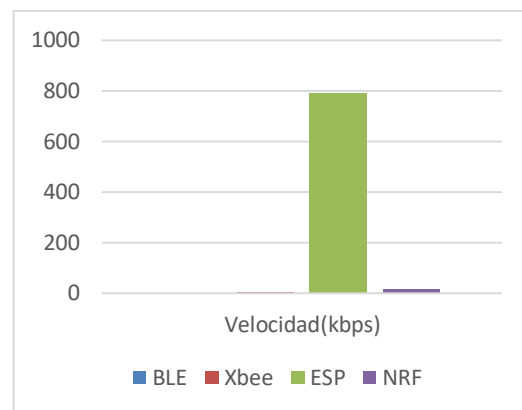
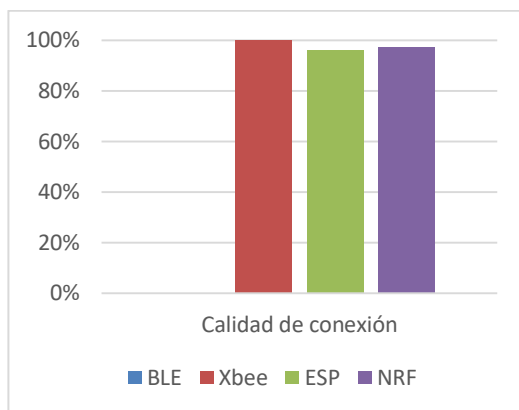
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	0	0%	0%	0	0
XBEE	1	100%	100%	0,97	5,68
ESP	3	80%	96%	787,42	0.05
NRF	2	97%	97%	12.33	0.44

Tabla 32: Resultados dentro de edificio tras suelo pruebas de texto corto.

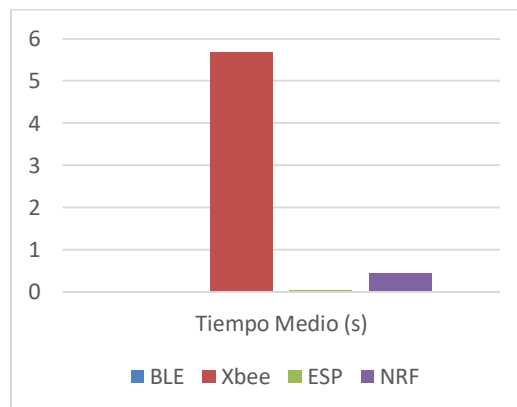
- Gráficas



Gráficas 60-61: Texto corto dentro de edificio tras suelo Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 62-63: Texto corto dentro de edificio tras suelo Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 64: Texto corto dentro de edificio tras suelo Tiempo medio.

- **Escenario:** Tras pared de pladur (UPV – aulas)
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos realizando las pruebas entre una de las aulas y otra de manera que en la mitad tenemos una pared de separación.
 - Comentarios: en cuanto a los resultados obtenidos en esta prueba podemos observar que el Wi-fi ha sido la tecnología que más paredes ha sobrepasado dando soporte a más amplitud de terreno

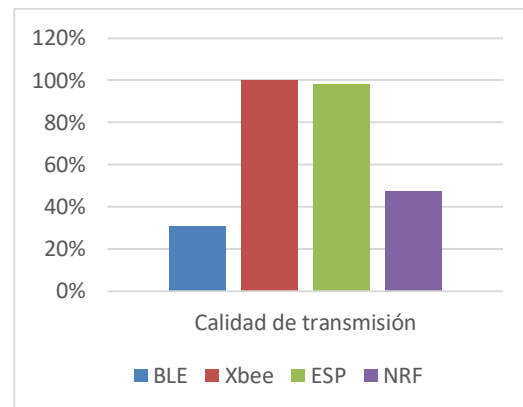
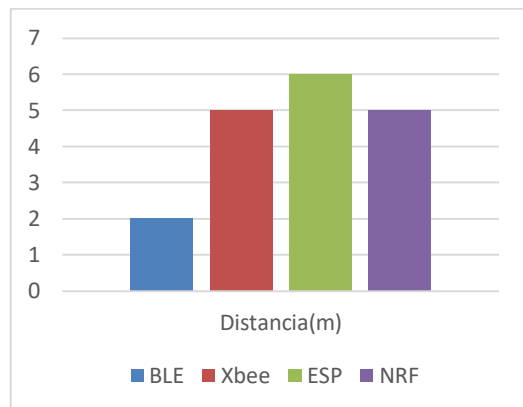
seguido de la tecnología ZigBee. También vemos la diferencia de velocidad entre el Wi-fi y el resto de tecnologías. Como preveíamos el Bluetooth se ha visto bastante afectado y solo ha alcanzado a transmitir a través de dos paredes. Por último comentamos que la tecnología RF ha logrado dar soporte a una gran cantidad de superficie a través de estas paredes pero con bastante menos calidad que el Wi-fi o el ZigBee.

- Tabla de datos:

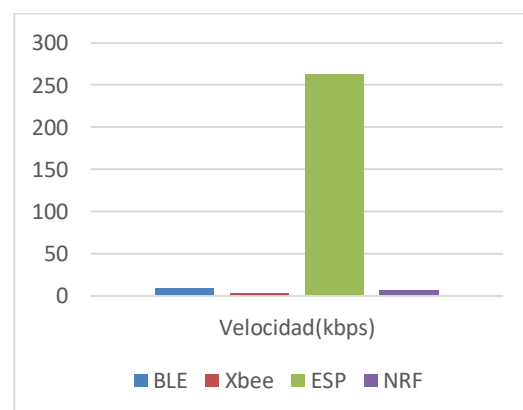
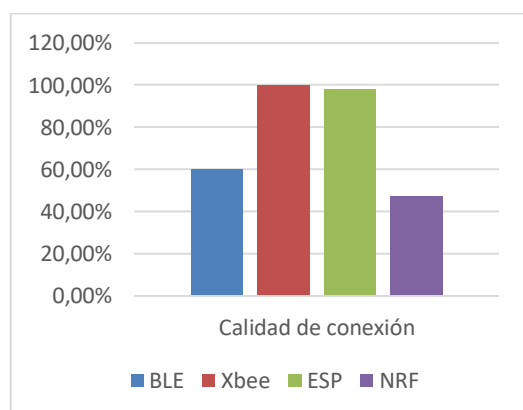
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	2	31%	60%	8,45	1,78
XBEE	5	100%	100%	3,23	1,7
ESP	6	98%	98%	262,5	0,03
NRF	5	47,50%	47,50%	6,15	0,99

Tabla 33: Resultados tras pared de pladur pruebas de texto corto.

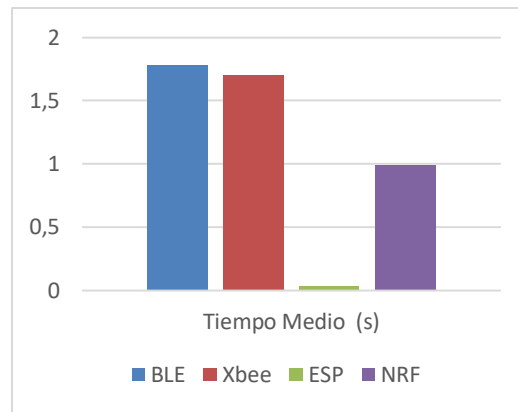
- Gráficas:



Gráficas 65-66: Texto corto tras pared de pladur Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 67-68: Texto corto tras pared de pladur Calidad de conexión y Velocidad.



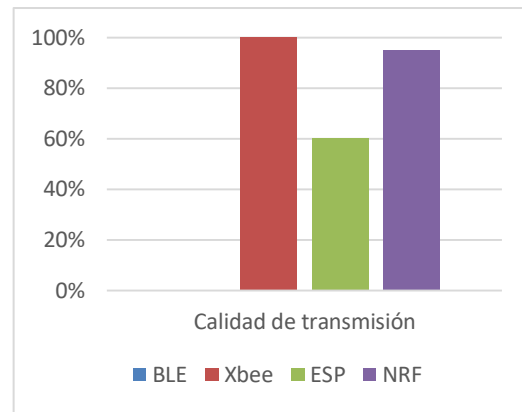
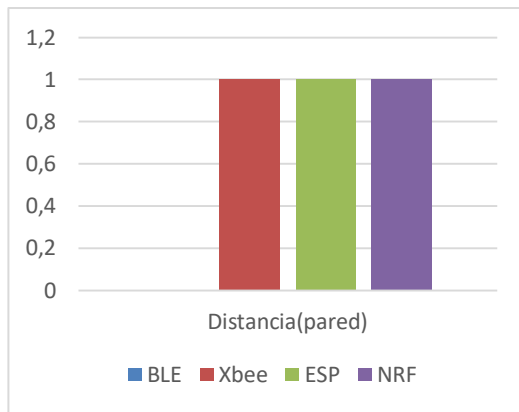
Gráfica 69: Texto corto tras pared de pladur Tiempo medio.

- **Escenario:** Tras pared de bloque (UPV laboratorio - Casa)
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en los laboratorios que se encuentran pegados al departamento de matemáticas de la escuela de ingeniería de San Mamés. Allí encontramos entre una estancia y otra una pared de bloque de hormigón.
 - Comentarios: Tras realizar las pruebas de control para Bluetooth y no obtener ningún resultado de conexión ni de envío, en estas pruebas tampoco obtuvimos conexión. Por lo cual afirmamos que tras una pared de bloque no existe comunicación. Respecto a las otras tecnologías se han mantenido parecidas en cuanto a las pruebas de control realizadas en el mismo escenario a excepción del Wi-fi que ha bajado notablemente su calidad pero ha aumentado su velocidad debido al aumento de volumen de datos.
 - Tabla de datos:

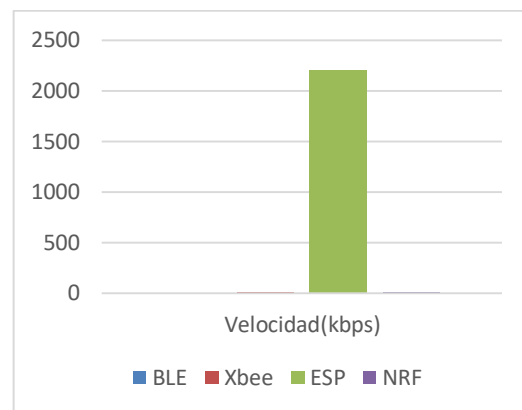
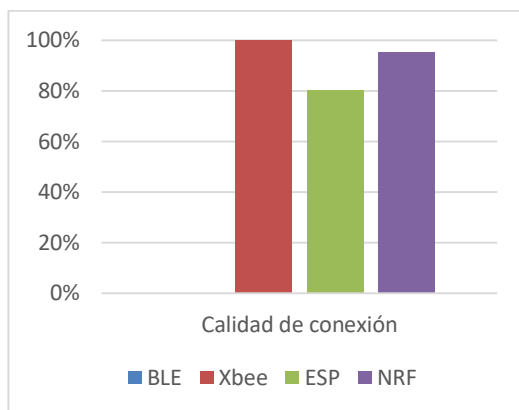
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(B/s)	TIEMPO MEDIO
BLE	0	0%	0%	0,0	0,0
XBEE	1	100%	100%	2,53	2,18
ESP	1	60%	80%	2204,8	0.003
NRF	1	95%	95%	5,65	0,98

Tabla 34: Resultados tras pared de bloque pruebas de texto corto.

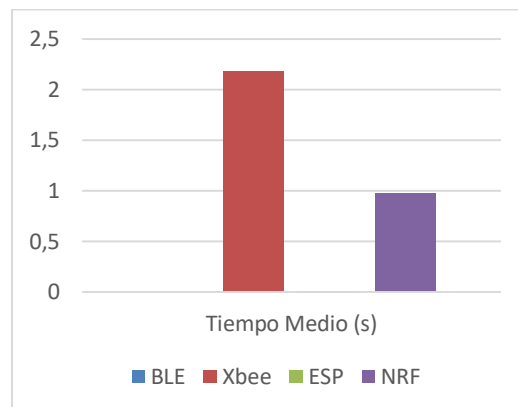
- Graficas:



Gráficas 70-71: Texto corto tras pared de bloque Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 72-73: Texto corto tras pared de bloque Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 74: Texto corto tras pared de bloque Tiempo medio.

- **Escenario:** Tras pared de ladrillo (Casa)
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en una casa de pueblo cuyas paredes están hechas de ladrillo con un cobertura fina de cemento.
 - Comentarios: Tanto la tecnología ZigBee como la Wi-fi y la RF han dado soporte a toda la vivienda en la que se han realizado las pruebas sin ningún problema aparente, destacando siempre el Wi-fi por la diferencia de velocidad. La tecnología Bluetooth,

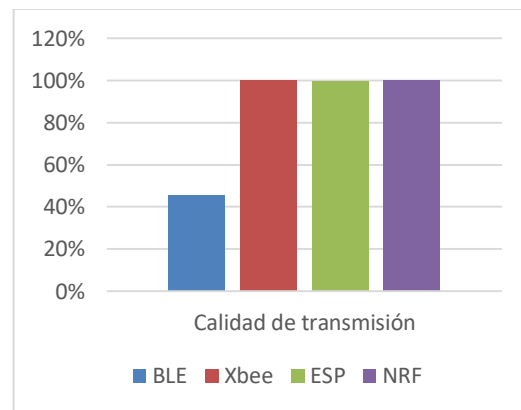
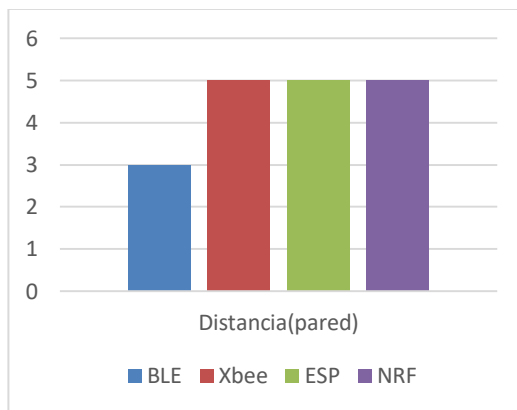
observando otros resultados, ha rendido bastante bien tras este tipo de obstáculos en la conexión.

- Tabla de datos:

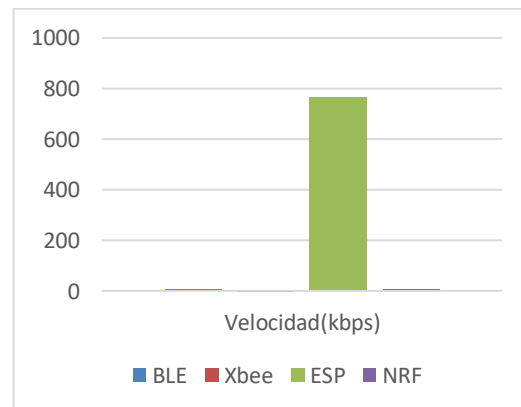
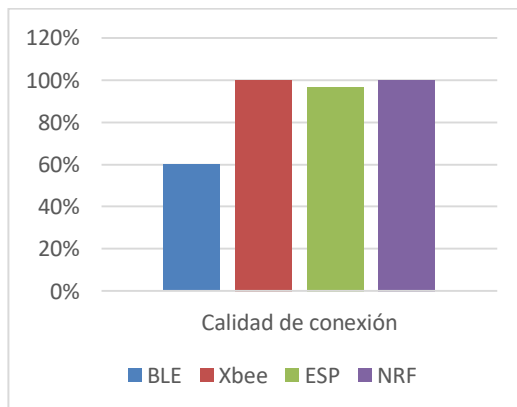
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	3	45,68%	60%	7,25	1,96
XBEE	5	100%	100%	3,2	1,72
ESP	5	99,35%	96,77%	765,55	0,01
NRF	5	100%	100%	6.41	0,86

Tabla 35: Resultados tras pared de ladrillo pruebas de texto corto.

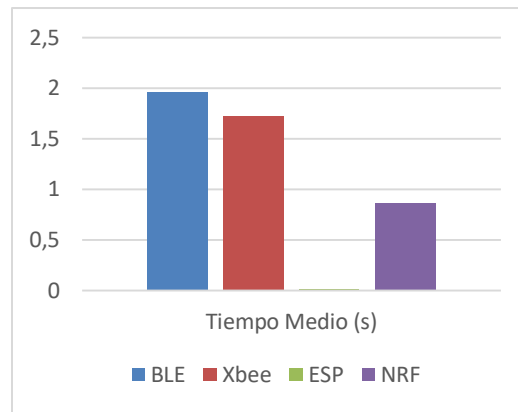
- Gráficas:



Gráficas 75-56: Texto corto tras pared de ladrillo Distancia y Calidad de transmisión



Gráficas 77-78: Texto corto tras pared de ladrillo Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 79: Texto corto tras pared de ladrillo Tiempo medio.

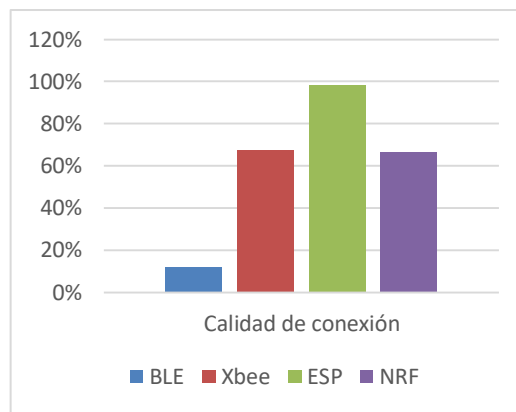
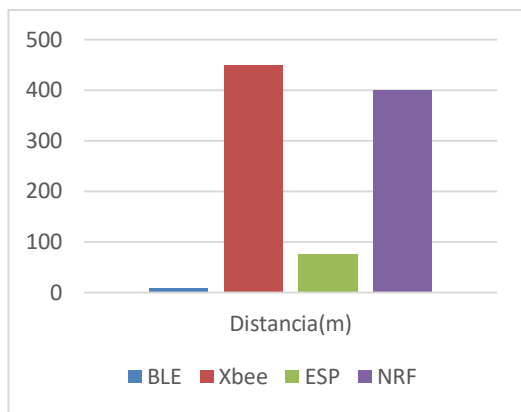
- **Escenario:** Tras ventana de cristal (Casa)

- Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en una casa de pueblo, más concretamente se hicieron las pruebas a través de una ventana simple de cristal desde dentro de la estancia hacia afuera.
- Comentarios: En cuanto a la distancia destacamos las tecnologías ZigBee y RF, dado que son las que más alcance tienen desde la teoría, resaltan en este campo en la mayoría de pruebas. Además vemos que los resultados son bastante similares en ambas. Por otro lado la tecnología Bluetooth no nos ha proporcionado muy buenos resultados para las expectativas teóricas que teníamos. El Wi-fi ha rendido bastante bien como en la mayoría de pruebas que implican cualquier tipo de obstáculo.
- Tabla de datos:

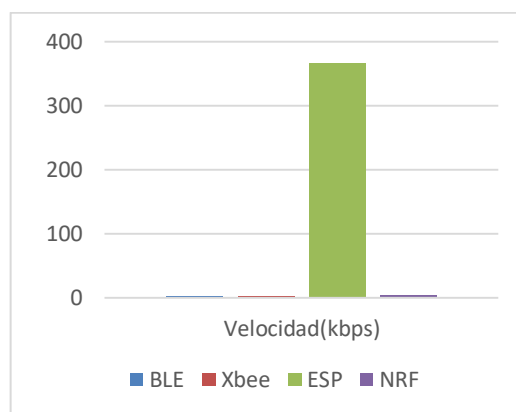
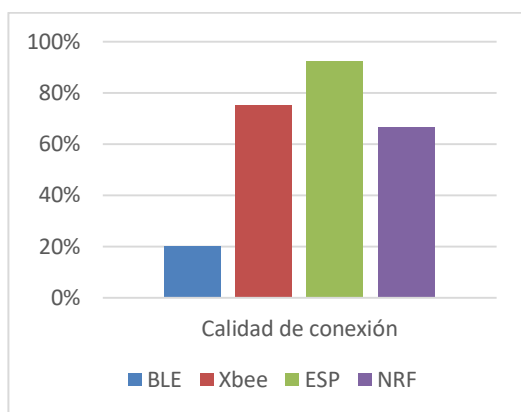
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(B/s)	TIEMPO MEDIO
BLE	12,5	12%	20%	1,84	4,22
XBEE	450	67,31%	75%	2,23	2,47
ESP	75	98,50%	92,50%	367,47	0,45
NRF	400	66,67%	66,67%	4,711	1,17

Tabla 36: Resultados tras ventana de cristal pruebas de texto corto.

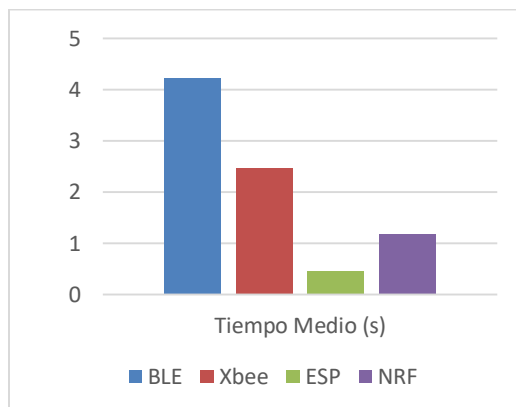
- Gráficas:



Gráficas 80-81: Texto corto tras ventana de cristal Distancia y Calidad de transmisión



Gráficas 82-83: Texto corto tras ventana de cristal Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 84: Texto corto tras ventana de cristal Tiempo medio.

10.3 Pruebas texto largo

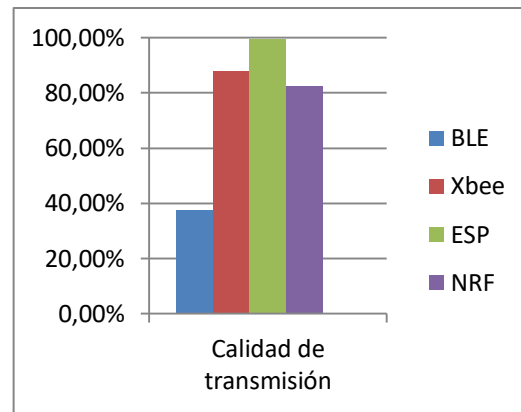
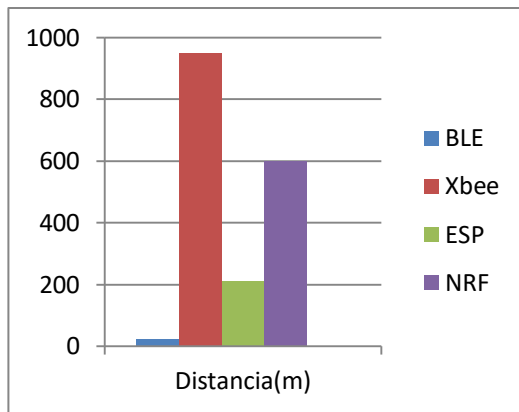
Los resultados obtenidos en las pruebas de texto corto de los dispositivos estarán expuestos en diferentes gráficas. Destacamos que tras realizar las pruebas de texto corto los resultados obtenidos en estas pruebas son bastante parecidos en tecnologías como el Wi-fi y ZigBee pero bastante pésimos en cuanto a la Bluetooth.

- **Escenario:** Campo abierto fuera de ciudad.
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en el parque de Kobetas lejos de interferencias que puedan alterar la transmisión.
 - Comentarios: la tecnología Bluetooth ha experimentado numerosos problemas debidos al aumento considerable de volumen. Respecto al Wi-fi los resultados obtenidos son buenos al igual que en la prueba de texto corto y podemos decir que la cantidad de datos no ha afectado mucho ni a la calidad de conexión ni a la de transmisión. Además de esto vemos la velocidad aumentada considerablemente y marcando la diferencia con el resto de tecnologías. La tecnología ZigBee ha conseguido muy buenos porcentajes a una gran distancia en comparación con el resto. Y por último el RF ha conseguido una buena distancia y la segunda mejor velocidad pero dista mucho de la que obtuvo la tecnología Wi-fi.
 - Tabla de datos:

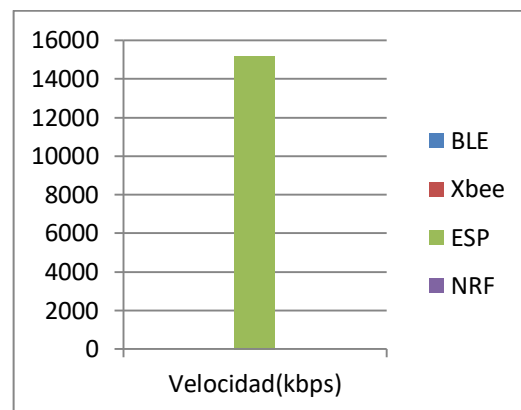
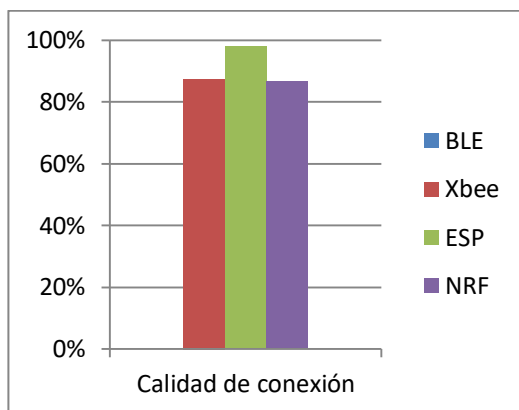
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	25	37%	25%	4,74	6,63
XBEE	950	87,50%	87,50%	3,58	7,62
ESP	210	99,31%	97,93%	15182,05	0,05
NRF	600	82,27%	86,67%	6,31	4,33

Tabla 37: Resultados campo abierto fuera de ciudad pruebas de texto largo.

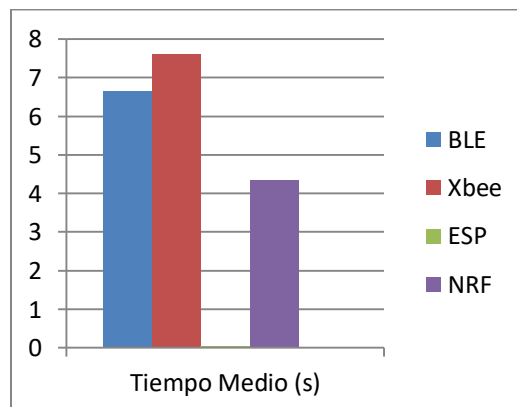
- Gráficas:



Gráficas 85-86: Texto largo campo abierto fuera de ciudad Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 87-88: Texto largo campo abierto fuera de ciudad Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 89: Texto largo campo abierto fuera de ciudad Tiempo medio.

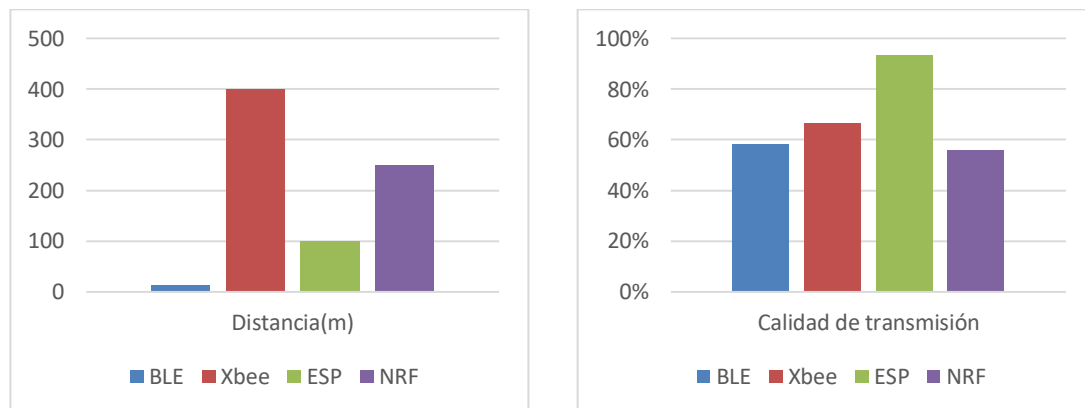
- **Escenario:** Campo abierto dentro de ciudad.
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la explanada fuera de la universidad que se sitúa entre esta y el estadio de San Mamés. Al contrario que las pruebas realizadas fuera de ciudad, el espacio de transmisión se encontraba concurrido debido a la gran cantidad de señales Wi-Fi y dispositivos que se encuentran en las inmediaciones.

- Comentarios: en cuanto a los resultados obtenidos como estamos viendo en la mayoría de resultados el Wi-fi destaca por su alta velocidad de transmisión en comparación con el resto. La tecnología ZigBee destaca en este campo por ser la que más distancia ha logrado y la que más calidad de transmisión nos aporta. En cuanto al RF a 250 metros ha experimentado una gran pérdida de paquetes de ahí sus bajos porcentajes en cuanto a calidad. Por último la tecnología Bluetooth ha conseguido transmitir un texto largo completo entre todas las pruebas que hemos realizado, que es algo que hemos visto complicado para el volumen de datos que transmite. Sin embargo a los 12,5 metros ha experimentado muchas pérdidas de conexión en los envíos. Estas pruebas se han visto llenas de envíos parciales.
- Tabla de datos:

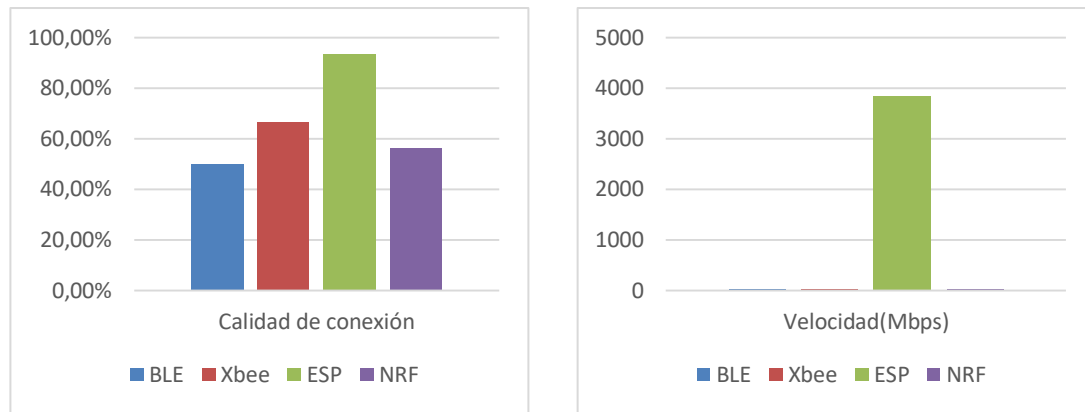
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	12,5	58,28%	50%	7,54	5,08
XBEE	400	66,67%	66,67%	3,13	8,73
ESP	100	93%	93,33%	3831,02	0,01
NRF	250	55,89%	55,89%	7,54	5,07

Tabla 38: Resultados campo abierto dentro de ciudad pruebas de texto largo.

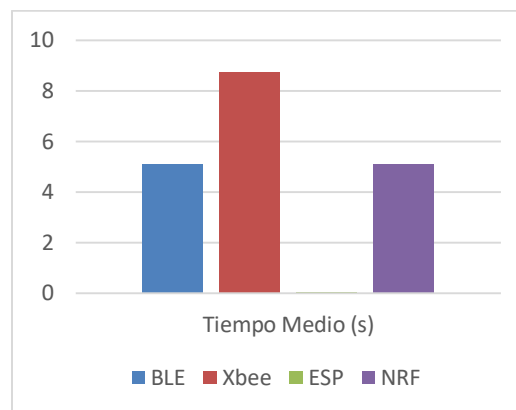
- Gráficas:



Gráficas 90-91: Texto largo campo abierto dentro de ciudad Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 92-93: Texto largo campo abierto dentro de ciudad Calidad de conexión y Velocidad.



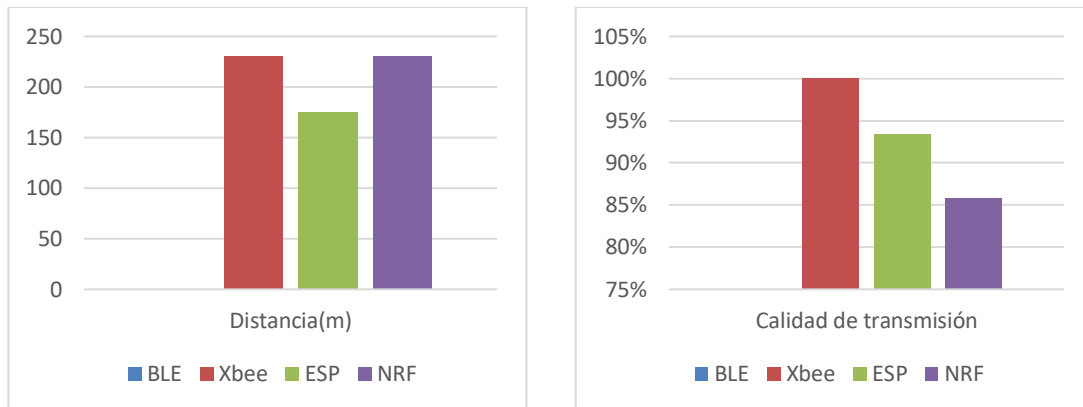
Gráfica 94: Texto largo campo abierto dentro de ciudad Tiempo medio.

- **Escenario:** Dentro de un edificio (UPV – Pasillo primer piso).
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos en el pasillo del primer piso.
 - Comentarios: la tecnología Bluetooth ha sufrido bastantes pérdidas de conexión e información. Solo ha sido capaz de transmitir un texto entero correcto y por ello hemos tenido estos resultados. La tecnología Wi-fi ha obtenido unos muy buenos resultados en velocidad a pesar de la carga de redes en el ambiente. Al igual que esta ultima las tecnologías ZigBee y RF han rendido bastante bien aunque distan mucho de la velocidad alcanzada por el Wi-fi.
 - Tabla de datos:

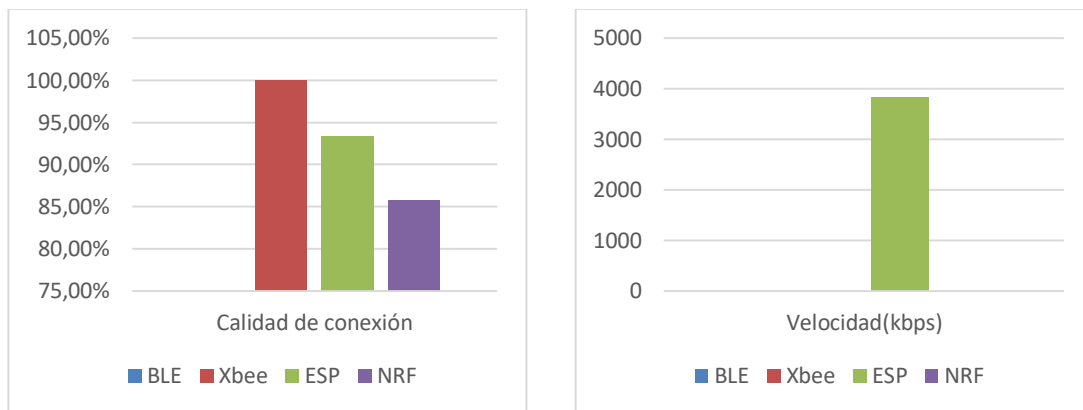
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	15	35,90%	20%	7,44	5,22
XBEE	230	100,00%	100,00%	4,1	6,67
ESP	175	93%	93,33%	3831,02	0,01
NRF	230	85,71%	85,71%	6,99	3,91

Tabla 39: Resultados dentro de edificio mismo espacio pruebas de texto largo.

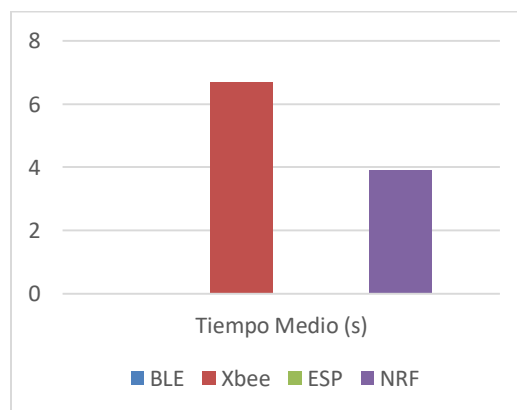
○ Gráficas:



Gráficas 95-96: Texto largo dentro de edificio mismo espacio Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 97-98: Texto largo dentro de edificio mismo espacio Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 99: Texto largo dentro de edificio mismo espacio Calidad de conexión y Velocidad

- **Escenario:** Dentro de un edificio tras suelos (UPV – Entre diferentes pisos).
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos haciendo pruebas desde el piso 0 hasta el piso 8, de

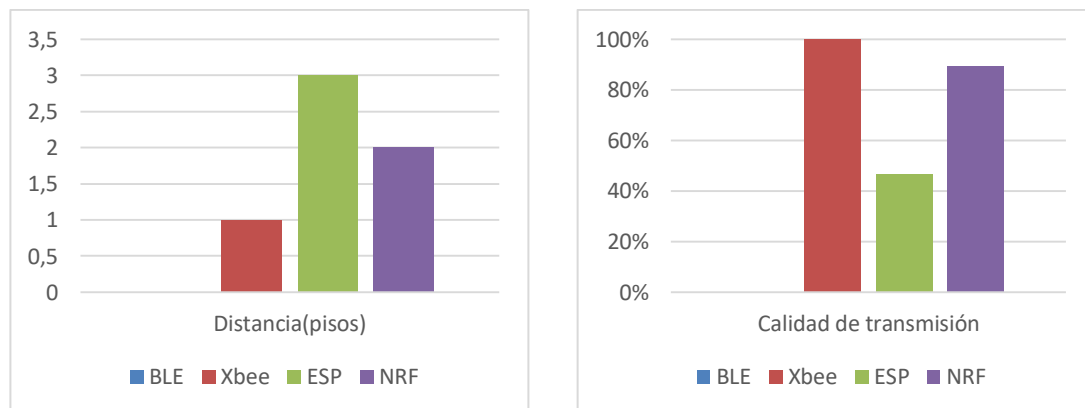
manera que los dispositivos emisores se situaban en un punto X del piso 0 y a medida que ascendíamos un piso se iba al mismo punto en el piso correspondiente para realizar la prueba. De esta manera probamos la capacidad de establecer conexiones y transmitir a través de los suelos del edificio.

- Comentarios: como en las anteriores pruebas de control y texto corto, la tecnología Bluetooth no ha conseguido establecer conexión por lo cual no se ve reflejada en estas pruebas. Respecto a las demás si han conseguido transmitir. La tecnología ZigBee solo ha sido capaz de transmitir a través de un piso de diferencia pero lo ha hecho con total calidad. El Wi-fi vemos como ha reducido su calidad de transmisión pero sigue marcando la diferencia en cuanto a velocidad aunque ha sufrido unas cuantas desconexiones en las pruebas. El RF a pesar de la pérdida de paquetes, en el rango de dos pisos de diferencia ha obtenido bastantes buenos resultados como vemos en las gráficas.
- Tabla de datos:

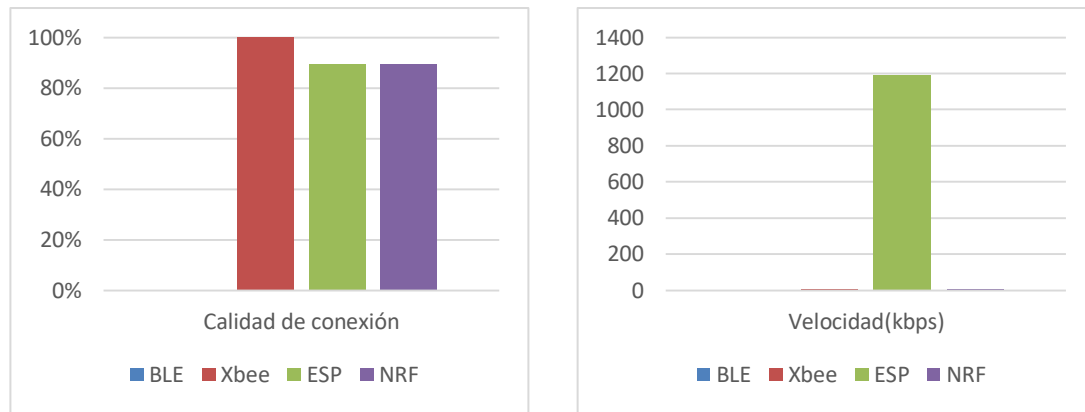
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	0	0%	0%	0	0
XBEE	1	100%	100%	4,02	6,8
ESP	3	46,66%	89,33%	1187,7	0,04
NRF	2	89,29%	89,29%	6,53	4,18

Tabla 40: Resultados dentro de edificio tras suelo pruebas de texto largo.

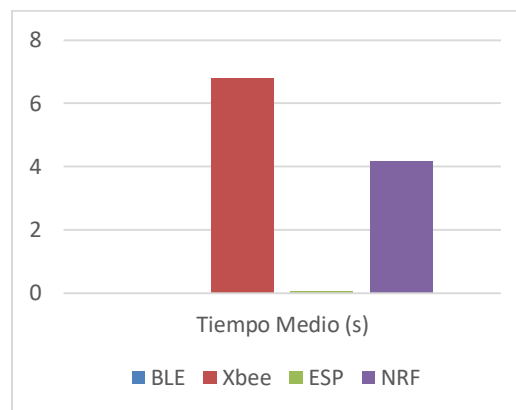
- Gráficas:



Gráficas 100-101: Texto largo dentro de edificio tras suelo Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 102-103: Texto largo dentro de edificio tras suelo Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 104: Texto largo dentro de edificio tras suelo Tiempo medio.

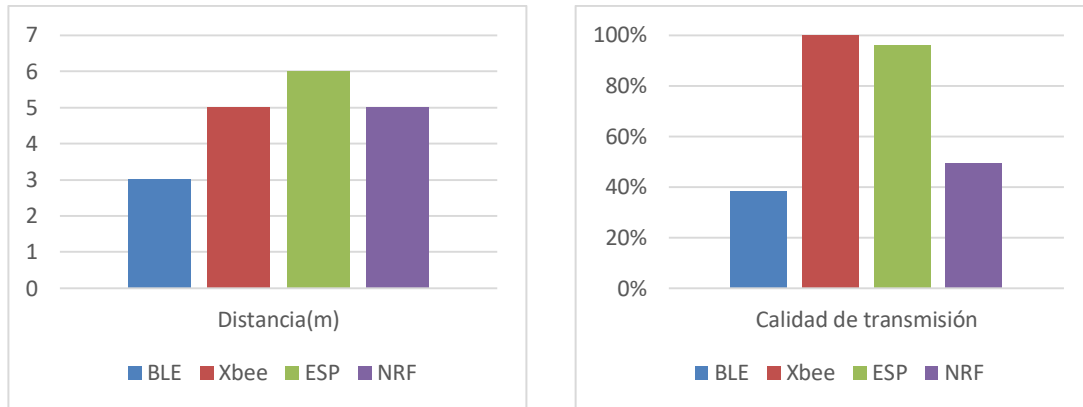
- **Escenario:** Tras pared de pladur (UPV – aulas)
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en la escuela de ingenieros de la UPV, más concretamente en el edificio dos realizando las pruebas entre una de las aulas y otra de manera que en la mitad tenemos una pared de separación.
 - Comentarios: en la realización de estas pruebas hemos visto como el Bluetooth sufría de bastantes pérdidas de conexión al igual que la tecnología RF. Esta última tenía perdidas de un gran número de paquetes en los que se subdividía el texto establecido. La tecnología Wi-fi ha sido la líder en este entorno dando soporte a la conexión entre 6 paredes y con altos porcentajes de calidad en un tiempo medio reducido. La tecnología ZigBee ha rendido con una alta calidad dando soporte hasta entre cinco paredes ya que a partir de ese punto no conseguía recibir ninguno de los paquetes enviados.
 - Tabla de datos:

	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	3	38,17%	25%	7,47	4,89

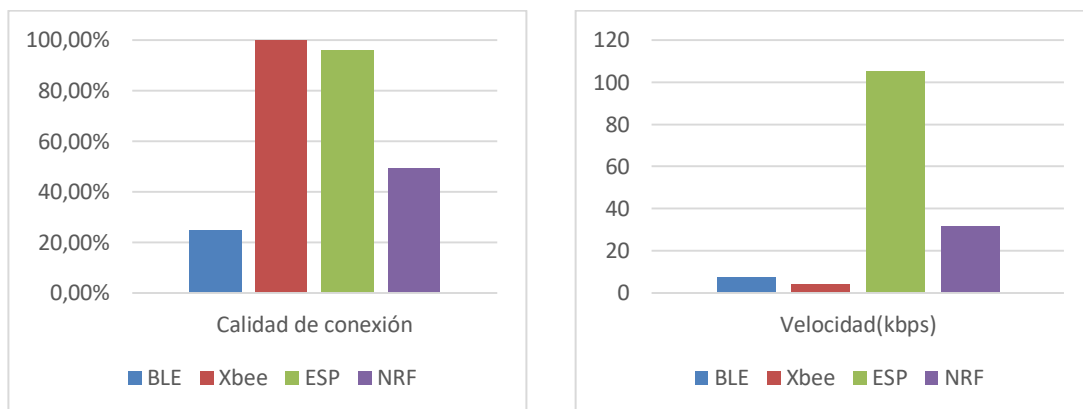
XBEE	5	100%	100%	3,96	6,9
ESP	6	96%	96%	118,82	0,26
NRF	5	49,10%	49,10%	31,841538	4,57

Tabla 41: Resultados tras pared de pladur pruebas de texto largo.

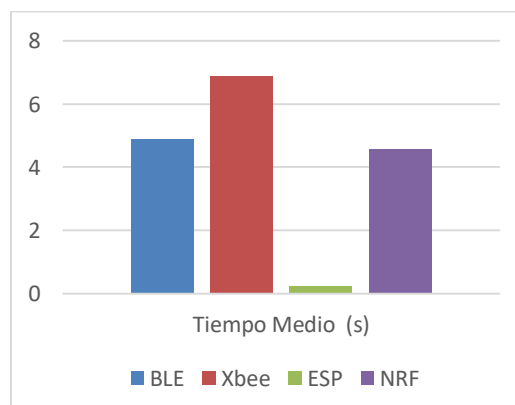
○ Gráficas:



Gráficas 105-106: Texto largo tras pared de pladur Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 107-108: Texto largo tras pared de pladur Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 109: Texto largo tras pared de pladur Tiempo medio.

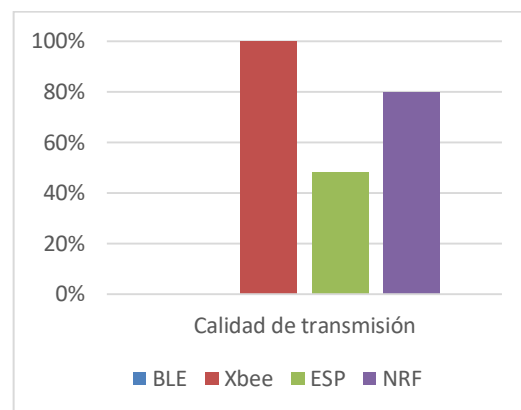
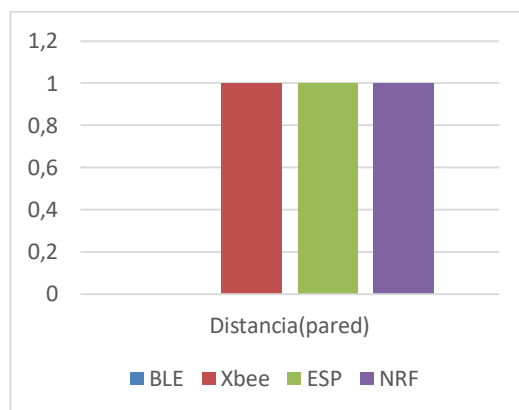
- **Escenario:** Tras pared de bloque (UPV laboratorio)

- Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en los laboratorios que se encuentran pegados al departamento de matemáticas de la escuela de ingeniería de San Mamés. Allí encontramos entre una estancia y otra una pared de bloque de hormigón.
- Comentarios: como en anteriores pruebas en este entorno el dispositivo Bluetooth se ha visto incapaz de transmitir ni de establecer si quiera una conexión. En cuanto a las demás tecnologías sí que nos han dado resultados. La ZigBee a pesar de su gran calidad, tanto de transmisión como de conexión, es con diferencia la que mayor tiempo le cuesta realizar la transmisión de forma correcta. En cuanto a la RF ha sufrido algunas perdidas de paquetes como en anteriores pruebas debido al obstáculo de bloque pero aun así ha mantenido un buen tiempo y calidades.
- Tabla de datos:

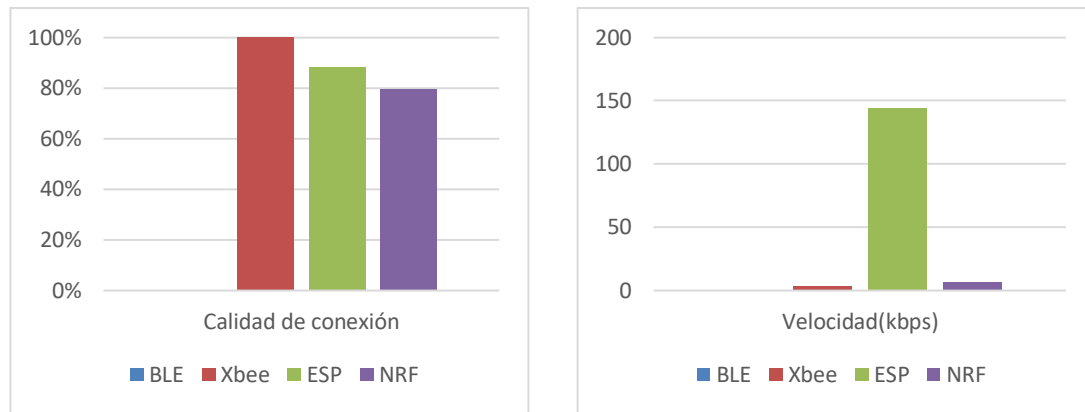
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	0	0%	0%	0	0
XBEE	1	100%	100%	2,94	9,29
ESP	1	48%	88%	143,83	0,25
NRF	1	79,46%	79,46%	6,54	4,18

Tabla 42: Resultados tras pared de bloque pruebas de texto largo.

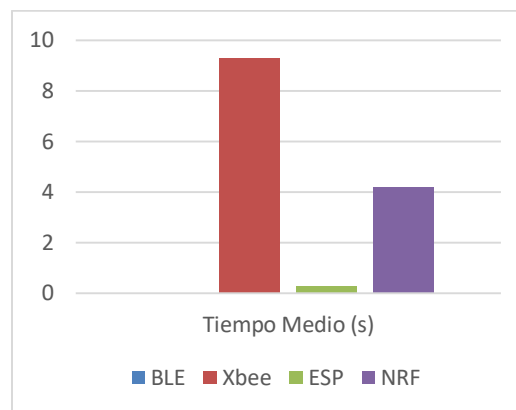
- Gráficas:



Gráficas 110-111: Texto largo tras pared de bloque Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 112-113: Texto largo tras pared de bloque Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 114: Texto largo tras pared de bloque Tiempo medio.

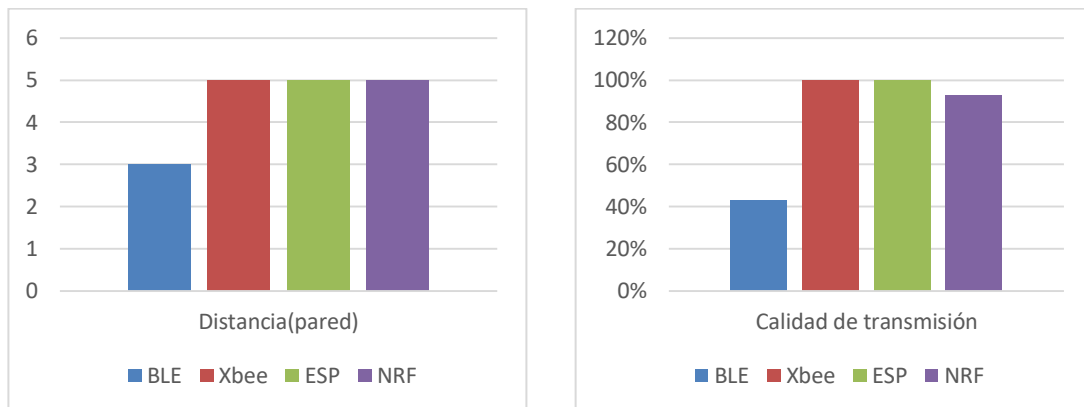
- **Escenario:** Tras pared de ladrillo (Casa)

- Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en una casa de pueblo cuyas paredes están hechas de ladrillo con un cobertura fina de cemento.
- Comentarios: en estos resultados observamos como el Wi-fi ha alcanzado una velocidad muy superior a las demás tecnologías lo cual la sitúa como mejor opción. Por el otro lado tenemos la tecnología ZigBee y RF que han dado soporte igualmente a la totalidad de la vivienda pero la primera con mayor calidad y la segunda con mejor tiempo medio. La tecnología Bluetooth ha quedado a la cola aunque es capaz de dar soporte a parte de la vivienda.
- Tabla de datos:

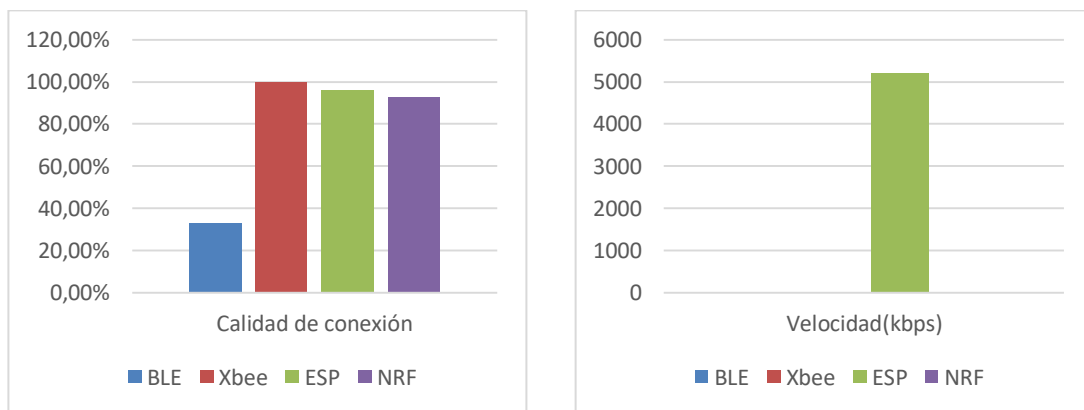
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	3	42,98%	33,33%	7,50	4,96
XBEE	5	100%	100%	4,16	6,56
ESP	5	100%	96%	5205,42	0,02
NRF	5	92,86%	92,86%	6,76	4,05

Tabla 43: Resultados tras pared de ladrillo pruebas de texto largo.

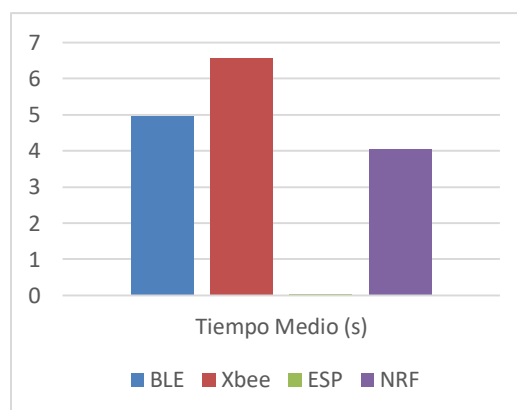
○ Gráficas:



Gráficas 115-116: Texto largo tras pared de ladrillo Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 117-118: Texto largo tras pared de ladrillo Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 119: Texto largo tras pared de ladrillo Tiempo medio.

- **Escenario:** Tras ventana de cristal (Casa)
 - Descripción: el lugar de obtención de estos resultados se sitúa en una casa de pueblo, más concretamente se hicieron las pruebas a

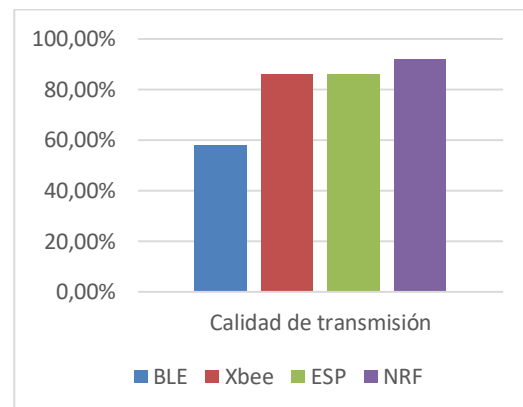
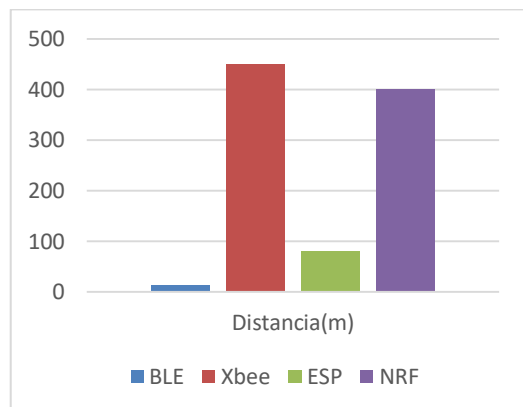
través de una ventana simple de cristal desde dentro de la estancia hacia afuera.

- Comentarios: en cuanto a este escenario vemos como la tecnología Wi-fi ha dominado claramente en cuanto a velocidad. Las tecnologías ZigBee y RF son las que mayor rango con diferencia son capaces de cubrir a diferencia de la Bluetooth que apenas alcanza los 12,5 metros. En cuanto a tiempos la tecnología ZigBee es a la que más le ha llevado transmitir este volumen de datos pero a su vez la más fiable de las cuatro.
- Tabla de datos:

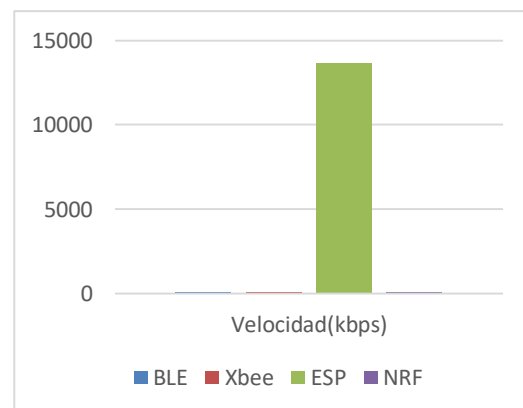
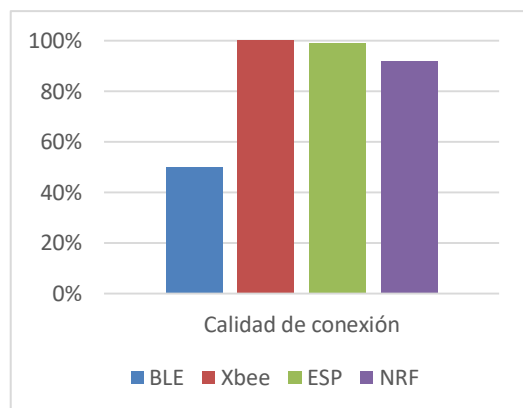
	DISTANCIA	CALIDAD DE TRANSMISIÓN	CALIDAD DE CONEXIÓN	VELOCIDAD(Kbps)	TIEMPO MEDIO
BLE	12,5	58,03%	50%	6,60	5,29
XBEE	450	86%	100%	3,27	8,36
ESP	80	86%	98,80%	13664	0,39
NRF	400	91,99%	92%	6,29	4,34

Tabla 44: Resultados tras ventana de cristal pruebas de texto largo.

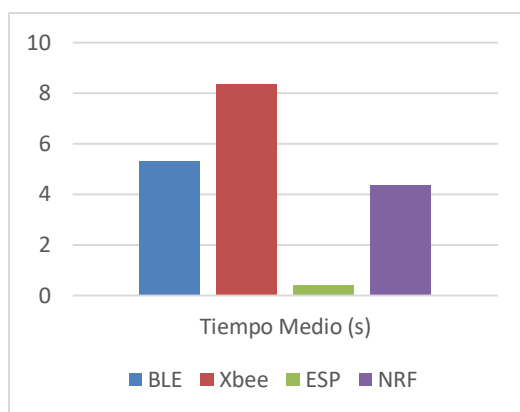
- Gráficas:



Gráficas 120-121: Texto largo tras ventana de cristal Distancia y Calidad de transmisión.



Gráficas 122-123: Texto largo tras ventana de cristal Calidad de conexión y Velocidad.



Gráfica 124: Texto largo tras ventana de cristal Tiempo medio.

11 Conclusiones

Tras observar los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas podemos afirmar que distan bastante de los límites teóricos que nos proporcionan los fabricantes. Estas mediciones se establecen para las tecnologías en entornos que son los ideales pero que son los más frecuentes para los usos de estas.

Por una parte de forma clara y consistente podemos decir que la distancia afecta notablemente a todos los demás criterios que hemos tenido en cuenta. No es solo en las pruebas de grandes volúmenes de datos sino en las de control también se han visto afectados. Y por ello es un factor determinante a tener en cuenta en cuanto a la toma de decisiones sobre las tecnologías con las que queremos trabajar. En cuanto a este criterio la tecnología que menos sufre al respecto es la Wi-fi variando muy poco el tiempo de transmisión en diferentes distancias. Por otro lado las que se han visto más afectadas son las tecnologías Bluetooth y Zigbee.

La calidad de la conexión es uno de los aspectos que se ve más afectado en cuanto a variaciones de distancias y esto acusa a todas las tecnologías que hemos podido examinar. La tecnología RF sufre de bastantes pérdidas de paquetes en relación al aumento de volumen de transmisión y de distancia.

Refiriéndonos a la velocidad de transmisión, esta también se ve disminuida a causa del aumento de la distancia como se puede ver en las tecnologías Bluetooth, RF y Wi-fi. En otras como la ZigBee en cambio no se ha visto tanta variación en este aspecto.

En la tecnología Bluetooth hemos podido ver como la cantidad de datos influye en gran parte tanto en la calidad de la conexión, como en la estabilidad de la red. A mayor cantidad de datos que se quieren transmitir esta tecnología ha sido más vulnerable a pérdidas de conexión en comparación con las demás.

En el lado opuesto al Bluetooth tenemos la tecnología Wi-fi, que tras la realización de todas las pruebas teniendo en cuenta las variaciones de tamaño de datos y de distancia, apenas ha variado en velocidad de transmisión. Sumando a esto destacamos que según las indicaciones de los fabricantes y de la tecnología, este estándar era el que nos permitía transmitir a mayor velocidad. Esto es un gran punto a favor para esta tecnología a día de hoy.

También cabe destacar que a pesar del gran rendimiento que tiene la tecnología Wi-fi es según las especificaciones la que más cantidad de energía consume. En transmisión esta multiplica en 10 el consumo de la Bluetooth, en 8 el consumo de la RF y en 2,5 aproximadamente el consumo de la ZigBee. Esto es un factor importante a tener en cuenta.

La implicación de obstáculos entre transmisiones como pueden ser paredes o suelos afecta notablemente en los resultados obtenidos. Tecnologías

como la RF o el Bluetooth sufren bastantes pérdidas de paquetes por el camino y desconexiones. Esto es un gran punto negativo para el Bluetooth ya que en muchas ocasiones una pérdida de conexión implica reducir la distancia entre dispositivos para reconectar.

Para finalizar, si buscamos gran velocidad de transmisión con obstáculos entre medias el Wi-fi sería una buena solución aunque con un consumo elevado en comparación. Si por el contrario buscamos escalabilidad y un gran rango de transmisión sin apenas obstáculos y calidad, podemos encontrar la solución en la tecnología ZigBee. Esta última nos ha dado muy buenos resultados en amplios espacios y una red puede mantener comunicación entre hasta 65535 nodos. Muchos más nodos que el resto de tecnologías probadas en este estudio. La tecnología Bluetooth encuentra su punto fuerte en el consumo, así que para soluciones con bajos niveles de consumo poca distancia y sin necesidad de gran número de nodos sería la ideal (aunque trabaja mejor con volúmenes de datos más pequeños que el resto). Por último el RF sería una buena solución para casos en los que se requiere bajo consumo y grandes distancias de transmisión.

12 Bibliografía

- [1] Prieto Blázquez, J. (s.f.). Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos. Recuperado 13 junio, 2019, de <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40184329>
- [2] Tecnologías Inalambricas Ventajas y Desventajas. (s.f.). Recuperado 13 junio, 2019, de <http://tecnologiainalambricas.blogspot.com/2016/07/tecnologias-inalambricas-ventajas-y.html>
- [3] Powell, M. I. C. H. A. E. L. K. (2002, julio). Protocolos OSI. Recuperado 20 mayo, 2019, de <http://www.tyr.unlu.edu.ar/TYR-publica/02-Protocolos-y-OSI.pdf>
- [4] Solano, J. (s.f.). El modelo OSI. Recuperado 20 mayo, 2019, de http://dis.um.es/%7Elopezquesada/documentos/IES_1213/LMSGI/cursos/xhtmll/xhtmll22/index.html
- [5] Tecnología Inalámbrica. Qué es, Funcionamiento, Tipos y Comunicación Inalámbrica. (s.f.). Recuperado 15 mayo, 2019, de <https://www.areatecnologia.com/informatica/tecnologia-inalambrica.html>
- [6] Bará Temes, J. (2001). Ondas electromagnéticas en comunicaciones. Catalunya, España: Univ. Politèc. de Catalunya.
- [7] Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. Madrid, España: Pearson Educación.
- [8] Camargo Olivares, J. L. (s.f.-a). MODELO DE COBERTURA PARA REDES INALÁMBRICAS DE INTERIORES. Recuperado 17 junio, 2019, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761>
- [9] Conceptos de radiofrecuencia. (s.f.). Recuperado 18 mayo, 2019, de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf
- [10] Colaboradores de Wikipedia. (2019, 3 mayo). Bluetooth. Recuperado 18 mayo, 2019, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [11] Gutiérrez Reina, D. (s.f.). SISTEMA PASARELA BLUETOOTH PARA UNA RED DE SENSORES ZIGBEE. Recuperado 13 junio, 2019, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/40048/direccion/VOLUMEN+1.+MEMORIA%252F>
- [12] Topología De Red Inalámbrica.. (s.f.). Recuperado 22 mayo, 2019, de <http://redessincableado.blogspot.com/p/topologia-de-red-nalambrica.html>
- [13] Elahi, A. , & Gschwender, A. (2009). ZigBee Wireless Sensor and Control Network. Madrid, España: Pearson Educación.
- [14] Tecnologías Inalámbricas. (s.f.). Recuperado 15 mayo, 2019, de https://books.google.es/books?id=_2HCio8aZiQC
- [15] Martín Moreno, J. (2007, junio). Protocolo ZigBee. Recuperado 15 mayo, 2019, de https://books.google.es/books?id=_2HCio8aZiQC

- [16] Rodríguez, I. (s.f.). ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN...Recuperado 15 mayo, 2019, de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5831/Analisis%20...>
- [17] Lenguaje de programación C++. (2015, 26 marzo). Recuperado 16 mayo, 2019, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/26/lenguaje-de-programacion-c/>
- [18] Arduino Uno Rev3. (s.f.). Recuperado 16 mayo, 2019, de <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [19] ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo WiFi para Arduino. (2019, 30 enero). Recuperado 18 mayo, 2019, de <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>
- [20] BricoGeek. (2017, 8 febrero). Comparativa y análisis completo de los módulos Wifi ESP8266 y ESP32. Recuperado 21 mayo, 2019, de <https://blog.bricogeek.com/noticias/electronica/comparativa-y-analisis-completo-de-los-modulos-wifi-esp8266-y-esp32/>
- [21] Módulo Bluetooth HC-08. (s.f.). Recuperado 18 mayo, 2019, de <https://www.robotshop.com/es/es/modulo-bluetooth-hc-08.html>
- [22] Bluetooth 4.0 Low Energy | Tienda y Tutoriales Arduino. (s.f.). Recuperado 18 mayo, 2019, de <https://www.prometec.net/bluetooth-le/>
- [23] Amazon.com: DSD TECH SH-HC-08 Bluetooth 4.0 BLE Slave Module to UART Transceiver for Arduino Compatible with iOS: Computers & Accessories. (s.f.). Recuperado 19 mayo, 2019, de <https://www.amazon.com/DSD-TECH-SH-HC-08-Transceiver-Compatible/dp/B01N4P7T0H>
- [24] Módulo NRF24L01 2.4 GHz antenna. (s.f.). Recuperado 19 mayo, 2019, de <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/113-modulo-nrf24l01palna-24-ghz-con-antena.html>
- [25] Engineers, L. M. (2018, 7 diciembre). How nRF24L01+ Wireless Module Works & Interface with Arduino. Recuperado 19 mayo, 2019, de <https://lastminuteengineers.com/nrf24l01-arduino-wireless-communication/>
- [26] ¿Qué es XBee? | XBee.cl - Comunicación Inalámbrica para Tus Proyectos. (2019, 9 mayo). Recuperado 19 mayo, 2019, de <https://xbee.cl/que-es-xbee/>
- [27] Bricogeek. (2016, 6 agosto). XBee 2mW Serie 2.5 con Antena, módulo de radiofrecuencia Maxstream Sparkfun XB24CZ7WIT | BricoGeek.com. Recuperado 19 mayo, 2019, de <https://tienda.bricogeek.com/modulos-radiofrecuencia/43-xbee-2mw-serie-25-con-antena.html>
- [28] Arduino - Software. (2015, 14 abril). Recuperado 19 mayo, 2019, de <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- [29] XCTU - Next Gen Configuration Platform for XBee/RF Solutions | Digi International. (s.f.). Recuperado 19 mayo, 2019, de <https://www.digi.com/products/iot-platform/xctu>
- [30] Bibliografía de python recuperar

- [31] Lorem Ipsum - All the facts - Lipsum generator. (s.f.). Recuperado 21 mayo, 2019, de <https://es.lipsum.com/feed/html>

13 Anexos

13.1 Código de test de conexión NRF con Arduino

```
//incluimos las librerias necesarias para realizar el test de conexión

#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include "printf.h"

RF24 radio(9,10); // CE, CSN

const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0E1LL, 0xF0F0F0F0D2LL };
typedef enum { role_ping_out = 1, role_pong_back } role_e;
const char* role_friendly_name[] = { "invalid", "Ping out", "Pong back"};

role_e role = role_pong_back;

void setup(void) {

    Serial.begin(9600);
    printf_begin();
    radio.begin();
    radio.setRetries(15,15);
    radio.openReadingPipe(1,pipes[1]);
    radio.startListening();
    radio.printDetails();
}

void loop(void){
}
```

13.2 Código para la realización de pruebas del NRF con Arduino [EMISOR].

```
//Incluimos las librerías necesarias

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

//iniciali
RF24 radio(9, 8); // CE, CSN

//definimos la dirección o canal de comunicación
const byte address[6] = "00001";

//definimos las variables que necesitaremos
int i = 0;
int j = 0;
int l = 0;
int z = 0;
int aux = 0;
unsigned long p = 0;

void setup()
{
  //iniciamos el monitor serial
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();

  //establecemos la dirección
  radio.openWritingPipe(address);

  //iniciamos el módulo como transmisor
  radio.stopListening();
}
void loop()
//comenzamos la prueba
{
  if (l<5){
    //iniciamos los mensajes a enviar
    const char control[] = "1";
    const char envi[] = "Texto corto";
    const char largo[] = "Fragmento de texto largo";

    //realizamos el envío de la prueba de control 5 veces
    for(z; z<5; z++){
      p++;
      radio.write(&control, sizeof(control));
      Serial.print(control);
      Serial.println(" ");
    }
  }
}
```

```
Serial.print("Envio de paquetes: ");
Serial.print(p);
Serial.println(" ");

//reiniciamos las variables
p=0;
z = 0;

//dividimos el texto corto en paquetes de 32 bytes y os enviamos
for(j; j<sizeof(envi); j++){
    p++;
    char text[32];
    i=0;
    for (i; i<32; i++){
        text[i]=envi[i+j];
    }
    j = j + i;

    Serial.println(text);
    radio.write(&text, sizeof(text));
}

Serial.print("Envio de paquetes: ");
Serial.print(p);
Serial.println(" ");
j=0;

p= 0;

//dividimos el texto largo en paquetes de 32 bytes y os enviamos
for(aux = 0; aux <28; aux++){
    for(j; j<sizeof(largo); j++){
        p++;
        char text[32];
        i=0;
        for (i; i<32; i++){
            text[i]=largo[i+j];
        }
        j = j + i;

        Serial.println(text);
        radio.write(&text, sizeof(text));
    }
    j=0;
}
Serial.print("Envio de paquetes: ");
Serial.print(p);
Serial.println(" ");

p= 0;

delay(5000);
l++;
```

```
}  
}
```

13.3 Código para la realización de pruebas del NRF con Arduino [RECEPTOR].

```
//incluimos las librerías que necesitamos  
#include <SPI.h>  
#include <nRF24L01.h>  
#include <RF24.h>  
  
//iniciamos el objeto  
RF24 radio(9, 8); // CE, CSN  
  
//iniciamos las variables  
int i = 0;  
const byte address[6] = "00001";  
  
void setup()  
  
//iniciamos el monitor serial  
{  
  while (!Serial);  
  Serial.begin(9600);  
  
//iniciamos el dispositivo, le damos un canal y establecemos como receptor  
  radio.begin();  
  
  radio.openReadingPipe(0, address);  
  
  radio.startListening();  
}  
  
void loop()  
{  
  
//cuando recibe un dato imprime el dato en pantalla y numero de paquete  
  if (radio.available())  
  {  
    Serial.println(i);  
    char text[32] = {0};  
    radio.read(&text, sizeof(text));  
    Serial.println(text);  
    i++;  
  }  
}
```

13.4 Código de configuración AT para BLE SH-HC-08 [28]

```
//La conexión del módulo con el Arduino es la siguiente:
//VCC-5V
//GND-GND
//RXD-Pin 10
//TXD-Pin 11

#include <SoftwareSerial.h>

#define RxD 10 //PONER AQUI EL TDX DEL MODULO BLUETOOTH
#define TxD 11 //PONER AQUI EL RDX DEL MODULO BLUETOOTH

//INICIAMOS EL SERIAL A LOS PINES 10 Y 11
SoftwareSerial BTSerial(10, 11);

void setup() {
  //INICIAMOS LA CONSOLA SERIAL A 9600 BAUDIOS
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }

  //ARRANCAMOS EL BT
  BTSerial.begin(9600);

  Serial.println("Enter AT commands:");
  delay(100);
}

void loop() {
  //SI EL MODULO HA RECIVIDO ALGO LO IMPRIME POR EL SERIAL DEL
  ARDUINO
  if (BTSerial.available()) {
    Serial.write(BTSerial.read());
  }
  //SI ESCRIBIMOS ALGO EN EL SERIAL DEL ARDUINO SE RECIBE EN EL
  DEL MODULO BLUETOOTH
  if (Serial.available()) {
    BTSerial.write(Serial.read());
  }
}
```

13.5 Código pruebas BLE SH-HC-08

```
//incluimos las librerías
#include <SoftwareSerial.h>

//definimos e iniciamos las variables
#define RxD 10 //PONER AQUI EL TX DEL BLUETOOTH
```

```
#define TxD 11 //PONER AQUI EL RDX DEL BLUETOOTH
unsigned long i =0;
int cmd = 0;
char a[] = "TEXTO CORTO";
char b[] = "TEXTO LARGO";

//definimos el objeto
SoftwareSerial BTSerial(10, 11); // Recive (RD), Transmit (TxD)

void setup() {
  // iniciamos el monitor serial
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }

  //iniciamos el objeto a la velocidad de serial
  BTSerial.begin(9600);
}

void loop() {
  // para cada recepción por parte del dispositivo este envia una respuesta
  //en caso 1 envia 1
  //en caso 2 envia lo defido en la variable a
  //en caso 3 envia por 8 lo definido e la variable b (3416 Bytes)

  if (BTSerial.available()) {
    cmd = BTSerial.read();
    Serial.write(cmd);
    if (cmd == '1') {
      i = 0;
      Serial.write("1");
      BTSerial.write("1");
      BTSerial.println("\r\n");
    }
    if (cmd == '2') {
      i = 0;
      Serial.write("1");
      BTSerial.write(a);
      BTSerial.println("\r\n");
    }
    if (cmd == '3') {
      i = 0;
      for(i; i<8; i++){
        BTSerial.write(b);
      }
      BTSerial.println("\r\n");
    }
  }
}
```

13.6 Código prueba conexión ESP8266

```
//incluimos las librerías

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>

//definimos las variables a utilizar
#ifndef APSSID
#define APSSID "NOMBRE"
#define APPSK "PASSWORD"
#endif

const char *ssid = APSSID;
const char *password = APPSK;

//iniciamos el modulo como servidor
ESP8266WebServer server(80);

//creamos el método que establece nuestro texto en la ruta definida
void handleRoot() {
    server.send(200, "text/html", "<h1>INSERTA TU TEXTO AQUÍ</h1>");
}

void setup() {
    //iniciamos el serial y el módulo con lo anterior definico e imprimimos por
    pantalla la dirección ip a la que tenemos que acceder
    delay(1000);
    Serial.begin(115200);
    Serial.println();
    Serial.print("Configuring access point...");
    /* You can remove the password parameter if you want the AP to be open.
    */
    WiFi.softAP(ssid, password);

    IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
    Serial.print("AP IP address: ");
    Serial.println(myIP);
    server.on("/", handleRoot);
    server.begin();
    Serial.println("HTTP server started");
}

void loop() {
    //ejecutamos el metodo que establece nuestro texto en la dirección
    del módulo
    server.handleClient();
}
```

13.7 Codigo Test.py para realizar peticiones a ESP8266

```
# -*- coding: UTF-8 -*-
# Librería de bajo nivel que implementa el lado de cliente del protocolo HTTP

import httplib
import time

servidor = '192.168.4.1'
nombrePrueba = 'Prueba X metros TIPO_PRUEBA ESCENARIO '

def pruebas():

    i = 0

    for i in range(0, 5):

        print "\r\n---> estableciendo conexión TCP"
        inicio_total = time.time();
        inicio = time.time()
        conn = httplib.HTTPConnection(servidor) # Definir conexión TCP con
        puerto 80
        conn.connect()
        fin = time.time()
        tiempocon = "tiempo total de conexión: " + str(fin - inicio)
        print "tiempo total de conexión: " + str(fin - inicio)
        print "---> conexión TCP establecida"

        conn.sock.getsockname()

        metodo = 'GET'
        recurso = '/'
        cabeceras_peticion = {'Host': servidor,
                              'User-Agent': 'Cliente Python'}
        cuerpo_peticion = "

        print "---> realizando petición HTTP"
        inicio = time.time()
        conn.request(metodo, recurso, headers=cabeceras_peticion,
        body=cuerpo_peticion)

        print "--->Estado de la conexión"
        response = conn.getresponse()
        respuesta = response.read();
        fin = time.time()
        fin_total = time.time()
        tiempopeticion = "tiempo total de request: " + str(fin - inicio)
        print str(tiempopeticion)

    print "Status: " + str(response.status)
```



```
print "Tamaño: " + str(response.length)
print "Cabeceras de respuesta: " + str(response.getheaders())
print "contenido " + str(respuesta)

respuesta = "contenido: " + str(respuesta)
estado = "Status: " + str(response.status)

file = str(nombrePrueba) + '_' + str(i)

f = open(str(file), 'w')
f.write(str(respuesta))
f.write('\n')
f.write(str(estado))
f.write('\n')
f.write(str(tiempocon))
f.write('\n')
f.write(str(tiempopeticion))
f.write('\n')
f.close()

print "TIEMPO TOTAL CONEXIÓN Y REQUEST: " + str(fin_total -
inicio_total)

conn.close()

pruebas()
```

13.8 Introducción a los resultados de referencia.

En los siguientes anexos encontraremos algunos de los resultados que tomamos de referencia para representar todas las pruebas realizadas. El volumen total de pruebas se encontrará en un archivo adjunto dada su cantidad y tamaño. En este archivo es posible que se omita en ocasiones el contenido dado que es repetitivo y para no sobrepasar los límites de espacio establecidos.

El contenido de los resultados al ser un volumen de datos alto y que se repite constantemente se omitirá en las tablas pero se podrá ver en el archivo adjunto que contenga todas las pruebas realizadas.

Además si los hay también se destacaran los datos atípicos de las pruebas que destacan por salirse fuera de lo normal ya sea por unas circunstancias o por otras.

13.9 Resultados referencia ESP8266 Control.

Referencias campo abierto fuera de ciudad	
Metros	Resultado
30	Status: 200 contenido <h1>1</h1> tiempo total: 0.00399994850159
70	Status: 200 contenido <h1>1</h1> tiempo total: 0.00068946999556
230	Status: 200 contenido <h1>1</h1> tiempo total: 0.01000002355652

Referencias dentro de edificio mismo espacio	
Metros	Resultado
60	Status: 200 contenido <h1>1</h1> tiempo total: 0.00899982452393
110	Status: 200 contenido <h1>1</h1> tiempo total: 0.00600004196167

Referencias dentro de edificio tras suelos	
Pisos	Resultado
1	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00600004196167 tiempo total de request: 0.00699996948242

3 (dato atípico)	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0420000553131 tiempo total de request: 2.382999897
3	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 3.03399991989 tiempo total de request: 0.0120000839233

Referencias tras pared de pladur	
Paredes	Resultado
3	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0160000324249 tiempo total de request: 0.010999917984
5	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00500011444092 tiempo total de request: 0.00899982452393

Referencias tras pared de bloque	
Paredes	Resultado
1	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0019998550415 tiempo total de request: 0.00399994850159
1	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0570001602173 tiempo total de request: 0.0709998607635

Referencias tras pared de ladrillo	
Paredes	Resultado
1	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00300002098083

	tiempo total de request: 0.00200009346008
3 (Dato atípico)	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 3.17199993134 tiempo total de request: 0.0410001277924
5	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0149998664856 tiempo total de request: 0.00800013542175

Referencias tras cristal	
Metros	Resultado
15	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00300002098083 tiempo total de request: 0.00899982452393
35	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00300002098083 tiempo total de request: 0.00600004196167
75	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00200009346008 tiempo total de request: 0.00799989700317
85	contenido: <h1>1</h1> Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00999999046326 tiempo total de request: 0.0090000629425

13.10 Resultados referencia ESP8266 Texto Corto.

Referencias campo abierto fuera de ciudad	
Metros	Resultado
50	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0710000991821 tiempo total de request: 0.0082452393000

90	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00300002098083 tiempo total de request: 0.00846456806980
180	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0149998664856 tiempo total de request: 0.0001965634577
220	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.021999835968 tiempo total de request: 0.0
235	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0190000534058 tiempo total de request: 0.0149998664856

Referencias campo abierto dentro de ciudad	
Metros	Resultado
50	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00500011444092 tiempo total de request: 0.0745678674
75	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00699996948242 tiempo total de request: 0.000999927520752
75 (Dato atípico)	Status: 200 tiempo total de conexión: 3.00999999046 tiempo total de request: 0.0
85	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00500011444092 tiempo total de request: 0.02347876675765

Referencias dentro de un edificio (UPV – Pasillo primer piso)	
Metros	Resultado
10	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00699996948242

	tiempo total de request: 0.0
10 (Dato atípico)	Status: 200 tiempo total de conexión: 3.01499986649 tiempo total de request: 0.000999927520752
35	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0169999599457 tiempo total de request: 0.00300002098083
75	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00200009346008 tiempo total de request: 0.000999927520752
130	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00300002098083 tiempo total de request: 0.000999927520752
175	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0469999313354 tiempo total de request: 0.0054573476356

Referencias dentro de un edificio tras suelos (UPV – Entre diferentes pisos).	
Pisos	Resultado
1	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00400018692017 tiempo total de request: 0.000999927520752
2	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00500011444092 tiempo total de request: 0.0
3	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00500011444092 tiempo total de request: 0.000999927520752

Referencias tras pared de pladur (UPV – aulas)	
Paredes - metros	Resultado
15	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00999999046326 tiempo total de request: 0.00699996948242

25	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00699996948242 tiempo total de request: 0.0090000629425
35	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0250000953674 tiempo total de request: 0.018000125885
45	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00399994850159 tiempo total de request: 0.0090000629425

Referencias tras pared de bloque	
Paredes	Resultado
1	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00200009346008 tiempo total de request: 0.000999927520752
1	tiempo total de conexión: 0.00100016593933 tiempo total de request: 0.0
1 (Dato atípico)	tiempo total de conexión: 0.0 tiempo total de request: 0.0

Referencias tras pared de ladrillo (Casa)	
Paredes	Resultado
1	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0120000839233 tiempo total de request: 0.000999927520752
3	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00200009346008 tiempo total de request: 0.00499987602234
5	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00699996948242 tiempo total de request: 0.00800013542175

Referencias tras ventana de cristal (Casa)	
Metros	Resultado
15	Status: 200

	tiempo total de conexión: 0.00200009346008 tiempo total de request: 0.0
35	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00299978256226 tiempo total de request: 0.007000207901
55	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00499987602234 tiempo total de request: 0.0260000228882
65 (Dato atípico)	Status: 200 tiempo total de conexión: 3.03000020981 tiempo total de request: 0.00999999046326
75	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0019998550415 tiempo total de request: 0.00699996948242
75 (Dato atípico)	Status: 200 tiempo total de conexión: 9.0150001049 tiempo total de request: 0.0130000114441

13.11 Resultados referencia ESP8266 Texto Largo.

Referencias campo abierto fuera de ciudad	
Metros	Resultado
50	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00699996948242 tiempo total de request: 0.0
50 (Dato atípico)	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0 tiempo total de request: 0.00600004196167
90	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00799989700317 tiempo total de request: 0.0
140	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00200009346008 tiempo total de request: 0.000999927520752
170 (Dato atípico)	Status: 200

	tiempo total de conexión: 0.0 tiempo total de request: 0.0
210	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00799989700317 tiempo total de request: 0.01484796956

Referencias campo abierto dentro de ciudad	
Metros	Resultado
50	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00699996948242 tiempo total de request: 0.0
75	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00500011444092 tiempo total de request: 0.0092346050040
100	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00300002098083 tiempo total de request: 0.00100016593933
50 (Datos perdidos por el camino)	contenido: Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0 tiempo total de request: 0.0

Referencias dentro de un edificio (UPV – Pasillo primer piso)	
Metros	Resultado
50	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00299978256226 tiempo total de request: 0.00300002098083
75	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.010999917984 tiempo total de request: 0.000999927520752
75 (Dato atípico)	Status: 200 tiempo total de conexión: 3.0039999485 tiempo total de request: 0.0
100	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00699996948242 tiempo total de request: 0.010999927520752
150	Status: 200

	tiempo total de conexión: 0.00600004196167 tiempo total de request: 0.000999927520752
175 (Dato atípico)	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0 tiempo total de request: 0.0

Referencias dentro de un edificio tras suelos (UPV – Entre diferentes pisos).	
Pisos	Resultado
2	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0169999599457 tiempo total de request: 0.0
3	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00600004196167 tiempo total de request: 0.000999927520752
4	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.000999927520752 tiempo total de request: 0.0230090019073

Referencias tras pared de pladur (UPV – aulas)	
Paredes	Resultado
2	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0019998550415 tiempo total de request: 0.00800013542175
4	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.007000207901 tiempo total de request: 0.00899982452393
6	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0999999046326 tiempo total de request: 0.767000198364

Referencias tras pared de bloque	
Pared	Resultado
1	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00200009346008

	tiempo total de request: 0.0019998550415
1	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00200009346008 tiempo total de request: 0.0

Referencias tras pared de ladrillo (Casa)	
Pared	Resultado
1	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00399994850159 tiempo total de request: 0.00699996948242
3	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0160000324249 tiempo total de request: 0.00300002098083
5	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.0130000114441 tiempo total de request: 0.162999868393

Referencias tras ventana de cristal (Casa)	
Metros	Resultado
45	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00899982452393 tiempo total de request: 0.0
50	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00999999046326 tiempo total de request: 0.0
70	Status: 200 tiempo total de conexión: 0.00300002098083 tiempo total de request: 0.00200009346008
80 (Dato atípico)	Status: 200 tiempo total de conexión: 3.02600002289 tiempo total de request: 0.0

13.12 Resultados referencia BLE SH HC-08Control.

En los siguientes resultados veremos la comunicación entre los dos dispositivos, por una parte en la izquierda tendremos el envío del emisor y en la derecha la recepción que obtiene por la respuesta del otro dispositivo.

Referencias campo abierto fuera de ciudad	
Metros	Resultado
20	22:11:03.181 1 22:11:03.275 1

Referencias campo abierto dentro de ciudad	
Metros	Resultado
10	21:35:00.820 121:35:01.007 1 21:35:01.468 121:35:01.584 1
15	21:36:42.809 121:36:42.931 1 21:36:43.420 121:36:43.484 1

Referencias dentro de edificio mismo espacio	
Metros	Resultado
10	22:01:03.450 1 22:01:03.811 1
20	22:02:25.795 1 22:02:26.263 1

Ejemplos de referencias tras paredes (cristal, pladur, bloque, ladrillo...)	
Material	Resultado
Cristal	5 metros
	19:59:30.379 1 19:59:30.468 1
	19:59:32.277 1 19:59:32.346 1
	19:59:34.379 1 19:59:34.447 1
	15 metros
	20:00:39.029 Connecting to - unnamed - ... 20:00:39.503 Connection failed: gatt status 133 20:00:46.473 Connecting to - unnamed - ... 20:00:46.840 Connection failed: gatt status 133

Ladrillo	<p>1 Pared</p> <p>19:51:46.608 1 19:51:46.695 1 19:52:04.948 1 19:52:05.072 1 19:52:09.662 1 19:52:09.745 1</p> <p>2 Paredes</p> <p>19:52:31.348 1 19:52:31.921 1 19:52:33.724 1 19:52:33.949 1 19:52:41.479 1 19:52:41.823 1 19:52:42.560 1 19:52:42.772 1</p> <p>3 Paredes</p> <p>19:53:10.039 Connection lost 19:53:19.183 Connecting to - unnamed - ... 19:53:20.611 Connected 19:53:30.457 1 19:53:31.559 Connection lost 19:53:40.589 Connecting to - unnamed - ... 19:53:41.606 Connected 19:53:51.319 1 19:53:53.606 Connection lost</p>
Pladur	<p>1 Pared</p> <p>17:54:38.468 1 17:54:38.598 1 17:54:39.263 1 17:54:39.322 1 17:54:40.014 1 17:54:40.071 1</p> <p>2 Paredes</p> <p>17:55:00.223 1 17:55:00.321 1 17:55:01.588 1 17:55:02.402 1 17:55:03.497 1 17:55:03.697 1</p> <p>3 Paredes</p> <p>17:55:21.144 1 17:55:23.786 Connection lost 17:55:26.567 Connecting to - unnamed - ... 17:55:27.676 Connection failed: gatt status 133 17:55:29.215 Connecting to - unnamed - ... 17:55:29.893 Connection failed: gatt status 133</p>

Bloque	20:07:52.330 Connecting to - unnamed - ... 20:07:52.759 Connection failed: gatt status 133 20:07:57.749 Connecting to - unnamed - ... 20:07:58.106 Connection failed: gatt status 133
--------	--

13.13 Resultados referencia BLE SH HC-08 Texto Corto.

Para las pruebas de texto corto se enviara un mensaje desde el dispositivo receptor al emisor para que este envíe el texto corto.

Resumen de eferencias campo abierto fuera de ciudad	
Metros	Resultado
7.5	1,253s Texto completo 2 de 5 pruebas
12.5	1,433s Texto completo 1 de 5 pruebas Texto parcial 2 de 5 pruebas
17.5	1,298s Texto completo 1 de 5 pruebas
20	1,217s Texto completo 1 de 5 pruebas
25	2,019s Texto parcial 1 de 5 pruebas
30	Todos los mensajes se pierden por el camino a pesar de mantener conexión.

Referencias campo abierto dentro de ciudad	
Metros	Resultado
15	21:36:36.165 Connecting to - unnamed - ... 21:36:37.140 Connected 21:36:56.588 2 21:36:56.642 Mensaje completo 21:36:57.366

Referencias dentro de edificio mismo espacio	
Metros	Resultado
10	22:01:09.588 2 22:01:09.662 Mensaje completo 22:01:10.335 22:01:13.146 2 22:01:13.688 Lorem ipsum dolor sit amet 22:01:18.724 Connection lost
15	22:01:20.581 Connecting to - unnamed - ... 22:01:21.786 Connected 22:01:22.723 2 22:01:22.778 Mensaje completo 22:01:23.451

Ejemplos de referencias tras paredes (cristal, pladur, bloque, ladrillo...)	
Material	Resultado
Cristal	12,5 metros 18:43:39.959 Connecting to - unnamed - ... 18:43:41.074 Connected 18:43:42.225 2 18:43:42.310 Mensaje completo 18:43:43.031 18:43:44.306 2 18:43:44.473 Mensaje completo 18:43:45.194
Pladur	1 Pared 18:38:49.880 2 18:38:49.956 Mensaje completo 18:38:50.632 2 Paredes 18:39:10.088 2 18:39:10.159 Mensaje parcial 18:39:15.352 Connection lost
Ladrillo	1 Pared 18:47:58.653 2 18:47:58.774 Mensaje completo recibido 18:47:59.584

	2 Paredes 18:48:53.044 2 18:48:53.159 Mensaje completo recibido 18:48:53.834 3 Paredes 18:49:53.406 2 18:49:56.064 Lorem ipsum dolor si 18:50:01.076 Connection lost
Otros	SIN CONEXION

13.14 Resultados referencia BLE SH HC-08 Texto Largo.

Todas las pruebas han conllevado la pérdida de la conexión y la recepción de un mensaje parcial bastante incompleto (sustituimos el mensaje parcial por ‘//Mensaje parcial’):

Referencias campo abierto fuera de ciudad	
Metros	Resultado
5-10-15-20-25	... 20:57:55.647 //Mensaje parcial 20:58:01.500 Connection lost 20:58:01.659 Connecting to SH-HC-08 ... 20:58:17.741 Disconnected from device 20:58:18.648 Connecting to SH-HC-08 ... 20:58:19.143 Connected 20:58:23.772 //Mensaje parcial 20:58:29.399 Connection lost 20:58:34.187 Connecting to SH-HC-08 ... 20:58:39.882 Connection failed: gatt status 8 20:58:40.136 Connecting to SH-HC-08 ... 20:58:41.021 Connected 20:58:50.495 //Mensaje parcial 20:58:56.324 Connection lost 20:59:03.913 Connecting to SH-HC-08 ... 20:59:12.325 Disconnected from device 20:59:12.781 Connecting to SH-HC-08 ... 20:59:13.293 Connected 20:59:17.645 //Mensaje parcial 20:59:23.399 Connection lost
30 (Imposible mantener una conexión estable)	21:17:54.524 Connecting to SH-HC-08 ... 21:17:54.888 Connection failed: gatt status 133 2 21:18:44.787 Connecting to SH-HC-08 ... 21:18:51.021 Connected 21:19:01.118 Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam posuere orci et eros varius, sit amet imperdiet sem mollis. Vivamus ve 21:19:03.935 Disconnected from device 21:19:04.593 Connecting to SH-HC-08 ... 21:19:06.301 Connection failed: gatt status 8

	21:19:07.658 Connecting to SH-HC-08 ... 21:19:08.237 Connection failed: gatt status 133 21:19:09.475 Connecting to SH-HC-08 ... 21:19:09.902 Connection failed: gatt status 133 21:19:10.946 Connecting to SH-HC-08 ... 21:19:11.298 Connection failed: gatt status 133
--	--

Ejemplo de referencias campo abierto dentro de ciudad	
Metros	Resultado
5 (Mensaje parcial)	21:32:00.446 3 21:32:00.545 Mensaje parcial 21:32:09.166 Connection lost
12,5	21:38:22.447 3 21:38:22.502 Mensaje completo 21:38:26.286

Referencias dentro de edificio mismo espacio	
Metros	Resultado
10	22:04:55.815 3 22:04:56.032 Mensaje completo 22:04:59.587
15	22:08:27.602 3 22:08:28.115 Mensaje parcial 22:08:35.595 Connection lost

Referencias tras paredes (cristal, pladur, bloque, ladrillo...)	
Material	Resultado
Cristal	12,5 metros 18:35:28.172 3 18:35:28.485 Mensaje completo 18:35:33.256 18:35:46.338 3 18:35:46.842 Mensaje parcial 18:35:57.529 Connection lost
Pladur	3 paredes 18:49:25.196 3 18:49:25.696 Mensaje parcial 18:49:30.998 Connection lost

Ladrillo	1 pared 18:14:28.706 Connecting to - unnamed - ... 18:14:30.024 Connected 18:14:30.831 3 18:14:30.916 Mensaje completo 18:14:34.516 3 paredes 18:19:12.455 3 18:19:13.199 Mensaje parcial 18:19:20.173 Connection lost
Otros	SIN CONEXION

13.15 Resultados referencia NRF24L01 Control.

Retardo de reloj entre estaciones de emisor -0,200 s

Referencias campo abierto fuera de ciudad		
Metros	Resultado	
400	Emisor	Receptor
	17:10:28.167 -> 1	17:10:28.585 -> 1
	17:10:28.167 -> 1	17:10:28.622 -> 1
	17:10:28.167 -> 1	17:10:28.622 -> 1
	17:10:28.204 -> 1	17:10:28.622 -> 1
	17:10:28.204 -> 1	17:10:28.658 -> 1
600	Emisor	Receptor
	17:12:02.036 -> 1	17:12:02.507 -> 1
	17:12:02.036 -> 1	17:12:02.507 -> 1
	17:12:02.036 -> 1	17:12:02.507 -> 1
	17:12:02.072 -> 1	17:12:02.507 -> 1
	17:12:02.072 -> 1	17:12:02.542 -> 1

Referencias campo abierto dentro de ciudad		
Metros	Resultado	
100	Emisor	Receptor
	21:12:55.413 -> 1	21:12:55.579 -> 1
	21:12:55.413 -> 1	21:12:55.641 -> 1
	21:12:55.413 -> 1	21:12:55.641 -> 1
	21:12:55.413 -> 1	21:12:55.641 -> 1
	21:12:55.413 -> 1	21:12:55.641 -> 1

	Emisor	Receptor
250	21:22:04.449 -> 1	21:22:04.647 -> 1
	21:22:04.495 -> 1	21:22:04.647 -> 1
	21:22:04.495 -> 1	21:22:04.691 -> 1
	21:22:04.495 -> 1	21:22:04.691 -> 1
	21:22:04.544 -> 1	21:22:04.740 -> 1

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

Referencias dentro de edificio mismo espacio		
Metros	Resultado	
	Emisor	Receptor
50	17:40:22.116 -> 1	17:40:20.528 -> 1
	17:40:22.152 -> 1	17:40:20.575 -> 1
	17:40:22.152 -> 1	17:40:20.575 -> 1
	17:40:22.152 -> 1	17:40:20.575 -> 1
	17:40:22.152 -> 1	17:40:20.575 -> 1
	Emisor	Receptor
230	17:47:43.400 -> 1	17:47:41.823 -> 1
	17:47:43.400 -> 1	17:47:41.823 -> 1
	17:47:43.400 -> 1	17:47:41.823 -> 1
	17:47:43.400 -> 1	17:47:41.823 -> 1
	17:47:43.400 -> 1	17:47:41.823 -> 1

Retardo de reloj entre estaciones de emisor -0.2 s

Referencias dentro de edificio tras suelo		
Pisos	Resultado	
	Emisor	Receptor
1	17:42:05.840 -> 1	17:42:06.267 -> 1
	17:42:05.840 -> 1	17:42:06.306 -> 1
	17:42:05.840 -> 1	17:42:06.306 -> 1
	17:42:05.840 -> 1	17:42:06.306 -> 1
	17:42:05.840 -> 1	17:42:06.306 -> 1
	Emisor	Receptor
2	17:45:02.715 -> 1	17:45:03.169 -> 1
	17:45:02.715 -> 1	17:45:03.205 -> 1
	17:45:02.751 -> 1	17:45:03.205 -> 1
	17:45:02.751 -> 1	17:45:03.205 -> 1
	17:45:02.751 -> 1	17:45:03.205 -> 1

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

Referencias tras pared de pladur		
Paredes	Resultado	
3 (Pérdida de un paquete.)	Emisor	Receptor
	17:51:06.130 -> 1	17:51:04.514 -> 1
	17:51:06.130 -> 1	17:51:04.561 -> 1
	17:51:06.163 -> 1	17:51:04.561 -> 1
	17:51:06.198 -> 1	17:51:04.608 -> 1
	17:51:06.198 -> 1	
5	Emisor	Receptor
	17:57:01.638 -> 1	17:57:00.043 -> 1
	17:57:01.638 -> 1	17:57:00.043 -> 1
	17:57:01.638 -> 1	17:57:00.076 -> 1
	17:57:01.674 -> 1	17:57:00.076 -> 1
	17:57:01.674 -> 1	17:57:00.076 -> 1

Retardo de reloj entre estaciones de emisor -0.2 s

Referencias tras pared de bloque		
Paredes	Resultado	
1	Emisor	Receptor
	17:36:39.784 -> 1	17:36:40.211 -> 1
	17:36:39.784 -> 1	17:36:40.211 -> 1
	17:36:39.784 -> 1	17:36:40.248 -> 1
	17:36:39.784 -> 1	17:36:40.248 -> 1
	17:36:39.784 -> 1	17:36:40.248 -> 1

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

Referencias tras pared de ladrillo		
Paredes	Resultado	
3	Emisor	Receptor
	21:28:28.340 -> 1	21:28:26.760 -> 1
	21:28:28.340 -> 1	21:28:26.760 -> 1
	21:28:28.340 -> 1	21:28:26.760 -> 1
	21:28:28.340 -> 1	21:28:26.810 -> 1
	21:28:28.340 -> 1	21:28:26.810 -> 1
5	Emisor	Receptor

	21:23:30.543 -> 1	21:23:29.008 -> 1
	21:23:30.543 -> 1	21:23:29.008 -> 1
	21:23:30.543 -> 1	21:23:29.008 -> 1
	21:23:30.543 -> 1	21:23:29.008 -> 1
	21:23:30.589 -> 1	21:23:29.008 -> 1

Referencias tras cristal		
Metros	Resultado	
	Emisor	Receptor
400	17:15:48.634 -> 1	17:15:49.091 -> 1
	17:15:48.634 -> 1	17:15:49.091 -> 1
	17:15:48.634 -> 1	17:15:49.091 -> 1
	17:15:48.634 -> 1	17:15:49.127 -> 1
	17:15:48.671 -> 1	17:15:49.127 -> 1
600	17:13:52.876 -> 1	17:13:53.412 -> 1
	17:13:52.912 -> 1	17:13:53.412 -> 1
	17:13:52.949 -> 1	
	17:13:52.949 -> 1	
	17:13:52.949 -> 1	

13.16 Resultados referencia NRF24L01 Texto Corto.

Referencias campo abierto fuera de ciudad		
Metros	Resultado	
	Emisor	Receptor
400	17:10:28.241 ->	17:10:29.046 -> ...
	Comienzo de envío	Comienzo de recepción
	17:10:28.917 ->	17:10:29.546 -> ...
	Envío de paquetes: 20	fin de recepción
600	17:12:02.072 ->	17:12:02.542 ->...
	Comienzo de envío	Comienzo de recepción
	17:12:02.814 ->	17:12:03.319 -> ...
	Envío de paquetes: 20	fin de recepción

Referencias campo abierto dentro de ciudad
--

Metros	Resultado	
100	Emisor	Receptor
	21:12:55.449 -> Comienzo de envío 21:12:56.148 -> Envío de paquetes: 20	21:12:55.641 ->... Comienzo de recepción 21:12:56.463 ->... fin de recepción
250	Emisor	Receptor
	21:22:04.544 -> Comienzo de envío 21:22:05.242 -> Envío de paquetes: 20	21:22:04.740 -> ... Comienzo de recepción SIN DETERMINAR EL fin de recepción ya que no se recibió ningún texto completo.

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

Referencias dentro de edificio mismo espacio		
Metros	Resultado	
50	Emisor	Receptor
	17:40:22.202 ->... Comienzo del envío 17:40:22.886 -> Envío de paquetes: 20	17:40:20.575 ->... Comienzo de recepción 17:48:01.663 ->... fin de recepción
230	Emisor	Receptor
	17:48:02.494 -> ... Comienzo del envío 17:48:03.210 -> Envío de paquetes: 20	17:48:00.913 ->... Comienzo de recepción 17:40:21.278 ->... fin de recepción

Retardo de reloj entre estaciones de emisor -0.2 s

Referencias dentro de edificio tras suelo		
Pisos	Resultado	
1	Emisor	Receptor
	17:42:05.840 -> Comienzo del envío 17:42:06.596 -> Envío de paquetes: 20	17:42:06.306 -> ... Comienzo de recepción 17:42:07.116 -> ... fin de recepción
2	Emisor	Receptor

	17:45:02.790 -> ... Comienzo del envío 17:45:03.464 -> Envío de paquetes: 20	17:45:03.244 ->... Comienzo de recepción 17:45:04.005 -> ... fin de recepción
--	--	---

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

Referencias tras pared de pladur		
Paredes	Resultado	
	Emisor	Receptor
3 (Pérdida de paquetes.)	17:51:06.198 -> ... Comienzo del envío 17:51:06.940 -> Envío de paquetes: 20	17:51:04.608 ->... Comienzo de recepción 17:51:05.264 -> ... fin de recepción
	Emisor	Receptor
5 (Pérdida de paquetes)	17:57:01.674 -> ... Comienzo del envío 17:57:02.388 -> Envío de paquetes: 20	17:57:00.076->... Comienzo de recepción 17:57:00.210 -> ... recepción de último paquete del bloque.

Retardo de reloj entre estaciones de emisor -0.2 s

Referencias tras pared de bloque		
Paredes	Resultado	
	Emisor	Receptor
1	17:36:39.821 -> ... Comienzo del envío 17:36:40.532 -> Envío de paquetes: 20	17:36:40.248 ->... Comienzo de recepción 17:36:40.996 -> ... fin de recepción

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

Referencias tras pared de ladrillo		
Paredes	Resultado	
	Emisor	Receptor
3	21:28:28.389 -> ... Comienzo del envío	21:28:26.810 -> ... Comienzo de recepción

	21:28:29.084 -> Envío de paquetes: 20	21:28:27.543 -> ... fin de recepción
5	Emisor	Receptor
	21:23:30.589 -> ... Comienzo del envío 21:23:31.288 -> Envío de paquetes: 20	21:23:29.008 -> ... Comienzo de recepción 21:23:29.775 -> ... fin de recepción

Referencias tras cristal		
Metros	Resultado	
400	Emisor	Receptor
	17:15:48.671 -> Comienzo de envío 17:15:49.391 -> Envío de paquetes: 20	17:15:49.127 ->.... Comienzo de recepción 17:15:49.850 ->.... Fin de recepción
600	Emisor	Receptor
	17:13:52.982 -> Comienzo de envío 17:13:53.697 -> Envío de paquetes: 20	No se recibió ningún mensaje.

13.17 Resultados referencia NRF24L01 Texto Largo.

Referencias campo abierto fuera de ciudad.		
Metros	Resultado	
400	Emisor	Receptor
	17:10:28.954 -> Comienzo de envío 17:10:32.746 -> Envío de paquetes: 112	17:10:29.363 -> ... Comienzo de recepción 17:10:33.237 -> ... fin de recepción
600	Emisor	Receptor
	17:12:02.814-> Comienzo de envío 17:12:06.633 -> Envío de paquetes: 112	17:12:03.356 ->... Comienzo de recepción 17:12:07.193 ->... fin de recepción

Referencias campo abierto dentro de ciudad		
Metros	Resultado	
100	Emisor	Receptor
	21:12:56.182 -> Comienzo de envío 21:12:59.965 -> Envío de paquetes: 112	21:12:56.463 ->... Comienzo de recepción 21:13:00.249 ->... fin de recepción (Mensaje parcial)
250	Emisor	Receptor
	21:22:04.544 -> Comienzo de envío 21:22:05.242 -> Envío de paquetes: 20	21:22:05.275 ->... Comienzo de recepción SIN DETERMINAR EL fin de recepción ya que no se recibió ningún texto completo.

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

Referencias dentro de un edificio en el mismo espacio.		
Metros	Resultado	
50	Emisor	Receptor
	17:39:44.735 ->... Comienzo del envío 17:39:48.535 -> Envío de paquetes: 112	17:39:43.288 ->... Comienzo de recepción 17:39:46.803->... fin de recepción.
230	Emisor	Receptor
	17:47:44.158 ->... Comienzo del envío 17:47:47.966 -> Envío de paquetes: 112	17:47:42.620 ->... Comienzo de recepción 17:47:46.526 ->... recepción de fin de recepción.

Retardo de reloj entre estaciones de emisor -0.2 s

Referencias dentro de edificio tras suelo.		
Pisos	Resultado	
1	Emisor	Receptor
	17:42:06.596 - > Comienzo del envío 17:42:10.377 -> Envío de paquetes: 112	17:42:07.116 ->... Comienzo de recepción 17:42:10.986 -> ... fin de recepción

	Emisor	Receptor
2	17:45:03.501 -> ... Comienzo del envío 17:45:07.297 -> Envío de paquetes: 112	17:45:04.041 ->... Comienzo de recepción 17:45:07.880 ->... fin de recepción

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

Referencias tras pared de pladur.		
Paredes	Resultado	
	Emisor	Receptor
3 (Pérdida grande de paquetes.)	17:50:47.676 -> ... Comienzo del envío 17:50:51.468 -> Envío de paquetes: 112	17:50:46.097 ->... Comienzo de recepción 17:50:49.846 -> ... recepción de último paquete del bloque.
	Emisor	Receptor
5 (Pérdida grande de paquetes)	17:57:02.423 ->... Comienzo del envío 17:57:06.225 -> Envío de paquetes: 112	17:57:01.662 ->... Comienzo de recepción 17:57:03.763 ->... recepción de último paquete del bloque.

Retardo de reloj entre estaciones de emisor -0.2 s

Referencias tras pared de bloque.		
Paredes	Resultado	
	Emisor	Receptor
1	17:36:40.532 ->... Comienzo del envío 17:36:44.328 -> Envío de paquetes: 112	17:36:41.031 ->... Comienzo de recepción 17:36:44.917 ->... fin de recepción

Retardo de reloj entre estaciones de emisor +1,689 s

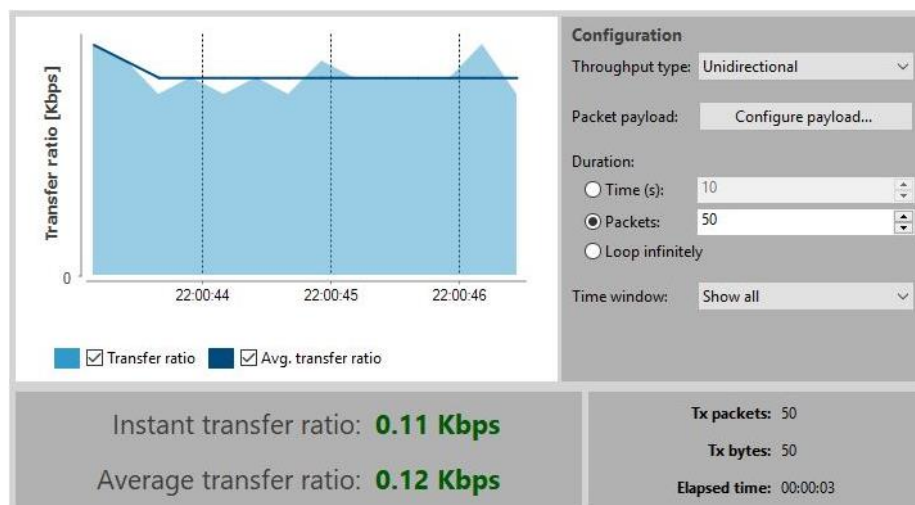
Referencias tras pared de ladrillo.		
Paredes	Resultado	
3	Emisor	Receptor

	21:28:29.121 -> ... Comienzo del envío 21:28:32.888 -> Envío de paquetes: 112	21:28:27.593 ->... Comienzo de recepción 21:28:31.460 ->... fin de recepción
5	Emisor 21:23:31.336 ->... Comienzo del envío 21:23:35.127 -> Envío de paquetes: 112	Receptor 21:23:29.775 ->... Comienzo de recepción 21:23:33.708 -> ... fin de recepción

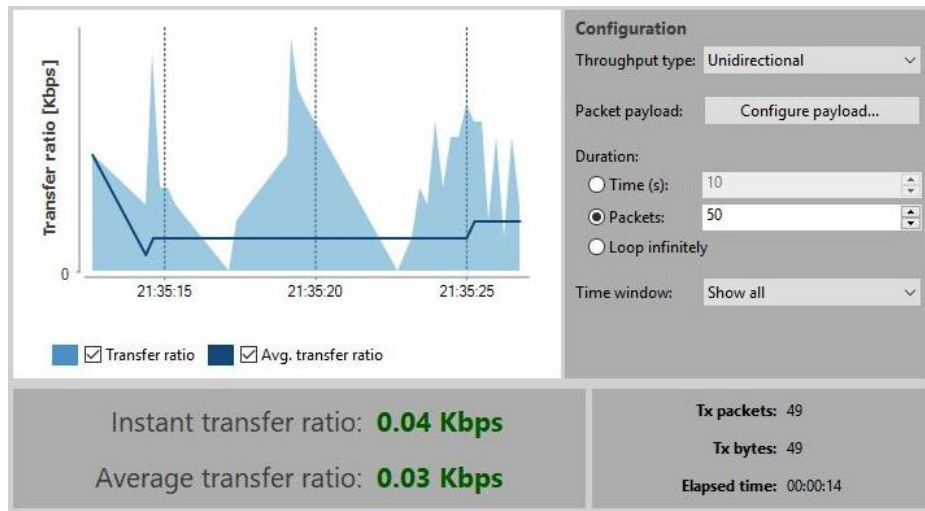
Referencias tras cristal.		
Metros	Resultado	
	Emisor	Receptor
400	17:15:49.425 -> Comienzo de envío 17:15:53.222 -> Envío de paquetes: 112	17:15:49.883 ->... Comienzo de recepción 17:15:53.790 ->... Fin de recepción
600	Emisor 17:13:53.734 -> Comienzo de envío 17:13:57.513 -> Envío de paquetes: 112	Receptor No se recibió ningún mensaje.

13.18 Resultados referencia XBEE Control.

Prueba de control campo abierto fuera de ciudad 750m:



Prueba de control en campo abierto dentro de ciudad 400m:



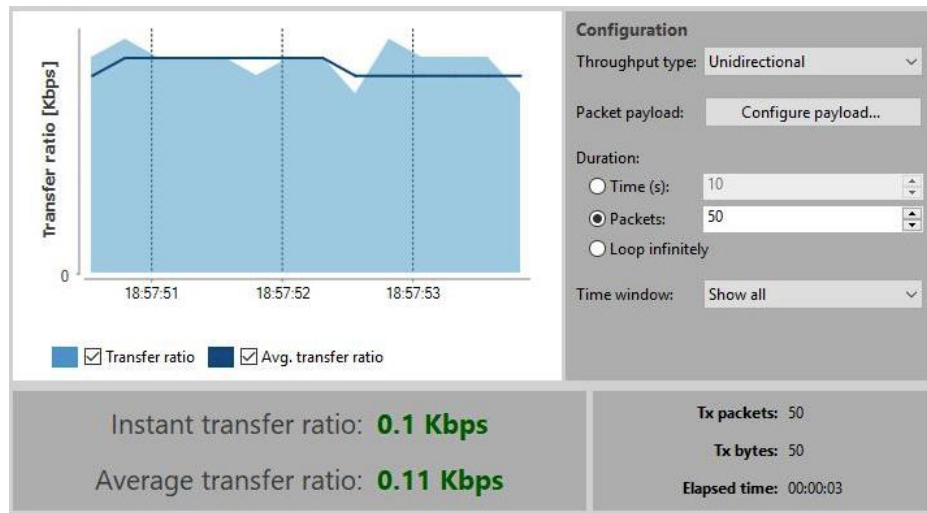
Prueba de control dentro de un edificio en un mismo espacio 230m:



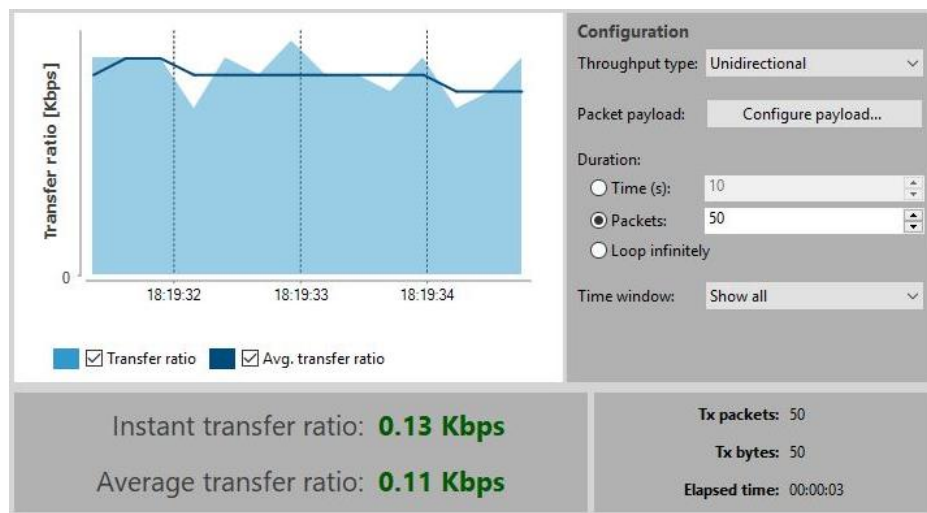
Prueba de control dentro de un edificio tras suelo:



Prueba de control tras pared(es) de pladur:



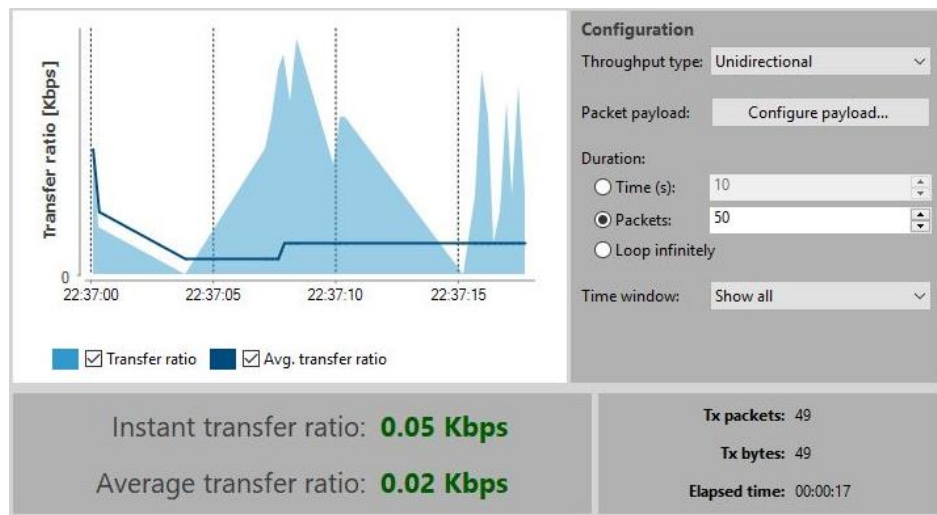
Prueba de control tras pared de bloque:



Prueba de control tras 5 paredes de ladrillo 35m:

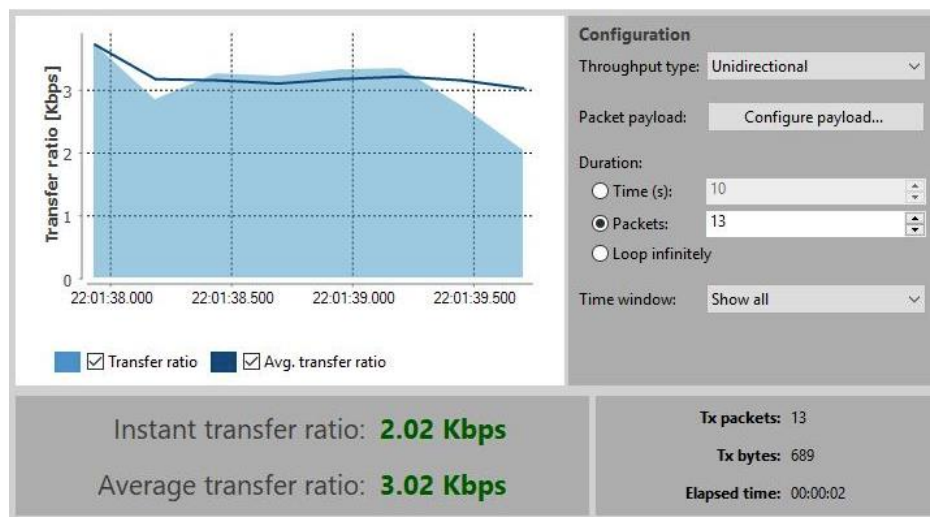


Prueba de control 400m tras cristal:

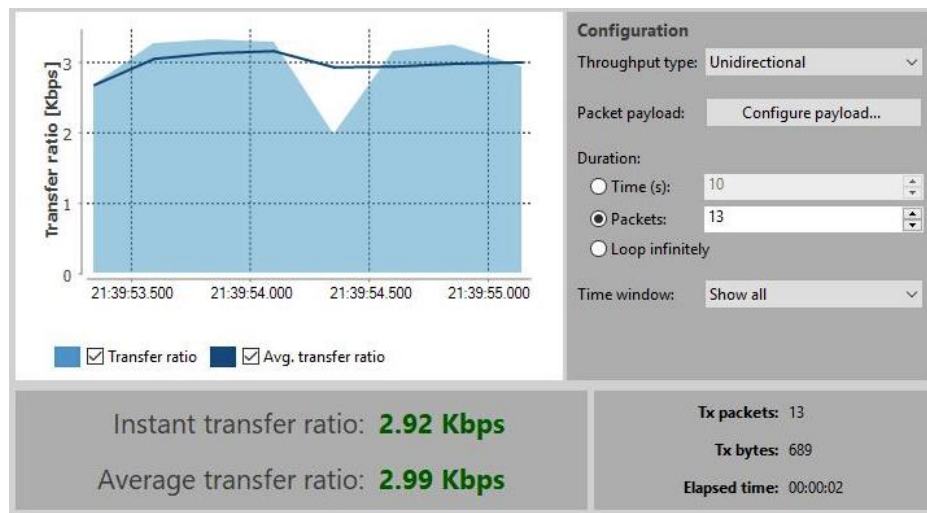


13.19 Resultados referencia XBEE Texto Corto.

Prueba texto corto en espacio abierto fuera de ciudad 750m:



Prueba texto corto en espacio abierto dentro de ciudad 400m:



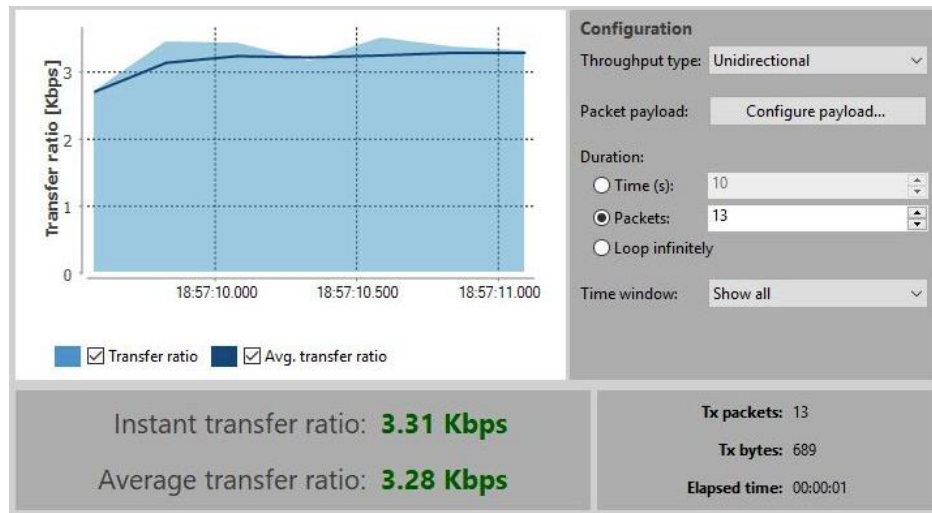
Prueba texto corto en un mismo espacio dentro de un edificio 230m:



Prueba texto corto dentro de un edificio tras suelo:



Prueba texto corto tras 3 paredes de pladur:



Prueba texto corto tras pared de bloque:



Prueba texto corto tras 5 paredes de ladrillo 35m:

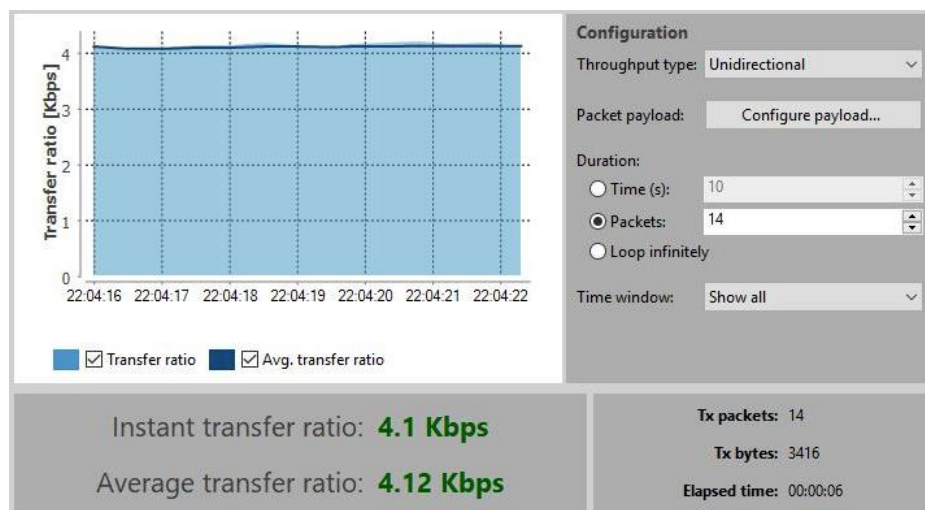


Prueba texto corto tras cristal 450m:

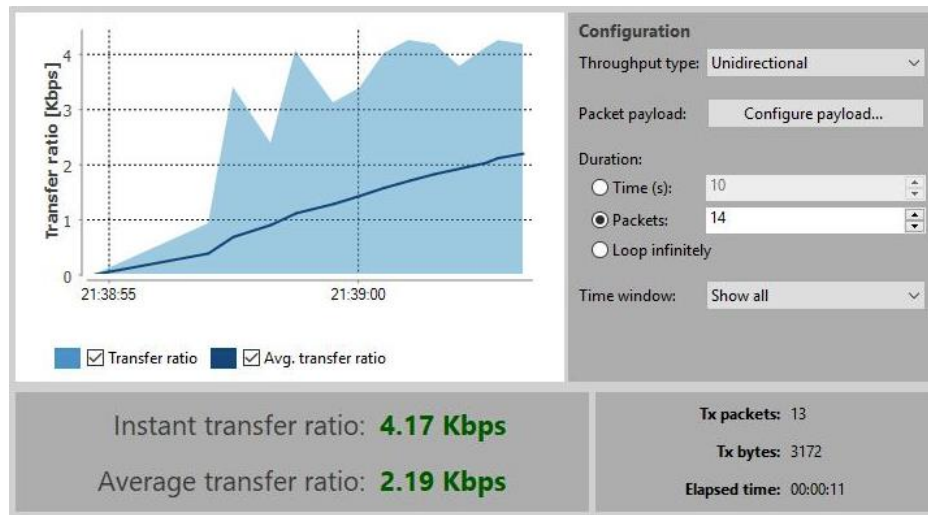


13.20 Resultados referencia XBEE Texto Largo.

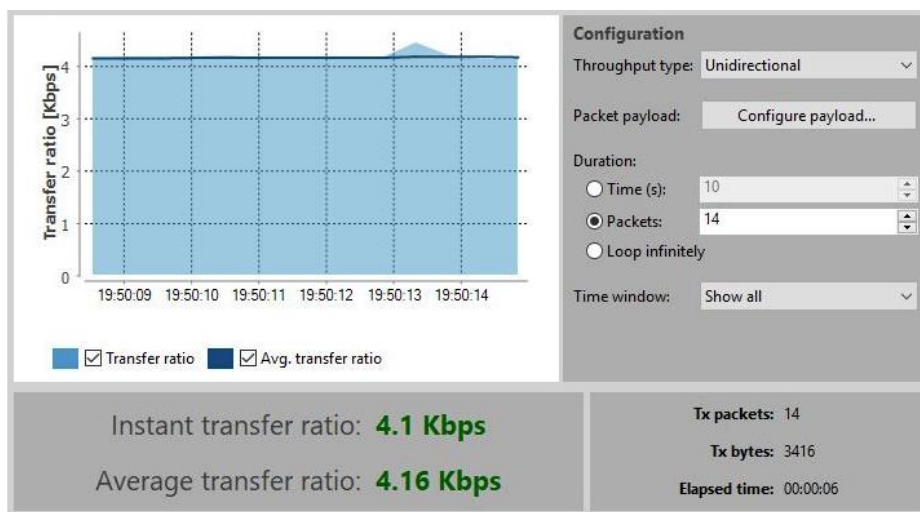
Prueba texto largo en espacio abierto fuera de ciudad 850m:



Prueba texto largo en espacio abierto dentro de ciudad 400m:



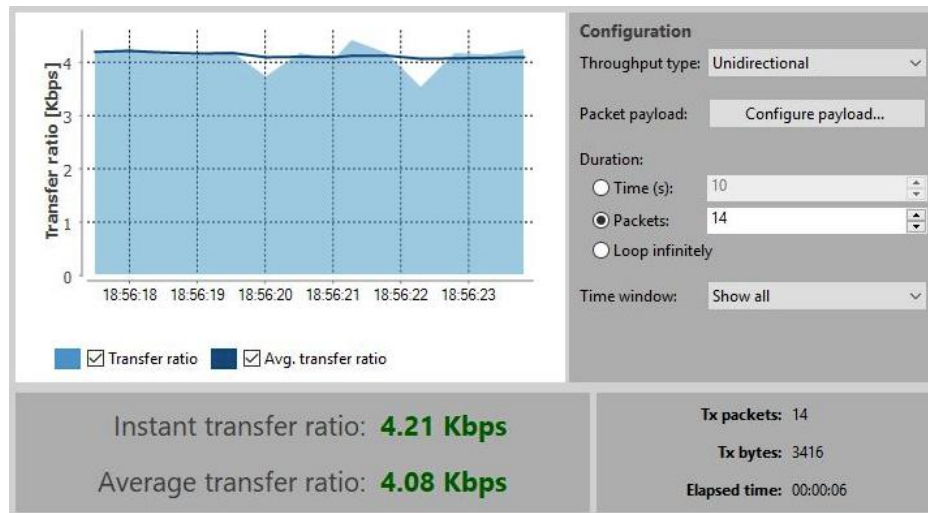
Prueba texto largo en un mismo espacio dentro de un edificio 230m:



Prueba texto largo dentro de un edificio tras suelo:



Prueba texto largo tras 3 paredes de pladur:



Prueba texto largo tras pared de bloque:



Prueba texto largo tras 5 paredes de ladrillo:



Prueba texto largo tras cristal 400m:

