



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

**“ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS IEEE 802.11 AX E
IEEE 802.15.4 EN LA BANDA DE FRECUENCIA DE 2.4 GHZ EN UN
AMBIENTE INDUSTRIAL TEXTIL CONTROLADO Y SU IMPACTO PARA
IIOT EN DOS ESCENARIOS”.**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTOR: BRYAN VICENTE MAYA MAFLA

DIRECTOR: MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ

Ibarra-Ecuador

2023

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100329879-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Bryan Vicente Maya Mafla		
DIRECCIÓN:	Atuntaqui		
EMAIL:	bvmayam@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL:	0980420074

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Análisis de rendimiento de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en la banda de frecuencia de 2.4 GHz en un ambiente industrial textil controlado y su impacto para IIoT en dos escenarios”.
AUTOR:	Bryan Vicente Maya Mafla
FECHA:	24 de febrero de 2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO (X) POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero En Electrónica y Redes de Comunicación
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Alberto Vásquez

2 **CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de febrero de 2023

EL AUTOR:



Bryan Vicente Maya Mafla
CI: 100329879-9

CERTIFICACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Ing. Carlos Alberto Vásquez director del presente trabajo de titulación certifica:

Que, el presente trabajo de titulación "Análisis de rendimiento de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en la banda de frecuencia de 2.4 GHz en un ambiente industrial textil controlado y su impacto para IIoT en dos escenarios" ha sido desarrollado por el señor Bryan Vicente Maya Mafla, bajo mi supervisión.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad.

CARLOS
ALBERTO
VASQUEZ AYALA

Firmado digitalmente por
CARLOS ALBERTO
VASQUEZ AYALA
Fecha: 2023.02.23 21:01:22
05'00'

Ing. Carlos Alberto Vásquez
DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mis padres, porque siempre me han apoyado en todo sentido, especialmente incentivándome a seguir adelante en mi carrera universitaria, a no desfallecer y mostrarme que la vida no siempre es fácil y cuando se pone difícil es cuando más mejoramos. Además, a mis amigos quienes siempre estuvieron en las buenas y en las malas a lo largo de todo este tiempo, a los que están y a los que no.

Vicente Maya

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por permitirme culminar este ciclo de mi vida. También a la Universidad Técnica del Norte, ya que, en ella cursé mi carrera como estudiante, a todos mis docentes que a lo largo de esta etapa me ayudaron y me formaron como soy ahora. A mi tutor de tesis MsC. Carlos Alberto Vásquez por transmitirme sus conocimientos y guiarme efectívame hasta la culminación del trabajo. Gracias.

Vicente Maya

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	i
CERTIFICACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
1. CAPÍTULO I: Planteamiento del proyecto	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Identificación del problema	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Alcance	5
1.5 Justificación	7
2. CAPÍTULO II: Fundamento teórico.....	9
2.1 Comunicaciones inalámbricas	9
2.1.1 Espectro electromagnético.....	9
2.1.2 Espectro radioeléctrico.....	9
2.1.3 Bandas de operación.....	10
2.1.4 Aplicaciones de comunicación.....	11
2.2 Redes inalámbricas	11
2.2.1 Arquitectura de redes inalámbricas	12
2.2.2 Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas	14
2.3 Modelo referencia OSI.....	15
2.3.1 Capa física.....	16
2.3.2 Capa enlace de datos	17

2.4 Estándares de operación.....	17
2.4.1 Estándar IEEE 802.11ax	17
2.4.1.1 Capa física	20
2.4.1.2 Capa enlace de datos.....	20
2.4.2 Estándar IEEE 802.15.4	21
2.4.2.1 Capa física	22
2.4.2.2 Capa enlace de datos.....	22
2.5 Problemas de redes inalámbricas	22
2.5.1 Problemas naturales en redes inalámbricas	23
2.5.2 Problemas artificiales en redes inalámbricas	24
2.6 Internet de las cosas IoT	25
2.6.1 Arquitectura IoT.....	25
2.6.2 Tecnologías IoT.....	27
2.7 Redes de sensores inalámbricos.....	27
2.7.1 Protocolos.....	29
2.7.2 Elementos	30
2.7.2 Clasificación de nodos IoT.....	31
2.8 Internet de las cosas en la industria IIoT	32
2.8.1 Redes inalámbricas en la industria	32
2.8.2 Actualidad del IoT en la industria	33
2.8.3 Desafíos del IoT en la industria.....	33
2.9 Modelo en V	34
3. CAPÍTULO III: Requerimientos y Diseño.....	37
3.1 Análisis de la situación actual.....	37
3.1.1 Análisis de los resultados	38
3.2 Introducción al desarrollo del proyecto	39
3.2.1 Propósito del estudio	39
3.2.2 Ámbito del estudio	39
3.2.3 Características de los beneficiarios	40
3.3 Descripción general del proyecto.....	40
3.4 Modelo en V	41
3.5 Requerimientos del sistema	41
3.5.1 Construcción de atributos y requerimientos.....	41
3.5.2 Nomenclatura de los requerimientos para usarse	42
3.5.3 Requerimiento de Stakeholders.....	42

3.5.4	Requerimiento del sistema	43
3.5.5	Requerimiento de arquitectura	45
3.6	Elección de hardware y software	47
3.6.1	Hardware y Software 802.11 ax	47
3.6.1.1	Hardware	47
3.6.1.2	Software.....	52
3.6.2	Hardware y software 802.15.4 LoRa	53
3.6.2.1	Hardware	53
3.6.2.2	Software.....	55
3.7	Recursos.....	56
3.7.1	Recursos humanos.....	56
3.7.2	Recursos económicos	56
3.7.3	Recursos tecnológicos	57
3.8	Diseño de red y sensores 802.11 ax	58
3.8.1	Diagrama de flujo 802.11 ax	58
3.8.2	Diagrama de bloques 802.11ax	60
3.8.3	Implementación de dispositivos	60
3.8.4	Configuración de red 802.11 ax	61
3.8.5	Configuración de nodos/estaciones	62
3.8.6	Topología tecnología IEEE 802.11ax	64
3.9	Diseño de red y sensores 802.15.4 LoRa.....	65
3.9.1	Diagrama de flujo 802.15.4 LoRa.....	66
3.9.2	Diagrama de bloques 802.15.4 LoRa.....	67
3.9.3	Diagrama circuito 802.15.4 LoRa.....	68
3.9.4	Programación de la red 802.15.4 LoRa.....	69
3.9.4.1	Programación del nodo receptor.....	71
3.9.4.2	Programación de nodo transmisor	73
3.9.5	Topología tecnología IEEE 802.15.4 LoRa	75
3.10	Analizador de espectro.....	76
3.10.1	Diagrama de flujo.....	77
3.10.2	Diagrama de bloques	78
3.10.3	Configuración aplicada al estudio	78
3.10.4	Parámetros técnicos previos	81
4.	CAPÍTULO IV: Desarrollo experimental	82
4.1.	Sistema propuesto	82

4.1.1 Descripción del proyecto.....	82
4.1.2 Despliegue en zona textil	83
4.1.3 Aplicabilidad las WSN.....	85
4.1.3.1. WSN IEEE 802.11ax.....	86
4.1.3.2 WSN LoRa IEEE 802.15.4.....	88
4.2 Estudio del estado actual de las redes inalámbricas en el área textil	89
4.2.1 Estudio del estado actual de área textil sin producción.....	90
4.2.2 Estudio del estado actual de área textil en producción.....	92
4.3 Estudio red inalámbrica IEEE 802.11ax	94
4.3.1. Elementos intrínsecos del estudio IEEE 802.11ax.....	94
4.3.1.1 Canales disponibles para transmitir IEEE 802.11ax	95
4.3.1.2 Frecuencia fundamental IEEE 802.11 ax	95
4.3.1.3 Tipo de modulación IEEE 802.11ax.....	96
4.3.1.4 Índice de modulación IEEE 802.11 ax	97
4.3.1.5 Data Rate 802.11 ax.....	97
4.3.2. Elementos susceptibles del estudio IEEE 802.11ax.....	93
4.3.2.1 Umbral de canal claro IEEE 802.11ax	93
4.3.2.2 Sensibilidad a la red IEEE 802.11ax	97
4.3.2.3 Potencia de transmisión IEEE 802.11 ax.....	99
4.3.2.4 Velocidad de transmisión IEEE 802.11 ax	102
4.3.2.5 Bit Rate IEEE 802.11 ax.....	107
4.4.1 Elementos intrínsecos del estudio IEEE 802.15.4 LoRa.....	108
4.4.1.1 Canales disponibles para transmitir IEEE 802.15.4 LoRa.....	108
4.4.1.2 Frecuencia fundamental IEEE 802.15.4 LoRa	109
4.4.1.3 Tipo de modulación IEEE 802.15.4 LoRa.....	109
4.4.1.4 Índice de modulación IEEE 802.15.4 LoRa	110
4.4.1.5 Data Rate IEEE 802.15.4 LoRa	111
4.4.2 Elementos susceptibles del estudio IEEE 802.15.4 LoRa.....	111
4.4.2.1 Umbral canal claro IEEE 802.15.4 LoRa	112
4.4.2.2 Sensibilidad a la red IEEE 802.15.4 LoRa	114
4.4.2.3 Potencia de transmisión IEEE 802.15.4 LoRa.....	116
4.4.2.4 Velocidad de transmisión IEEE 802.15.4 LoRa	120
4.4.2.5 Bit Rate IEEE 802.15.4 LoRa.....	120
5. CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	121
5.1 Comparación de los resultados de los modelos 802.11ax y LoRa	121

5.2 Ventajas y desventajas comerciales.....	123
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	118
Anexo 1: Encuesta a encargados de estudio de redes inalámbricas	122
Anexo 2: Programación de LoRa	124
Anexo 3: Manual Técnico	132
Anexo 4: Registro de pruebas.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Bandas de operación espectro radioeléctrico	10
Tabla 2	Aplicaciones de las bandas de frecuencia	11
Tabla 3	Velocidad del estándar 802.11 ax.....	19
Tabla 4	Método y formato de levantamiento de información	37
Tabla 5	Abreviatura de requerimientos	42
Tabla 6	Requerimientos stakeholders.....	42
Tabla 7	Requerimientos del sistema.....	43
Tabla 8	Requerimientos de arquitectura.....	45
Tabla 9	Opciones de Router y sus costos	48
Tabla 10	Opciones de tarjeta de red PCI y sus costos	49
Tabla 11	Hardware Raspberry Pi Compute 4 IO Board y Modulo 4	49
Tabla 12	Características técnicas del hardware tarjeta WiFi 6E AX210NGW DTK.....	50
Tabla 13	Características técnicas del hardware Huawei WiFi AX3	51
Tabla 14	Software de Raspberry OS	52
Tabla 15	Opciones de microprocesador para LoRa y sus costos	54
Tabla 16	Hardware ESP32 WROOM 32.....	54
Tabla 17	Transceptor SX1280.....	54
Tabla 18	Antena Wifi-genérica	55
Tabla 19	Software de programación ARDUINO IDE.....	55
Tabla 20	Recursos humanos	56
Tabla 21	Recursos económicos	57
Tabla 22	Recursos tecnológicos	57
Tabla 23	Conexión de pines entre ESP32 y SX1280	69
Tabla 24	DataRate correspondiente al Datasheet de router.....	92
Tabla 25	Resultado 1 Umbral Canal Claro 802.11ax	96
Tabla 26	Resultado 2 Umbral Canal Claro 802.11ax	96
Tabla 27	Resultado 3 Umbral Canal Claro 802.11ax	96
Tabla 28	Resultado 4 Umbral Canal Claro 802.11ax	97
Tabla 29	Resultado 5 Umbral Canal Claro 802.11ax	97
Tabla 30	Resultados del Umbral de Canal Claro Promedio 802.11ax	97
Tabla 31	Resultado 1 Potencia de transmisión 802.11ax	101
Tabla 32	Resultado 2 Potencia de transmisión 802.11ax	101
Tabla 33	Resultado 3 Potencia de transmisión 802.11ax	102
Tabla 34	Resultado 4 Potencia de transmisión 802.11ax	102
Tabla 35	Resultado 5 Potencia de transmisión 802.11ax	102
Tabla 36	Resultados de potencia de transmisión promedio en 802.11ax.....	102
Tabla 37	Promedio Velocidad de transmisión en producción.....	104
Tabla 38	Promedio Velocidad de transmisión sin producción	106
Tabla 39	Resultados de velocidad de transmisión promedio 802.11ax.....	107
Tabla 40	Promedio BitRate con producción.....	107
Tabla 41	Promedio BitRate sin producción.....	107
Tabla 42	Resultados de tasa de transferencia promedio 802.11ax en Kbytes.....	108
Tabla 43	Parámetro de modulación de LoRa factor de dispersión.....	109
Tabla 44	Parámetro de modulación de LoRa ancho de banda “kHz”	110

Tabla 45	Parámetro de modulación de LoRa tasa de codificación.....	110
Tabla 46	Validación de símbolo correspondiente al BitRate y Bandwidth BW	111
Tabla 47	Resultado 1 Umbral Canal Claro LoRa.....	113
Tabla 48	Resultado 2 Umbral Canal Claro LoRa.....	113
Tabla 49	Resultado 3 Umbral Canal Claro LoRa.....	114
Tabla 50	Resultado 4 Umbral Canal Claro LoRa.....	114
Tabla 51	Resultado 5 Umbral Canal Claro LoRa.....	114
Tabla 52	Resultados del Umbral de Canal Claro Promedio LoRa	114
Tabla 53	Resultado 1 Potencia de transmisión LoRa	118
Tabla 54	Resultado 2 Potencia de transmisión LoRa	118
Tabla 55	Resultado 3 Potencia de transmisión LoRa	119
Tabla 56	Resultado 4 Potencia de transmisión LoRa	119
Tabla 57	Resultado 5 Potencia de transmisión LoRa	119
Tabla 58	Resultados de potencia de transmisión promedio en LoRa.....	119
Tabla 59	Velocidad de transmisión en LoRa.....	120
Tabla 60	Matriz de comparación de redes inalámbricas 802.11ax y LoRa.....	121
Tabla 61	Ventajas y desventajas 802.11ax IEEE 802.15.4 LoRa	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de redes inalámbricas	12
Figura 2	Modos de funcionamiento de redes inalámbricas	13
Figura 3	Modelo de referencia OSI	15
Figura 4	Siete capas del modelo de referencia OSI.....	16
Figura 5	Arquitectura de referencia a modelo OSI en IoT	26
Figura 6	Redes de sensores inalámbricos	29
Figura 7	Modelo en V.....	36
Figura 8	Raspberry Pi Compute Module 4 IO Board.....	50
Figura 9	Tarjeta WiFi 6E AX210NGW DTK	51
Figura 10	Huawei WiFi AX3	52
Figura 11	Diagrama de flujo de implementación de la tecnología 802.11ax	59
Figura 12	Diagrama de bloques componentes para dispositivo 802.11ax	60
Figura 13	Conexión entre elementos del dispositivo 802.11ax.....	61
Figura 14	Ajustes avanzados de red inalámbrica Huawei AX3	62
Figura 15	Interfaz RaspberryOS.....	63
Figura 16	Instalación drivers correspondientes a tarjetas de red.....	63
Figura 17	Asignación IPv4 nodo 1	64
Figura 18	Asignación IPv4 nodo 2.....	64
Figura 19	Topología IEEE 802.11ax.....	65
Figura 20	Diagrama de flujo de implementación de tecnología 802.15.4 LoRa.....	66
Figura 21	Diagrama interconexión componentes	67
Figura 22	Diagrama de circuito LoRa	68
Figura 23	Programación de settings de los pins a usar	70
Figura 24	Programación de settings de los parámetros a utilizar	70
Figura 25	Asignación de librerías y configuraciones a realizar	71
Figura 26	Programación de tiempo de espera y asignación de nodos	72
Figura 27	Programación de generación de registro de datos recibidos	72
Figura 28	Programación de la configuración del dispositivo a utilizar	73
Figura 29	Programación de settings de los parámetros a utilizar	73
Figura 30	Programación de asignación de transmisor.....	74
Figura 31	Programación de paquete a enviar.	74
Figura 32	Programación de la configuración del dispositivo a utilizar.....	75
Figura 33	Topología IEEE 802.15.4 LoRa.....	76
Figura 34	Diagrama funcionamiento del analizador de espectro radioeléctrico	77
Figura 35	Interconexión de componentes para funcionamiento analizador de espectro	78
Figura 36	Definición de parámetros GNU Radio.....	79
Figura 37	Configuración al canal 6 para el estudio	79
Figura 38	Configuración ancho de banda.....	80
Figura 39	Programación en bloque de flujo de sistema ADALM-PLUTO SDR.....	80
Figura 40	Arquitectura del proyecto a realizar	83
Figura 41	Planta textil UTN (2022).....	84
Figura 42	Ubicación de nodos en Planta Textil UTN	85
Figura 43	Equipos configurados de la tecnología IEEE 802.11ax	86
Figura 44	Estación 1 desplegada en planta textil UTN	87

Figura 45 Estación 2 desplegada en planta textil UTN	87
Figura 46 Equipos configurados de la tecnología IEEE 802.15.4 LoRa	88
Figura 47 Estación 1 desplegada planta textil UTN	89
Figura 48 Estación 2 desplegada planta textil UTN	89
Figura 49 Redes existentes en “PLANTA TEXTIL UTN”	90
Figura 50 Analizador de espectro en planta textil UTN	90
Figura 51 Sensibilidad de la red existente en Planta Textil UTN	91
Figura 52 Potencia en planta textil UTN sin producción	92
Figura 53 Sensibilidad de espectro radioeléctrico en planta textil UTN en producción	92
Figura 54 Potencia en planta textil UTN en producción	93
Figura 55 Sensibilidad de la red con tecnologías desplegadas.	93
Figura 56 Potencia de la red con tecnologías desplegadas.	94
Figura 57 Interfaz de Huawei configuraciones avanzadas de WiFi	95
Figura 58 División de canales estándar IEEE 802.11	96
Figura 59 Modulación OFDMA en estándar IEEE 802.11 ax	96
Figura 60 Tabla de modulación MU-OFDMA (802.11ax)	97
Figura 61 Umbral de Canal Claro 802.11ax ambiente en producción	94
Figura 62 Umbral de Canal Claro 802.11ax ambiente sin producción	95
Figura 63 Mapa de la sensibilidad 802.11 ax a través del tiempo en ambiente en producción	98
Figura 64 Mapa de la sensibilidad 802.11 ax a través del tiempo en ambiente sin producción	98
Figura 65 Potencia de transmisión 802.11ax existente en ambiente textil con producción	99
Figura 66 Potencia de transmisión 802.11ax existente en ambiente textil sin producción	100
Figura 67 Prueba 1 ejecución de Iperf3 ambiente con producción	103
Figura 68 Prueba 2 ejecución de Iperf3 ambiente con producción	104
Figura 69 Prueba 1 ejecución de Iperf3 ambiente sin producción	105
Figura 70 Prueba 2 ejecución de Iperf3 ambiente sin producción	106
Figura 71: Umbral de Canal Claro LoRa ambiente en producción	112
Figura 72: Umbral de Canal Claro LoRa ambiente en producción	113
Figura 73 Mapa de la sensibilidad LoRa a través del tiempo en ambiente en producción	115
Figura 74 Mapa de la sensibilidad LoRa a través del tiempo en ambiente sin producción	116
Figura 75 Potencia de transmisión LoRa existente en ambiente textil con producción	117
Figura 76 Potencia de transmisión LoRa existente en ambiente textil sin producción	118

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo análisis del rendimiento en las tecnologías inalámbricas IEEE 802.11ax e IEEE 802.15.4 en diferentes escenarios en la industria textil en la banda de frecuencia 2.4 GHz; para el cumplimiento de esto fue necesario efectuar una investigación bibliográfica de sus arquitecturas en sus capas física y de enlace correspondientes al modelo OSI; de la misma forma, el diseño de las redes inalámbricas para su cuantificación, posterior a ello, su implementación para la recolección de datos y, con ello, la determinación de sus ventajas y desventajas, a la vez que la presentación de un documento de guía técnica que conforma elementos importantes de implementación de redes IIoT. Es importante mencionar que el ambiente donde se desarrolló el estudio fue controlado en dos escenarios que fueron con y sin producción. Para el diseño de las redes inalámbricas se seleccionó el hardware y software bajo el concepto de que se acoplen eficazmente a los requerimientos. Los datos fueron extraídos gracias a la autorización que la Universidad Técnica del Norte brindó a través de los planos de su planta textil. También es pertinente mencionar que los datos principales de estudio fueron el Umbral de Canal Claro, la sensibilidad de la red, la potencia de transmisión, la velocidad de transmisión y el Bit Rate, cuyos datos se especificaron en una matriz de doble entrada de tipo comparativo. Respecto a las ventajas y desventajas comerciales de igual formas se especificaron en una matriz que abarca los parámetros y sus características.

Palabras clave: Análisis, rendimiento, tecnologías, frecuencia, industria e IIoT.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the performance of IEEE 802.11ax and IEEE 802.15.4 wireless technologies in different scenarios in the textile industry in the 2.4 GHz frequency band; To comply with this, it was necessary to carry out a bibliographical investigation of their architectures in their physical and link layers corresponding to the OSI model; in the same way, the design of wireless networks for their quantification, after that, their implementation for data collection and, with it, the determination of their advantages and disadvantages, as well as the presentation of a guide document technique that forms important elements of the implementation of IIoT networks. It is important to mention that the environment where the study was developed was controlled in two scenarios that were with and without production. For the design of wireless networks, the hardware and software were selected under the concept that they couple effectively to the requirements. The data was extracted thanks to the authorization that the Technical University of the North provided through the plans of its textile plant. It is also pertinent to mention that the main study data were the Canal Claro Threshold, network sensitivity, transmission power, transmission speed and Bit Rate, whose data was specified in a comparative double-entry matrix. Regarding the commercial advantages and disadvantages, they were also specified in a matrix that covers the parameters and their characteristics.

Keywords: Analysis, performance, technologies, frequency, industry and IIoT.

1. CAPÍTULO I: Planteamiento del proyecto

1.1 Antecedentes

Son diversos los estudios realizados en referencia a esta temática sobre el análisis de rendimiento de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, sin embargo, es importante acoger ciertos criterios que han sido recopilados y que se cree van en función de aportar a la presente investigación para la consecución de sus metas.

En el trabajo realizado por Torres (2021) para la Universidad Nacional de Chimborazo cuyo tema es: Análisis y simulación del Estándar 802.11 ax para evaluar el rendimiento de despliegues WLAN en escenarios con tráfico de red elevado concluye que: «el estándar 802.11 ax mejora el uso la red, este se refleja en varios parámetros como: capacidad, eficiencia, rendimiento, calidad de servicio y latencia reducida. es evidente que el 802.11ax es una versión mejorada del estándar 802.11 ac» (p.38). En este sentido, los aspectos relevantes de la red son el rendimiento, la perdida y la ráfaga de paquetes. Es necesario indicar que este estudio aporta con ciertos puntos importantes a la presente investigación sobre todo en el planteamiento de estas tecnologías en la industria.

Acuña y Aponte (2018) en su estudio para la Universidad de Colombia Sede El Claustro el cual mantiene que: «en los últimos años se ha visto el continuo avance tecnológico de los dispositivos electrónicos que permiten conectividad entre los usuarios, razón por la cual se requiere conexiones inalámbricas para permitir esta comunicación» (p.1). Es importante mencionar que, es relevante su aporte al presente trabajo debido a la importancia que dan sobre las características de las tecnologías de tipo inalámbrico observadas precisamente en las normas IEEE y manifiestan que una función principal de estas redes WLAN es precisamente la capacidad que estas tienen en cuanto a la conectividad y el acceso a Ethernet dando al usuario dinamismo y flexibilidad.

El trabajo de Ortiz (2020) efectuado para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito tuvo por objeto el «desarrollo de una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LoRa para el monitoreo de un sistema» (p.2). Para el cumplimiento de esto fue

necesario la recopilación de información determinante en cuanto a la tecnología LoRa y por supuesto sus estándares, en este sentido fue importante el diseño de sus sensores de tipo inalámbrico. Para la implementación de esta red fue necesario dichos sensores con Gateway y Raspberry y su transmisión es de seis segundos. Este trabajo orienta en diversos aspectos a la presente investigación sobre todo en cuanto a la tecnología LoRa y sus características.

El estudio de Suárez (2021) para la Universidad Técnica del Norte en el Instituto de Posgrado tiene por objeto: «implementar una Estación portátil de medición del espectro radioeléctrico que permita la toma de datos del estado de las frecuencias para su análisis general» (p.14). Para esto fue necesario, el establecimiento de ciertos parámetros de análisis sobre el comportamiento del espectro radio eléctrico y efectuar sus mediciones respectivas. Suárez (2021) llegó a concluir que es importante:

Definir los parámetros de configuración antes de operar la estación de monitoreo es fundamental para posicionarnos adecuadamente en el servicio de telecomunicaciones y en el rango de frecuencia que se desea monitorear y estudiar; en este estudio se ha definido a: la frecuencia, frecuencia central, el ancho de banda e intensidad de la señal como parámetros principales a considerar como fuente de información para cualquier análisis que el interesado desee realizar.

Por estas razones este trabajo aportó en gran medida a la presente investigación sobre todo cuando se trata de los parámetros de configuración y la definición explícita de la frecuencia central para la realización de comparaciones entre las tecnologías motivo de estudio.

1.2 Identificación del problema

Conway (2015) manifiesta que: «durante los últimos años el internet está llegando a la industria y de esta manera mejora aceptablemente a la misma; se estima que, estos avances en los próximos años sean mucho más completos y en beneficio de las diferentes necesidades de las personas» (p.3).

Es necesario indicar que, la tecnología siempre irá en una dirección en el sentido positivo hacia la superación de niveles mucho más altos debido a la inquietud que el hombre posee por la ciencia y el conocimiento; por ello, uno de los desafíos más grandes que existen en la industria y la aplicabilidad de estas nuevas tendencias es precisamente el desconocimiento de las alternativas y su rendimiento al momento de desarrollar o implementar IIoT más conocido como el internet industrial de las cosas y, por esta razón, se seleccione la mejor de ellas dependiendo de su aplicación y las necesidades de la industria.

De acuerdo con CISCO (2020) en relación con la temática manifiesta que:

El término indica que es la sexta generación de Wi-Fi. La premisa era simplificar el mensaje de marketing para ayudar a 802.11ax a estar mejor posicionado en relación con los estándares del Proyecto de asociación de tercera generación (3GPP) que se usan en celulares como 5G. (p4)

En la actualidad, se presenta la tecnología IEEE 802.11 ax como una de las tecnologías de la nueva generación (Wi-Fi 6) la cual es aplicable tanto en hogares como en industria y son pertinentemente sinónimos.

Robert (2021) manifiesta que: «por su gran eficiencia, flexibilidad y escalabilidad surgen tecnologías tales como IEEE 802.15.4 o LPWAN (Low Power Wide Area) las cuales han sido diseñadas precisamente para IoT» (p.5).

Ambas tecnologías son referentes en el área del IoT y tienen una buena aplicabilidad en la industria, a más de ello, se puede decir que, cada una posee ventajas y desventajas, esto deriva en un desconocimiento al momento de seleccionar una de las tecnologías para poder ser implementada, pues como se sabe en un ambiente industrial se presenta un escenario de producción el cual afecta al medio de transmisión y, por ende, el rendimiento de las redes basadas en estas tecnologías desplegadas en este tipo de ambientes pueden verse afectadas.

Un análisis de rendimiento en la Capa Física y Capa de Enlace referentes al modelo OSI de ambas tecnologías, en casos en las que los parámetros de dichas capas se vean modificados por un ambiente textil industrial brindará un amplio espectro de las características de comportamiento de estas tecnologías frente a este tipo de ambiente industrial, generando de esta manera la comprensión de dichas tecnologías para la elección adecuada dependiendo su objetivo de aplicabilidad en la industria.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar el rendimiento en las tecnologías inalámbricas IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en diferentes escenarios en la industria textil en la banda de frecuencia 2.4GHz para comprender cuál de ellas tiene un mejor rendimiento para el despliegue y aplicación de IIoT.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica del comportamiento de las arquitecturas de IEEE 802.11ax e IEEE 802.15.4 en su capa física y capa enlace correspondientes al modelo OSI para determinar parámetros diferenciales, características y protocolos entre ellas para un adecuado desarrollo.
- Diseñar las WSN basadas en las tecnologías IEEE 802.11ax e IEEE 802.15.4 respectivamente las cuales se desplegarán en un ambiente textil controlado, para cuantificar el rendimiento de estas, en diferentes escenarios los cuales afecten a la capa física y capa enlace correspondientes al modelo OSI.
- Implementar en un área industrial textil las WSN las cuales permitan la recolección de datos de rendimiento de las tecnologías a utilizar para desarrollar una tabla comparativa de las ventajas y desventajas de ambas tecnologías.
- Presentar los resultados de las diferentes pruebas realizadas, para una correcta comparativa entre las tecnologías expuestas al ambiente industrial textil, y presentar un documento de guía técnica para la implementación de redes IoT en la industria textil IIoT.

1.4 Alcance

La realización del presente proyecto se basó en el estudio de dos diferentes tecnologías, las cuales se presentan como alternativas para el despliegue de redes de sensores para la aplicabilidad en el internet de las cosas de la industria (IIoT), estas tecnologías fueron tomadas en cuenta por su gran impacto dentro del contexto actual de las redes inalámbricas, dando un margen para el desarrollo e implementación de WSN dentro de la industria.

El desarrollo de esta investigación se basó en primera instancia en la comparativa de tecnologías de manera teórica, la cual refleje el estado de las arquitecturas de los estándares IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 brindadas por sus respectivos grupos de trabajo de IEEE de cada uno de los estándares, a partir de ello llevarla a un área práctica y de implementación en un ambiente industrial textil para analizar cómo es el comportamiento de cada una de las arquitecturas basándonos en el medio que va a trabajar principalmente de la capa física y capa de enlace haciendo referencia al modelo OSI.

Para el diseño de las WSN se basará en redes enfocadas en IoT y su arquitectura, dando paso a una estructura de WSN que trabaje de manera independiente tanto la tecnología IEEE 802.11 ax como IEEE 802.15.4. IoT posee 7 capas las cuales son: Cosas (dispositivos, sensores controladores), Conectividad (Protocolos, M2M WiFi), Infraestructura Global (Cloud), Toma de Datos (Big Data), Análisis de datos (reportes de minería, aprendizaje de máquina), Aplicaciones (usos que se le da a la información), Personas y Procesos (toma de decisiones y transformaciones); el trabajo principalmente se llevará a cabo en las CAPAS COSAS y CONECTIVIDAD haciendo referencia al modelo OSI en las CAPAS FÍSICA y ENLACE respectivamente.

Ambas tecnologías en la “CAPA COSAS” la cual comparándola al modelo OSI sería la capa “CAPA FÍSICA” estarán conformadas por los mismos requerimientos los cuales son base de cualquier dispositivo conectado al IoT tales como: Transmisor-Receptor, Microcontrolador, Sensor y PowerBank; dando un dispositivo base de “Clase B” pues es el tipo más utilizado por sus características de bajo consumo y su sincronismo con la puerta de enlace. Para la “CAPA CONECTIVIDAD” se habla de las modulaciones que se va a trabajar y la transferencia de datos, codificación y decodificación de la

información; por una parte tenemos que ambas trabajaran en la banda de frecuencia de 2.4GHz, pero de manera independiente IEEE 802.11 ax trabaja con la modulación OFDMA la cual permite subdividir el canal generando transmisiones y recepciones simultaneas de múltiples usuarios o en este caso dispositivos, mientras que IEEE 802.15.4 utiliza la modulación DSSS la cual combina la señal que se transmitirá en una secuencia de bits a mayor velocidad de transmisión.

Los nodos diseñados en base los estándares a IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 se encontrarán trabajando en la banda de frecuencia de 2.4 GHz lo que los hace que al momento de ser desplegados en los ambientes de industria textil tengan el mismo impacto pues el medio de transmisión (aire) y la banda de frecuencias (GHz) será el mismo.

La implementación de las redes de estas tecnologías a estudiar será en un ambiente de industria textil, por lo tanto, se generan dos tipos de ambientes uno en producción textil y otro sin producción textil en los cuales se verán afectadas las comunicaciones inalámbricas, el principal escenario en el que este tipo de tecnologías se verán afectadas serán al momento en que la fábrica textil se encuentre en producción, pues el ruido generado por las máquinas existentes en la fábrica afectan al medio de transmisión (el aire) y podría producir diferentes variaciones en el rendimiento de las WSN desplegadas en dicho ambiente textil en la cual se analizará la robustez de las diferentes modulaciones dadas por estas tecnologías a las interferencias existentes.

Los parámetros para analizar dentro de ambas arquitecturas estuvieron enfocadas a su capa física y capa enlace de datos las cuales son los principales ejes de estudio, dentro de la capa física encontramos: Umbral de Evaluación de Canal Claro (Clear Channel Assessment Threshold o CCA Thershold) dBm; Sensibilidad (dBm); Potencia de transmisión (dBm); Canales disponibles; Frecuencia Fundamental (GHz); Espacio de Canal (GHz); Velocidad de transmisión (Mbps) y Cobertura (Km). Mientras que en la capa enlace tenemos la subdivisión de la subcapa MAC en la cual se analizará el tipo de modulación y su índice de modulación; mientras que en la subcapa LLC se analizará: Data Rate, Chip Rate, Codificación y Decodificación

Para la comparativa se basará en los parámetros mencionados con anterioridad los cuales mediante una tabla comparativa para la parte de hardware se mostrarán como es el

desempeño y rendimiento de una tecnología con la otra, además de que se generarán graficas comparativas de su rendimiento independiente de cada tecnología IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en relación a los datos brindados de cada uno de sus estándares, generando una base de datos de como en cada uno de los parámetros mencionados es afectado por un ambiente industrial textil.

Finalmente, se generará una guía técnica la cual presentarán de una manera de fácil comprensión para la industria y los empresarios, para que de esta manera la puedan usar como guía o referencia al momento de adquirir o desear la implementación de este tipo de tecnologías, y de esta manera eliminar la brecha del desconocimiento que generan estas nuevas tecnologías dando paso a un incremento de las oportunidades de negocio y empleo enfocados a IIoT.

1.5 Justificación

Es muy importante mencionar que, en la actualidad la tecnología inalámbrica ha hecho que la comunicación sea mucho más efectiva, es decir las distancias se han acortado y por tanto el área industrial puede conseguir mejores resultados en sus acciones cotidianas debido a la efectividad de esta.

En este sentido, el análisis del rendimiento en las tecnologías inalámbricas IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en diferentes escenarios en la industria textil en la banda de frecuencia 2.4GHz se torna muy importante sobre todo para la comprensión de su rendimiento y aplicación dentro de la industria textil.

Por tratarse de una planta textil perteneciente a la UTN la recolección de información de ambas tecnologías fue posible de mejor manera gracias al apoyo de las autoridades de esta entidad; por ello, cuantificar el rendimiento de estas, en diferentes escenarios los cuales afecten a la capa física y capa enlace correspondientes al modelo OSI fue importante.

Los resultados obtenidos de las diferentes pruebas sirvieron para la comparativa entre las tecnologías expuestas al ambiente industrial textil, donde se generaron dos tipos de ambientes uno en producción textil y otro sin producción teniendo en cuenta que, el

ruido generado por las máquinas existentes en la fábrica afecta al medio de transmisión; además es necesario indicar que los parámetros motivo de análisis están en la capa física.

Específicamente, la comparativa se enfocó en los parámetros referidos al umbral de canal claro, la sensibilidad de la red, la potencia de transmisión, los canales disponibles para transmitir, la frecuencia fundamental, la velocidad de transmisión, el índice y tipo de modulación, el chip y el data Rate.

En todo caso, el presente trabajo aporta a la línea de investigación propuesta en la cual los principales beneficiarios serán las empresas textiles de forma general y la planta textil de la Universidad Técnica del Norte, ya que contará con una comparativa efectiva de las tecnologías inalámbricas IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en la banda de frecuencia 2.4GHz en cuanto a su rendimiento de los parámetros antes mencionados.

También serán beneficiarios de este trabajo los estudiantes de la carrera de la Universidad, ya que, podrán efectuar trabajos sobre la base de esta comparativa y ponerlos a disposición de sus proyectos principalmente en la industria textil.

Es pertinente mencionar además que, este trabajo fue factible de realizar gracias a la información obtenida en cuanto a los datos de las tecnologías, paralelamente, fue efectuada en el tiempo propuesto y su presupuesto corrió a cargo del investigador.

2. CAPÍTULO II: Fundamento teórico

Este capítulo contiene aspectos relevantes referidos al sustento científico necesario para la realización del trabajo, se basa en un análisis bibliográfico que respeta las correspondientes citas de autor referente en cuanto a las redes inalámbricas enfocadas al internet de las cosas IoT en un ambiente de industria textil de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4.

2.1 Comunicaciones inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas se encuentran presentes en una pequeña porción del espectro electromagnético que nos rodea, lo que hace imperceptible a la vista humana, pero se puede diferir a teoría para su respectiva explicación teórica.

2.1.1 Espectro electromagnético

Es importante hablar del espectro electromagnético debido que constituye ser una distribución energética de las ondas, puede entenderse también como una radiación emitida de forma parecida a la de la huella dactilar y pueden ser observados necesariamente por un electroscopio. Tanenbaum y Wetherall (2012) manifiestan que: «el movimiento de electrones produce ondas electromagnéticas las cuales se pueden propagar incluso en el vacío, generando de esta manera el espectro electromagnético» (p.123).

Las variables inmersas dentro del espectro electromagnético son dos, primeramente, la frecuencia que esta corresponde al número de oscilaciones que la onda realiza en el intervalo de un segundo, su símbolo es “ f “, la unidad de medida de esta magnitud es Hertz (Hz); por otro lado, la longitud de onda y se refiere a la distancia entre dos crestas de la onda que pueden ser máximas o mínimas, su símbolo es λ

2.1.2 Espectro radioeléctrico

De acuerdo con la Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones ([ARCOTEL], 2017) en referencia al espectro electromagnético dice: «el espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas

fijadas convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial» (p.1). Esto permite la propagación de comunicaciones sin necesidad de un medio guiado lo cual permite brindar una gran variedad de servicios, siendo de gran importancia para el desarrollo económico y social del país.

Mediante el espectro radioeléctrico los servicios referidos a las telecomunicaciones pueden ser óptimos y contemplan una efectividad en el desarrollo de la nación, tanto que la Constitución del Ecuador le considera un sector muy estratégico y el estado lo administra y lo controla además que lo regula, considerando incluso como un recurso de tipo ilimitado.

2.1.3 Bandas de operación

De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones ([UIT], 2018) se establece que: «no existe actualmente una correspondencia normalizada entre las letras y las bandas de frecuencias, pues la misma letra puede designar varias bandas distintas» (p.3). Es necesario indicar que, las bandas de operación se encuentran separadas según su longitud de onda λ en divisiones de 10^M m o frecuencias de 3×10^N , a continuación, se detalla la información en la siguiente matriz.

Tabla 1
Bandas de operación espectro radioeléctrico

Número banda ITU	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
3	ULF	300 – 3 000 Hz	Ondas hectakilométricas	B.hkm
4	VLF	3 – 30 kHz	Ondas miriámétricas	B.Mam
5	LF	30 – 300 kHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300 – 3 000 kHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3 – 30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30 – 300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300 – 3 000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3 – 30 GHz	Ondas centrimétricas	B.cm
11	EHF	30 – 300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12	THF	300 – 3 000 GHz	Ondas decimilimétricas	B.dmm
13		3 – 30 THz	Ondas centimilimétricas	B.cmm
14		30 – 300 THz	Ondas micrométricas	B.µm
15		300 – 3 000 THz	Ondas decimicrométricas	B.dµm

Nota. Unión Internacional de Telecomunicaciones ([UIT], 2018)

2.1.4 Aplicaciones de comunicación

Son varias las aplicaciones de la comunicación debido a sus bandas, consecuente a ello existen varios usos como se puede apreciar en la siguiente matriz.

Tabla 2
Aplicaciones de las bandas de frecuencia

BANDA	Símbolos (en inglés)	ITU
Ultra baja frecuencia	ULF	3
Muy baja frecuencia	VLF	4
Baja frecuencia	LF	5
Frecuencia media	MF	6
Alta frecuencia	HF	7
Muy alta frecuencia	VHF	8
Ultra alta frecuencia	UHF	9
Super alta frecuencia	SHF	10
Frecuencia extremadamente alta	EHF	11
Frecuencia tremendamente alta	THF	12

Nota. Unión Internacional de Telecomunicaciones ([UIT], 2018)

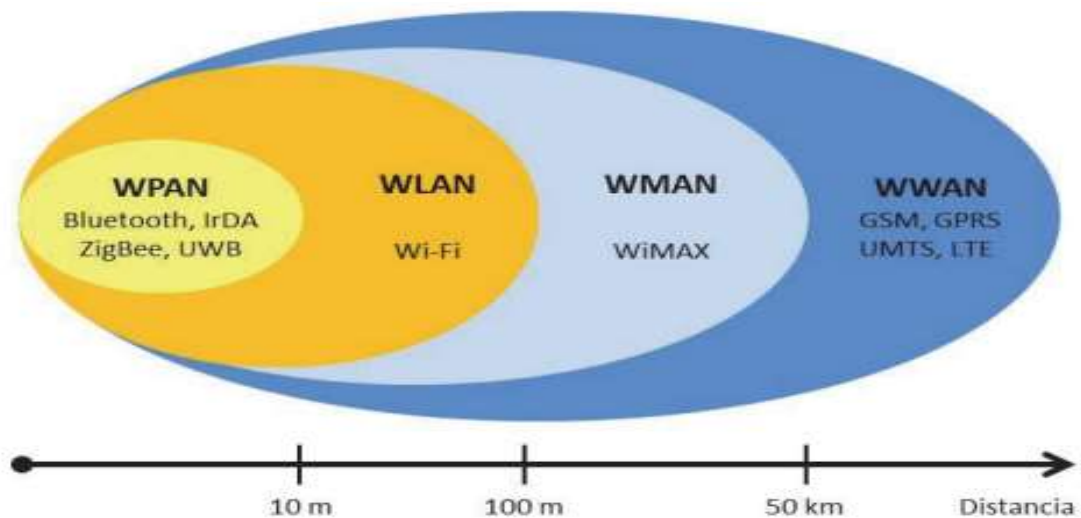
Para la ultra baja frecuencia se hecho uso en submarinos o en las diferentes minas, pasando incluso loas ondas a través de tierra. En lo referente a la muy baja frecuencia se ha utilizado en radio o señales de tiempo, en cambio en la baja frecuencia en radio AM, así como la media. En alta frecuencia se ha dado uso en radio de onda corta e incluso en radares y celulares, hablar de muy alta frecuencia es referirse a la televisión y radio de frecuencia modulada, por otra parte, la super Alta frecuencia ayudado a las redes inalámbricas, también la extremadamente alta a las ondas milimétricas. Se podría acotar muchos más usos, sin embargo, lo importante es diferenciar que con las frecuencias el mundo globalizado a comunicado de mejor manera de diversos aspectos.

2.2 Redes inalámbricas

Salazar (2016) expresa que: «las redes inalámbricas son las que utilizan ondas de radio para interconectar los dispositivos pertenecientes a una red, todo ello sin un medio guiado, es decir, sin ningún tipo de cable físico» (p.6). Existe una clasificación de las redes inalámbricas definidas en cuatro grupos dependiendo del área de aplicación y alcance de la señal.

- WPAN (Wireless Personal Area Network) Redes Inalámbricas de Área Personal, pueden llegar a una distancia de 10 metros
- WLAN (Wireless Local Area Network) Redes Inalámbricas de Área Local con un alcance de 100 metros, aunque en nuevas tecnologías obtienen un mayor alcance.
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) Redes Inalámbricas de Área Metropolitana, alcanzando a cubrir áreas de hasta 50 kilómetros.
- WWMAN (Wireless Wide Area Network) Redes Inalámbricas de Área Amplia, las cuales llegan a cubrir distancias superiores a los 50 kilómetros (Salazar, 2016, p,7).

Figura 1
Tipos de redes inalámbricas



Nota. Salazar (2016)

2.2.1 Arquitectura de redes inalámbricas

En la arquitectura de redes inalámbricas existen dos tipos al momento de desplegar una red: Surbaran y Sanmartin (2017) en cuanto a la temática concuerdan que:

Una red móvil Ad-hoc es una red inalámbrica en la que los servidores móviles son libres de formar conexiones dinámicas con otros que se encuentren dentro del radio de alcance sin ninguna infraestructura fija. Las redes Ad-hoc pueden funcionar sin conexión a internet, aunque también pueden hacerlo con conexión. (p.27)

Todos los host o dispositivos pertenecientes a la red inalámbrica se comunican entre sí, la red carece de cualquier punto fijo o punto de acceso para la comunicación de estos. Sin embargo, este tipo de red funciona de manera adecuada en ambientes pequeños siendo una forma fácil y económica de configurar una red inalámbrica.

Las redes inalámbricas usualmente son un tanto inseguras por ello es conveniente tener muy en cuenta recomendaciones de cuidado «cualquier dispositivo inalámbrico puede intentar conectarse a una WLAN, por lo que es importante limitar el acceso a la red si la seguridad es una preocupación» (p.3). En este sentido, es conveniente manifestar que estas son un tanto más susceptible que otras señales, sin embargo, estas herramientas se pueden conectar de una manera inalámbrica, una de las cosas importantes es que estas no están limitadas a la cantidad de puertos, en consecuencia, admiten muchos dispositivos, hasta cientos de ellos.

Salazar (2016) manifiesta que: «la otra arquitectura de red inalámbrica es el modo de infraestructura. En este modo, todos los dispositivos están conectados a la red inalámbrica con la ayuda de un punto de acceso AP» (p.19). En consecuencia, la mayoría de este tipo de accesos son routers o switches, los cuales pasan toda la data de la red inalámbrica a una red cableada mediante ethernet. Brinda: gran seguridad, fácil gestión, escalabilidad y estabilidad, pero genera un costo extra debido al despliegue de APs.

Figura 2
Modos de funcionamiento de redes inalámbricas



Nota. Wireless LAN (2020)

2.2.2 Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas

Como se ha podido apreciar las redes inalámbricas se presentan como una arquitectura de comunicación capaz de cumplir los objetivos de comunicar diferentes dispositivos entre ellos o con salida a internet, pero como toda tecnología presenta ventajas y desventajas frente a redes que trabajan con medios guiados.

Ramírez y Díaz (2017) en lo referente a las redes inalámbricas ventajas y desventajas concuerdan que:

La integración de los dispositivos móviles, Internet y la conectividad inalámbrica ofrece una oportunidad extraordinaria para que las organizaciones puedan extender su información y servicios hasta los profesionales y clientes móviles. La correcta planeación, tomando en cuenta la combinación de estos tres factores, puede aumentar la productividad, reducir los costos operativos e incrementar la satisfacción de los clientes. (p.85)

Son más las ventajas de utilizar redes inalámbricas que desventajas de entre ellas se puede decir que se basan en estándares de calidad Wi-Fi, su instalación es relativamente simple además que es confiable, dentro de esto su uso es relativamente fácil y se contienen en un servidor con la finalidad de una correcta administración, además que, sus costos disminuyen notablemente.

En lo referente a la cobertura las redes inalámbricas pueden tener un acceso desde varios puntos en tanto que los sistemas cableados siempre dependerán de una línea, en cuanto a la flexibilidad se puede acceder desde cualquier dispositivo y sus costos obviamente son menores, en lo referente a la seguridad pueden ser atados por terceros que no contemplen autorización. La cobertura depende de la AP, en lo que se refiere a la velocidad el sistema cableado siempre permanece estable en tanto que el inalámbrico depende mucho del medio.

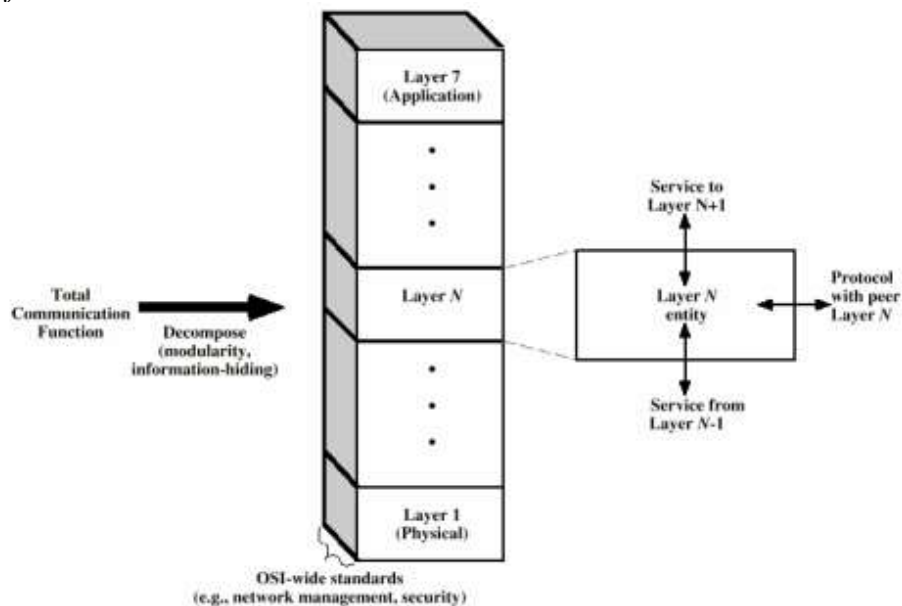
2.3 Modelo referencia OSI

Tolosa (2017) en cuanto al modelo de referencia OSI expresa que:

En el modelo OSI cada capa agrupa algunas de las funciones requeridas para comunicar sistemas. Estas capas poseen estructura jerárquica. Cada capa se apoya en la anterior, realiza su función y ofrece un servicio a la capa superior. Este modelo posee la ventaja de poder cambiar una capa sin necesidad de modificar el resto. (p.13)

La comunicación tiene como base principal un protocolo establecido por normativas y reglas de los mensajes para la interacción del emisor y receptor. En este sentido, el modelo OSI cumple con esas funciones, tiene capas estructuradas de una forma ordenada, es decir van apoyadas en la anterior ofreciendo soporte a la que sigue; es importante mencionar que se puede cambiar cierta capa sin que les afecte a las demás lo cual significa que es muy versátil y efectiva.

Figura 3
Modelo de referencia OSI



Nota. Tolosa (2017)

Vera, Barbosa y Pabón (2017) concuerdan que: «este protocolo sigue la definición por capas del modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos OSI (Open System Interconnection). IEEE 802.15.4, se centra en la especificación de las dos capas inferiores capa física, control de acceso al medio» (p.238).

En cuanto a su diseño se manifiesta que se puede crear una nueva capa al momento de la necesidad de un grado de abstracción, lo importante es que cada capa posee sus funciones ajustadas, la información se minimizará mediante su interfaz, es determinante que sus capas sean prácticas y manejables. Para un mejor entendimiento del modelo de referencia OSI se detalla las 7 capas en la figura que sigue a continuación.

Figura 4
Siete capas del modelo de referencia OSI



Nota. Tolosa (2017)

2.3.1 Capa física

La capa física ayuda con los canales de transporte de los bits, codifica en forma de secuencia de señales, requiere de todos los medios físicos y los diferentes conectores que se asocian, además de la codificación de los datos y sistemas de circuitos.

Tolosa (2017) mantiene que: «Sus funciones establecen cómo se transmite la información al medio, recibe mensajes y trasmite bits convirtiéndolos a señales» (p.16). Una de las funciones de la capa física es recuperar las señales individuales desde los medios para enviar los bits a la capa de enlace. Es importante que se determine el inicio y final de la trama con la finalidad que la construya de forma correcta. En referencia a los

medios de red se puede manifestar que son de tres tipos, a saber: fibra, cable de cobre e inalámbrico.

2.3.2 Capa enlace de datos

Hablar del segundo nivel del modelo OSI involucra a la capa de enlace. Tolosa (2017) mantiene que: «su función es lograr una comunicación confiable entre equipos adyacentes. La unidad de información son las tramas (frames). En esta capa los protocolos realizan control de errores, de secuencia y de flujo» (p.16). Es bueno acotar que esta capa se encarga de que las transmisiones sean confiables, esta capta las postulaciones de la capa inmediata superior llamada de red y de la misma forma acude a la capa física debido que esta trasmite los datos en bits por lo que tiene unas notable e interactiva relación y vinculación.

En esta capa se forman todos los paquetes de datos que llevan el nombre de tramas para la detección de errores y control de flujo. García (2017) expresa que: «la capa de enlace se subdivide en dos capas: enlace de acceso al medio y control de enlaces lógicos» (p.11). La subcapa MAC se encarga de la sincronización de los dispositivos esquematizando las conexiones de comunicación.

2.4 Estándares de operación

Los estándares que se va a mostrar a continuación han sido estudiados de manera que, se pueda presentar un análisis en la capa física y capa enlace de datos, de tal manera que se pueda tener un fundamento teórico avanzado de las mismas. Jácome (2017) manifiesta que: «son las más comunes en este tipo de redes: Bluetooth, WIFI – IEEE 802.11x, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, ZigBee y WirelessHart» (p.28).

2.4.1 Estándar IEEE 802.11ax

En el estándar 802,11ax ofrece una nueva forma de acceso al canal que es distinta a aquellas redes de radio celulares y cuya finalidad es mantener la fidelidad del WiFi, esta es importante, ya que, utiliza el enlace tanto de tipo ascendente como descendente con

una transmisión integral llamada TXOP; esto significa que el punto de acceso obtenga control efectivo.

Una de las características de este estándar es que las personas que lo usan se encuentran separadas tanto en tiempo como en espacio, en este sentido, la transmisión es realizada los puntos de acceso al igual que con EDCA. Al hablar del dominio espacial se lo efectúa con la técnica MIMO con la finalidad de un buen aislamiento y transmisión.

Khorov y Kyrianov (2019) mantienen que:

El grupo de trabajo IEEE 802.11 ha realizado un esfuerzo significativo para mejorar la calidad de servicio (QoS) en Redes wifi. Específicamente, la enmienda 802.11 e introduce el acceso mejorado al canal distribuido (EDCA) y HCCA que distingue voz, video, mejor esfuerzo y tráfico de fondo y los atiende de manera diferente. (p.197)

Es importante mencionar que al referirse al estándar IEEE 802.11ax es hablar de una evolución del proceso anterior y que se basó en lo más relevante del estándar ac, siendo de esta forma mucho más flexible y escalable. Lo más determinante es que con esta se pretende impulsar a nuevas aplicaciones de comunicación.

En el estándar 802.11ax la separación de espacio y tiempo es la misma, la diferencia es que se agrega una tercera en función del multiusuario con características de división de frecuencia cuyo canal WiFi es de veinte, cuarenta, ochenta o ciento sesenta MHz. También es importante mencionar que se divide en sub canales con la finalidad de minimizar la interferencia. Además, los usuarios son añadidos como unidades de recursos en relación con cada PPUD.

Para un rendimiento mejor de los datos gigabit se lo debe realizar con 1024 QAM siempre y cuando sean un entorno de baja densidad, es importante mencionar que, si la contención del canal o tiempo aumenta el usuario y punto de acceso disminuye.

Dentro de las características más importantes son precisamente la modulación más densa utilizando 1024 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) la cual permite una ráfaga de velocidad superior a su versión anterior,

Ramírez, I. (2022) en referencia al WiFi6 dice que es: «un estándar de transmisión inalámbrica desarrollado por la IEEE Standards Association, y que mejora la velocidad, la estabilidad al tener muchos dispositivos conectados y la eficiencia energética de las versiones anteriores» (p.5).

Los routers se basan en esta tecnología, por tanto, es importante que se manifieste que sus certificaciones oficiales están presentes y las nominaciones se cambiaron a una metodología que sea más legible y una característica es que se puede conectar a versiones anteriores, siendo esta última más novedosa, es necesario que el router tenga las condiciones de soporte efectivo para esta versión.

En cuanto a la modulación Ramírez, I. (2022) manifiesta que: «la modulación sería la técnica para compactar los datos para poder enviar más datos por el mismo tubo, sin aumentar el ancho de banda» (p.10). La velocidad de transmisión de datos es más eficaz, es decir en la versión 5 tenía 6,9 Gbps en tanto que en la 6 se aumentó a 9,6 Gbps, en otras palabras, ha existido una mejora en rendimiento de hasta un cuarenta por ciento gracias a un aspecto de modulación de 1024-QAM en relación con el anterior de 256-QAM.

Tabla 3
Velocidad del estándar 802.11 ax

PHY	Ancho de banda (número de subportadoras de datos)	Bits de datos de por subportadora	Tiempo por símbolo OFDM	1 SS	3 SS	4 SS	8 SS
802.11ax	980 (80 MHz)	5/6	x 13.6µs	600	1.8	2.4	4.8
		Log2(1024)		Mbps	Gbps	Gbps	Gbps
	2 x 980 (160 MHz)	= 8.33...		1.2	3.6	4.8	-
				Gbps	Gbps	Gbps	

Nota. (INTEL, 2021)

2.4.1.1 Capa física

Gerometta (2019) mantiene que: «802.11ax introduce algunos cambios significativos en la manera de operar en capa física, pero manteniendo siempre compatibilidad con sus predecesores de manera que es posible la comunicación de terminales 802.11ax con terminales más antiguas» (p.14). Significa entonces que, sus terminales tienen la capacidad de realizar decodificaciones de tramas efectuadas por terminales que pueden ser antiguas.

Hinostroza «se basa en multi-canalización por división de frecuencias ortogonales OFDM y soporta operaciones en 20, 40, 80, 80 + 80 y 160 MHz» (p.312). Estas controlan las colisiones y respetan las formas de bloqueo en tanto otro terminal puede realizar la transmisión. Además, hace que la transmisión sea más efectiva cuando utiliza OFDM acoplando FFT para efectuar una reducción de hasta cuatro veces la separación de subportadoras.

2.4.1.2 Capa enlace de datos

Coleman y Westcott (2018) respecto a la capa de enlace de datos concuerdan que:

Un AP con tecnología IEEE 802.11 ax primero deberá competir por el medio y ganar una oportunidad de transmisión para el intercambio de tramas el AP enviará una trama utilizando OFDM para su compatibilidad, reservando el medio y reiniciando los temporizadores del vector de asignación de red (NAV). El AP utiliza la trama de activación para asignar RU serán las respuestas CTS en paralelo.

El enlace de datos puede darse de dos formas, ascendente y descendente; es importante mencionar que una vez que se recibió la respuesta multiusuario inicia la transmisión hacia el OFDMA, esto significa que se debe enviar un ACK hacia el AP, concordantemente este enviará una trama de respuesta en paralelo, en este sentido, se podrá transmitir en el medio.

Lamiño (2021) expresa que:

IEEE 802.11 ax introduce mecanismos para que el AP controle el medio para las transmisiones de UL-OFDMA, al igual que para DL-OFDMA el AP debe competir por el medio y ganar la oportunidad de transmisión para coordinar las transmisiones. UL-OFMA requiere tres tramas de activación, cada trama de activación se utiliza para solicitar un tipo específico de respuesta. (p.63)

La trama debe contener información sobre control de potencia, con la finalidad de un aumento o de una disminución de transmisión, es bueno mencionar que la AP puede enviar bloques separados.

2.4.2 Estándar IEEE 802.15.4

Catarina (2018) dice: «una WPAN puede entenderse como una cápsula personal de comunicación alrededor de una persona, dentro de dicha cápsula que se mueve en la misma forma en que lo hace una persona, los dispositivos personales se pueden conectar entre ellos» (p.2). Este estándar se ha realizado para ser aplicable en una variedad enorme de aplicaciones, específicamente en el área industrial en lo referente al control y su monitoreo en función de la localización de los individuos, así como en la detección de la presión neumática, además en placas inteligentes.

Catarina (2018) manifiesta que: «el IEEE 802.15.4 investiga y desarrolla soluciones que requieren una baja transmisión de datos y con ello una duración de meses e incluso años, así como una complejidad relativamente baja» (p.3).

Respecto a las WAPANs el grupo IEEE 802.15 tiene tres clases que se diferencian en su rango de datos, calidad y consumo de la energía, las primeras son las de velocidad elevada que es la 802.15. 3 y se orientan en aplicaciones multimedia. Las de rango medio que es la 802.15. 1 basadas en la comunicación de celulares. La tercera enfoca sus esfuerzos en la baja transmisión 802.15. 4

2.4.2.1 Capa física

En cuanto a la capa física del modelo estándar IEEE 802.15.4 Linero, Camargo y Medina (2015) dicen: «la capa física define las frecuencias de operación utilizadas en los enlaces radioeléctricos y los mecanismos de control de bajo nivel y, la capa MAC maneja el acceso al canal de radio físico» (p.3).

Esta capa posee ciertos requerimientos como su estructura de tramas o la asignación de los canales, modulación y difusión; es importante mencionar que, se puede convertir en orden de bits a símbolos y a su vez en chips a través de una secuencia binaria en la que cuatro bits equivale a un símbolo respectivamente treinta y dos chips cuya velocidad es 2 Mchips/segundo. El algoritmo utilizado es el CSMA-CA en función de la transmisión de datos.

2.4.2.2 Capa enlace de datos

En esta capa se administran el enrutamiento y su correspondiente programación Lima (2020) manifiesta que: «esta capa proporciona enlaces al canal PHY determinando que los dispositivos en la misma región compartirán las frecuencias asignadas» (p.5). Es importante mencionar que aquí se puede hacer uso de varias tramas como marco para reconocimiento, balizas, comandos MAC y datos por lo que se puede tener una comunicación entre dos dispositivos en relación equiparada.

Los nodos pueden activarse después de haber estado desactivados por periodos de tiempo un tanto largos al ser observado el cambio de fenómeno, de la misma forma varios nodos pueden monitorizar ciertos eventos eventualmente sincronizados al mismo tiempo con la finalidad de transmitir los datos con ello el control de acceso es efectivo. Como son varios nodos los que forman la red, por ello, su infraestructura de red es importante y, por ello, la comunicación debe ser compartida de manera eficiente y efectiva.

2.5 Problemas de redes inalámbricas

Dejando de lado la incidencia de estas a las personas de forma general se puede decir que directamente hablando de las redes inalámbricas los factores que afectan se presentan en dos tipos, por un lado, las afecciones naturales y, por otro, las artificiales.

Este es un tema que cada cierto tiempo vuelve a ser polémica dentro de la sociedad dentro del contexto de la salud de las personas. Bolaños (2017) dice que: «las afectaciones de las redes inalámbricas son de dos tipos: naturales y artificiales a pesar de que tienen incidencia en causas inexplicables de salud» (p.3). Es importante manifestar que, las redes inalámbricas pueden verse comprometidas en su funcionamiento por fenómenos naturales o de ruido.

Sánchez y Díaz (2018) expresan: «las interferencias se pueden ocasionar por teléfonos inalámbricos que operen a la misma frecuencia, también puede ser por redes inalámbricas cercanas o incluso por otros equipos conectados inalámbricamente a la misma red o por condiciones meteorológicas» (p.88). Si bien es verdad que las comunicaciones pueden ser afectadas por factores ajenos, es cierto que las redes inalámbricas cuentan con una ventaja porque sus impulsos son eléctricos los cuales permiten la emisión del mensaje, pero, en condiciones generales se puede comprometer las centrales o las antenas.

2.5.1 Problemas naturales en redes inalámbricas

De forma general y de acuerdo con la forma de conexión se puede ver comprometida la emisión de la señal Fernández (2016) en referencia a los problemas naturales en las redes inalámbricas manifiesta que:

Las condiciones meteorológicas sí que influyen de forma significativa en el rendimiento de las redes WiFi. La lluvia, el frío o el calor, y la incidencia solar pueden afectar a estas redes, y los científicos creen que tener esto en cuenta ayudará a mejorar el funcionamiento de estas en el futuro. (p.1)

Otros factores incidentes en el correcto funcionamiento de las redes inalámbricas son la presión o la temperatura, lo importante es que se tome muy en cuenta estos factores para dar un mejor servicio al cliente final cuidando las instalaciones y centrales de emisión de señales.

De acuerdo con el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos ([IEEE] , 2021) respecto a las afectaciones de las redes inalámbricas mantienen que: «informa

principalmente sobre tecnologías emergentes y los factores incidentes como la lluvia o la neblina al buen funcionamiento de las redes, también contiene artículos sobre tecnologías en los campos de interés de los miembros del IEEE» (p.127). Ciertos aspectos como la lluvia inciden en la velocidad y efectividad de la red, pues, la conexión puede darse a través de coaxial, también por cable de teléfono y la fibra óptica la cual no debería verse muy afectada debido al impulso de luz que permite la transmisión.

2.5.2 Problemas artificiales en redes inalámbricas

Severiche, Perea y Sierra (2017) en lo que respecta a los factores de afectación artificial de las redes inalámbricas y explícitamente sobre el ruido en el sector industrial concuerdan que:

Estudios en cobayos confirman la hipótesis que el sistema eferente coclear está involucrado en los mecanismos que subyacen en el "efecto de endurecimiento" a las altas frecuencias. Este efecto se define como una reducción progresiva del umbral cuando exposiciones repetidas a un mismo ruido son aplicadas. (p.33)

Las redes inalámbricas se perfilan como tecnologías muy prometedoras para el futo de las industrias, «la permanencia de las redes cableadas y la incorporación de las inalámbricas da lugar a una nueva generación de redes híbridas que cubren por completo las necesidades de conectividad tanto fija como móvil, que toda empresa moderna y competitiva requiere» (p.33). El ruido industrial puede afectar como una interferencia a las redes inalámbricas, así como las obstrucciones de tipo físico y el rango de interferencia

Es bueno acotar que, muchas de las veces existen poca fiabilidad del medio de trasmisión causada por el comportamiento industrial que puede ser ocasionado por el alto ruido y los altos retardos causados por interferencia y la trayectoria multi caminos. Es importante mencionar que al ruido industrial están expuestos las personas que laboran en estas organizaciones que muchas de las veces pueden visualizarse como una molestia, pero en realidad amenaza a la salud de los individuos y de la logística empresarial.

2.6 Internet de las cosas IoT

En la actualidad es muy importante el internet, pues, con esta herramienta de tipo tecnológico el mundo se ha vuelto más informado. De acuerdo con Red Hat (2019) IoT es:

Proceso que permite conectar elementos físicos cotidianos al Internet: desde objetos domésticos comunes, como las bombillas de luz, hasta recursos para la atención de la salud, como los dispositivos médicos; también abarca prendas y accesorios personales inteligentes e incluso los sistemas de las ciudades inteligentes. (p.1)

2.6.1 Arquitectura IoT

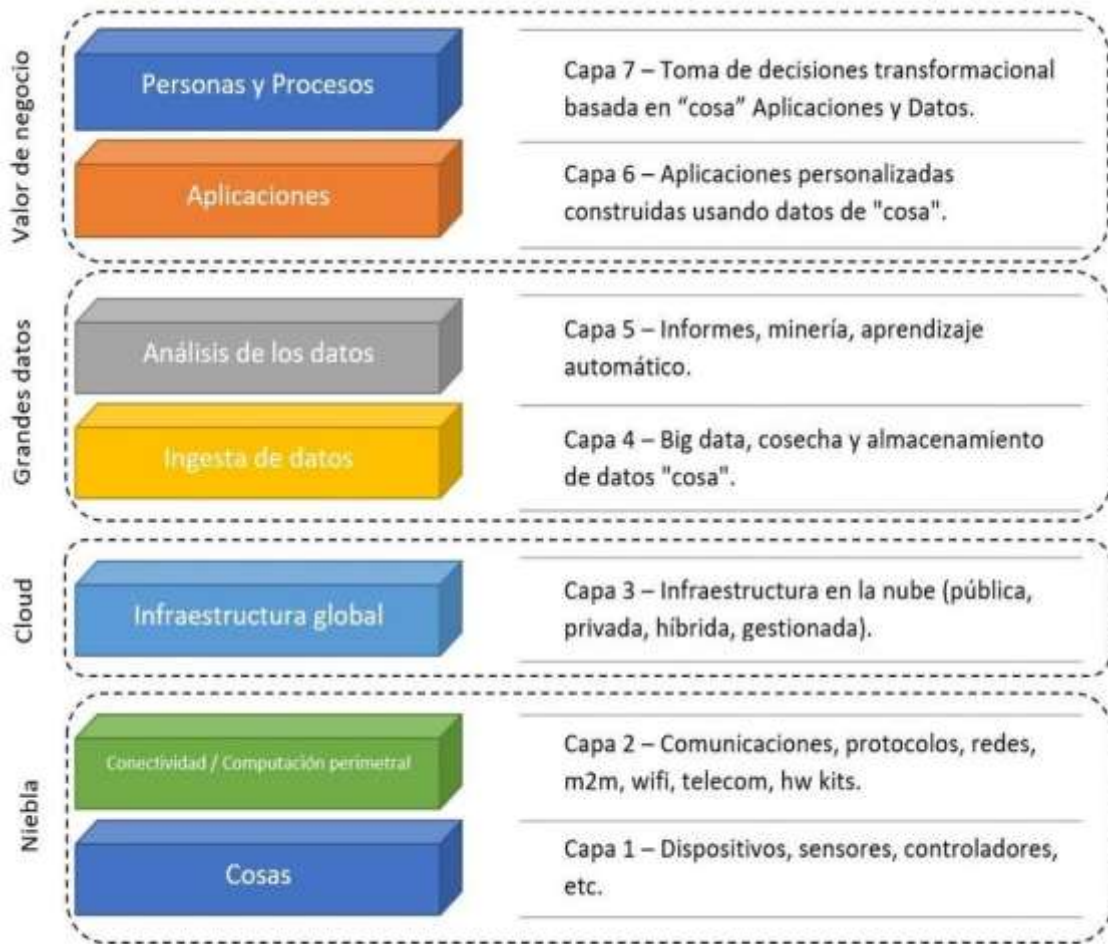
Para Romero, Artigas y Calderón (2020) en cuanto a la arquitectura se refieren a que:

Este nuevo paradigma desacopla la inteligencia de la red del plano de control, de los procesos de reenvío de paquetes en el plano de datos. Esta separación permite centralizar la inteligencia de la red en el controlador, que posee una vista global de toda la red. Bajo esta filosofía, las redes de sensores inalámbricos definidos por software reorganizan las funcionalidades en tres capas: infraestructura, control y aplicación. (p.41)

La arquitectura IoT empieza con las personas y los procesos la cual se basa en datos para la correcta toma de decisiones; a continuación viene las aplicaciones estas son personalizadas y estructuradas en función de datos de cosa capa 6, se continúa con el análisis de datos la cual es la capa 5 referida a los informes y aprendizaje automático; en la capa 4 se ingresa los datos en forma de Big data, en otras palabras aquí se almacena los datos; en la capa 3 es la infraestructura ubicada en la nube que puede ser privada o pública llamada infraestructura legal, la capa 2 corresponde a los protocolos existentes, comunicaciones redes, WiFi; la capa 1 corresponde a los sensores controladores llamados las cosas.

Por su parte el controlador es de vital importancia, pues, su funcionalidad radica en las reglas de flujo de los nodos y por ello, es necesario que tenga una vista efectiva de la topología de la red. El controlador realiza acciones de intercambio de mensajes y supervisión de los nodos, así como las baterías y estados de los diferentes enlaces.

Figura 5
Arquitectura de referencia a modelo OSI en IoT



Nota. Parejo (2020)

Pizarro (2020) manifiesta que: «El internet de las cosas también conocido por su acrónimo en inglés IoT ya empieza a ser una realidad cotidiana con la constante aparición de nuevos sistemas motivando que la sociedad avance a pasos agigantados hacia la conectividad global» (p.9). Con la finalidad de hacer realidad esto siempre será necesario tener a disposición chips que tengan costes bajos y que sean de libre acceso a los profesionales y demás clientes que además sean de tipo inalámbrico para poner en práctica los sistemas que estos requieren.

Existe una amplia variedad para programar los chips sin embargo una de las formas de hacerlo es a través de C++ con IDE Arduino que sirve para sistemas micro programables debido a su bajo costo. Estas son complicadas a la hora de realizar sistemas IoT debido que no fueron diseñadas para este fin.

2.6.2 Tecnologías IoT

Pizarro (2020) expresa: El internet de las cosas IoT consiste en objetos de uso cotidiano que se conectan a internet de manera autónoma sin interacción humana. Esta conectividad permite que se pueda desarrollar sistemas que hace tan solo unos años podrían calificarse como ciencia ficción (p.1).

En realidad hace unos años atrás no existían cosas como autos que prevenían un accidente o puertas que se abren automáticamente a través de sensores, diferentes frigos que hacen ya una compra de forma automática, un tráfico organizado y estructurado automáticamente y con efectividad total en las grandes ciudades, electrodomésticos que se activan de acuerdo a un costo barato, diferentes cosas que se someten a una comunicación de manera bidireccional, también puede ser una localización de animalitos en calidad de mascotas en un tiempo que es real. En conclusión, para todo esto y mu cho más es pertinente la utilización de chips apropiados que sostengan un sistema de capacidad de comunicación.

2.7 Redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores están compuestas por nodos llamadas estaciones que tiene un transductor y su fuente de alimentación, el primero realiza una generación de ciertas señales de tipo eléctrico, a través de un ordenador se recibe comandos y a la vez se transmite datos, hay que tener en cuenta que la energía proviene de una batería. Romero, Artigas y Calderón (2020) expresan de forma fehaciente que:

En el futuro se espera que las redes de sensores inalámbricos definidas por software constituyan una excelente solución a las problemáticas de las WSN. Al separar los planos de control y datos, se espera que disminuya el consumo de

energía en los nodos sensores, que mejore la gestión de la red, así como la seguridad y escalabilidad. (p.47)

Estas redes de sensores tienen su inicio en iniciativas militares de los Estados Unidos que en la década de los ochentas correspondía al departamento de defensa de esta nación. Nació con la idea de monitorear las boyas que rastreaban maquinaria bélica de submarinos del enemigo. La primera WLAM que se desarrolló se la realizó con siete computadoras establecidas en diferentes islas de Hawái, estas se entrelazaban a una central y emitían información en cualquier instante.

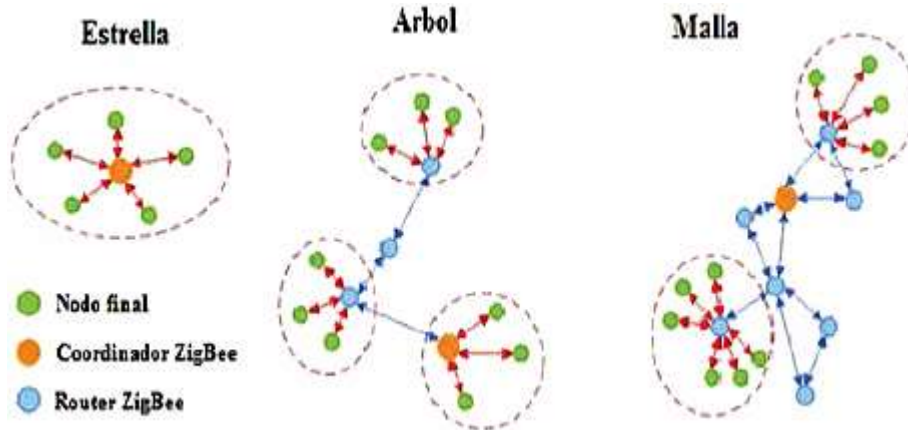
Parejo (2020) manifiesta que:

Una red de sensores o WSN, del inglés Wireless Sensor Network, es un conjunto de nodos que, conectados entre sí, intercambian información acerca de fenómenos físicos acaecidos a su alrededor con un propósito específico. Este propósito puede abarcar diversos campos desde la medicina o la agricultura hasta aplicaciones militares. (p.21)

Martínez (2006) tomado de Moya e Hidrobo (2006) define a las redes de sensores inalámbricos como: «conjunto de sistemas de transmisión, conmutación y demás recursos que permiten la transmisión de señales entre puntos fijos que están conectados, ya sea por cable, medios ópticos o de otra índole» (p.1).

Existen varias aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos y están enfocados a la automatización industrial, monitoreo de tráfico, seguimiento de condiciones meteorológicas entre otras, es decir cada vez posee muchas más derivaciones y usos. En este universo que cada vez es más tecnológico estas revelan una superioridad de utilización.

Figura 6
Redes de sensores inalámbricos



Nota. Pérez, Urdaneta y Custodio (2014)

2.7.1 Protocolos

Parejo (2020) en cuanto a la temática expresa:

Los protocolos de enrutamiento en WSN difieren de los tradicionales en que no poseen direcciones IP, por lo que ninguno de los protocolos de enrutamiento basado en IP será aplicable a una WSN. El protocolo debe ser escalable y gestionar la comunicación de muchos nodos y propagar los datos del sensor a la estación base, además de cumplir con las limitaciones de recursos. (p.29)

El protocolo de comunicación se basa en una WSN todo esto por el consumo de energía que representa ser alto y los diferentes recursos que este tipo de comunicación conlleva, por esta situación un esquema de protocolos es muy importante y que puede variar desde pocos nodos hasta miles de ellos Semle (2016) expresa que: «los protocolos cliente/servidor requieren que el cliente se conecte al servidor y realice solicitudes» (p.32). En lo referente a la capa de transporte esta se orienta en la viabilidad de los diferentes datos, es decir para que exista calidad en el servicio este no debe caer bajo ninguna circunstancia, este puede darse debido a fallos en capas inferiores.

Para evitar esta problemática es necesario que el procedimiento sea de salto a salto, es decir el nodo intermedio debe guardar en caché la información en caso de que

deba ser restaurada. En cuanto a la capa de red el enrutamiento no será aplicable en caso de ser IP, en sí el protocolo de ser necesariamente escalable, consecuentemente los nodos deben propagar los datos a la llamada estación base, por esta razón el enrutamiento debe ser geográfico en función de enviar el paquete al aledaño, por otra parte, la ubicación de ancla está dentro del contexto de una cuadrícula que ubica la ubicación de los nodos que son móviles.

Parejo (2020) dice que: «el protocolo SecRout garantiza la entrega segura de paquetes desde la fuente al receptor empleando un enfoque basado en clúster de dos niveles para proteger la red» (p.30). Con la finalidad de que los paquetes sean entregados correctamente la criptografía simétrica juega un papel determinante con ello, a través de una clave preestablecida se asegura el proceso.

Para el relé de celda segura el protocolo SCR es el adecuado, pues da mucha resistencia a los diferentes ataques que pretenden vulnerar la seguridad, se basan en algoritmos de clústeres debido a la ubicación. En cuanto al radio, este influye de forma más que directa en la vida de la batería, velocidad y alcance, se estima de la misma forma que para unos diez años en el futuro existirá un número extremadamente alto de cosas conectadas a esta tecnología entre sí.

2.7.2 Elementos

Martínez (2006) dice: «este tipo de redes se componen de nodos sensores, puerta de enlace, estación base y canal de transmisión inalámbrico» (p.21). Los nodos son dispositivos de software y hardware creados para una función específica, para este caso en particular es para el sector industrial, pero depende de su aplicación específica. Los sensores por su parte realizan la captación de la información del entorno donde se encuentran como movimiento, temperatura, ruido y demás.

El radio por su parte permite obtener la comunicación configurado en la WSN Martínez (2006) dice: «es un dispositivo de comunicación que permite enviar y recibir datos para comunicarse con otros dispositivos dentro de su rango de transmisión» (p.24). El radio permite el establecimiento del nodo trabaja con radio frecuencias RF y en bandas no comerciales, es decir, si es activo envía información y si es pasivo este recibe los datos.

Marianetti, Arce e Iglesias (2017) en referencia a los procesadores concuerdan que:

Se ha definido un bus de datos bidireccional de 8 bits. El bus de direcciones es también de 8 bits. Los registros internos del procesador son de 8 bits. Cuenta con un registro acumulador, un registro de instrucciones de 4 bits, que permite definir hasta 16 instrucciones, de las cuales el prototipo implementa solamente 11. (p.116)

Este es un dispositivo que forma parte del nodo sensor, por tanto, es un microcontrolador, en este se procesa la información y se basa en un protocolo de comunicación, es decir en una tarjeta se encuentra un chip llamado también circuito integrado y es uno más de los elementos del sistema. De la misma forma la puerta de enlace recibe la información de los sensores y envía a la base de datos. Por otro lado, la estación base guarda la información y puede estar conectada a una WSN.

2.7.2 Clasificación de nodos IoT

En el área de los sensores o nodos enfocados al IoT existen tres tipos de nodos los cuales a pesar de cumplir la función de recopilar datos mediante sensores se diferencian y cada uno puede ser utilizado de acuerdo con las necesidades.(Bustos, 2018)

2.7.2.1 Clase A

En primera instancia se tiene los nodos/estaciones de esta clase su principal característica es su muy bajo consumo de energía, los cuales tienen como funcionamiento únicamente recibir información del servidor o nodo centrales y ejecutar la orden, a continuación, enviarán un paquete de respuesta (ACK) y se pondrán en espera de la siguiente orden.

2.7.2.2 Clase B

Los nodos clase B, poseen un consumo de energía similar a los de la Clase A, un poco mayor debido a su procesamiento, pues a parte de recibir datos de ordenes desde el nodo central, permite generar una red estable de comunicación, generando envío y recepción de datos continuos.

2.7.2.3 Clase C

Finalmente, los nodos clase C posee un alto consumo eléctrico, pues abarcan los requerimientos de las sus antecesoras, generando un estado continuo de transmisión y recepción de datos de manera simultánea, lo que brinda un mayor procesamiento y abarca una gran cantidad de sensores simultáneamente.

2.8 Internet de las cosas en la industria IIoT

López (2018) mantiene que: «la tercera revolución industrial puede estimular la gran convergencia de los sectores de la revolución industrial con la revolución de la información y otras incógnitas existentes» (p.146).

2.8.1 Redes inalámbricas en la industria

Hablar de redes inalámbricas en la industria es referirse a nuevos horizontes tecnológicos en los cuales las posibilidades de automatizaciones son mucho más flexibles y cada vez más eficientes. Lo importante es que as través de esta tecnología se sustituye costosas redes de cableado que incluso perjudican a la estética de una industria y su infraestructura.

Suárez (2006) en referencia a las redes inalámbricas en la industria indica que:

Una red de sensores inalámbrica en la industria corresponde al conjunto de nodos que están interconectados entre sí, con el fin de transmitir señales de los eventos que hacen seguimiento o controlan la información relacionada con los aspectos técnicos de la misma, compartiendo uno o varios canales para la transmisión de datos, utilizando diferentes tecnologías y protocolos de tipo inalámbrico con un fin específico y definido por la industria. (p.18)

Es importante acotar que si se analiza cualquier empresa industrial será fácil darse cuenta una amplia variedad de situaciones en las que el internet de las cosas conjuntamente con sus redes inalámbricas podría aportar en bien de esta. Las pasarelas inalámbricas se utilizan para reemplazar el molesto cableado.

Las redes inalámbricas están divididas en tres grandes secciones, de esta clasificación dos de ellas son utilizadas como comunicación y control de los procesos industriales. De forma inicial las WN fueron utilizadas en la industria únicamente para la comunicación de la relación sensor-actuador dando muy buenos resultados, por ello, se amplió a sistemas de control en la relación actuador-controlador, siempre con el desarrollo de nuevos protocolos.

2.8.2 Actualidad del IoT en la industria

El internet de las cosas es aplicable a varias ramas, de entre ellas la industria es una parte fundamental del diario vivir, por ello, es muy importante que la tecnología haya llegado de una manera efectiva a esta. Zitelia (2020) manifiesta que:

El Internet de las Cosas es una de las innovaciones que más versatilidad ofrece a las empresas industriales. Esta tecnología consigue que las empresas sean mucho más ágiles en sus procesos de fabricación. Además de que facilitan la toma de decisiones y son un elemento clave de las fábricas inteligentes. (p.18)

Se considera a l internet de las cosas como la cuarta revolución industrial, esta va mejorando día a día y efectivizándose cada vez más, viene acompañada de grandes avances en las industrias, pues, en las empresas se pone de manifiesto un sistema de procesamiento y comunicación que hasta hace pocos años no se había visto en el mundo.

2.8.3 Desafíos del IoT en la industria

El desafío principal de las IoT en la industria es precisamente ayudar de forma fehaciente a la competitividad aportando a que las empresas mejoren sus precios a través de una optimización de los procesos y procedimientos de control de sus acciones y actividades. Monsalve y Arias (2018) concuerdan que:

A nivel industrial, donde las redes inalámbricas (WN) también tienen las aplicaciones antes mencionadas, están siendo, cada vez más usadas en las partes inferiores de la pirámide de automatización, donde las características de

comunicación son más estrictas en lo referente a fiabilidad y retardos necesarios para el buen desempeño de controladores. (p.84)

Uno de los grandes desafíos que esta tecnología presenta es cumplir con los requerimientos de la empresa frente a conceptos de seguridad, pues, esto es muy crítico a la hora de un contrato de esta naturaleza frente a los retos industriales.

Lo importante es que no exista fuga de datos asegurándose que la información esté totalmente segura incluso cuando falte la conectividad, por tanto, la no interrupción del servicio es vital para el buen funcionamiento empresarial.

Dar valor al cliente representa un aspecto muy relevante, pues, la planificación de las soluciones de comunicación frente a procesos industriales es pertinentemente relevante; siempre la industria busca nuevas tecnologías para llenar sus vacíos y por esta razón tener claro los indicadores de rendimiento es responsabilidad del consultor tecnológico.

El almacenamiento efectivo de datos es crucial en la industria, pues, ninguna organización realiza sus actividades en base de nada, en este sentido, para cualquier organización es determinante planificar bajo un IoT que permita la seguridad de esta información.

Es determinante que la IoT ayude a la industria a realizar un retorno de inversiones basado en un análisis completo de los datos recopilados, para ello, una plataforma que contenga alto rendimiento es una buena opción, al introducir IoT es muy importante que la data analítica acople procesamiento y limpieza de información con la finalidad de que haya extensibilidad y cumpla con un análisis en tiempo real.

2.9 Modelo en V

Este modelo es un procedimiento de tipo uniforme relacionado directamente con el desarrollo de aquellos productos resultado de las TIC. Es público y por esta razón las empresas y compañías lo utilizan, también se enfoca en la gestión del sistema. Este realiza una descripción de actividades y resultados durante el proceso del desarrollo del Software.

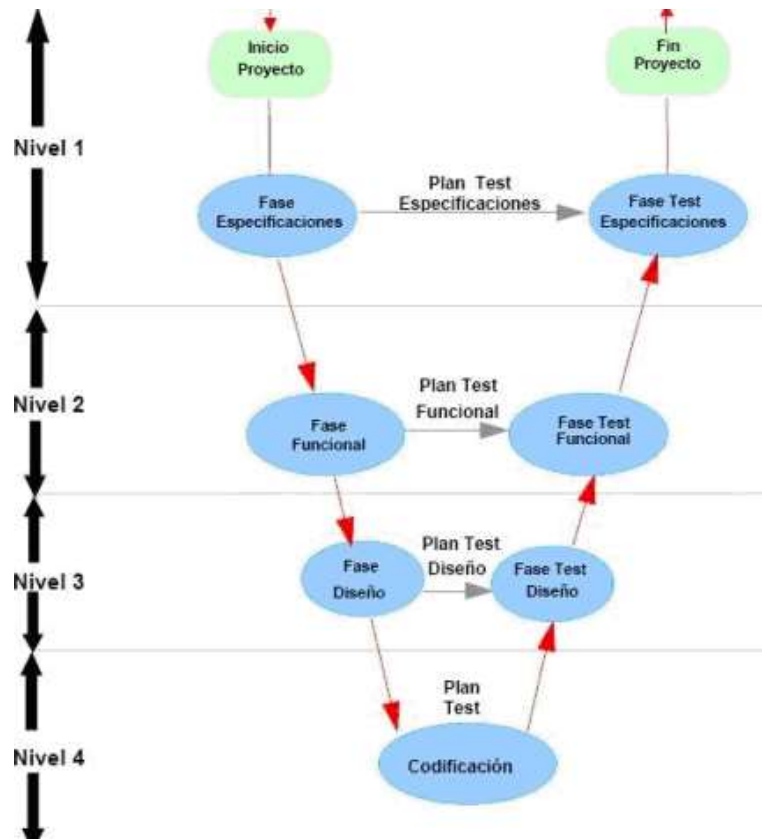
Es importante mencionar que es una representación de tipo gráfico acerca del ciclo de vida del sistema desarrollado. De acuerdo con Quassure (2020) en referencia a esta temática dice:

El modelo V es un proceso que representa la secuencia de pasos en el desarrollo del ciclo de vida de un proyecto. Contribuye al cumplimiento integral de las funcionalidades, especificaciones y diseño del software, en conformidad con lo requerido por el cliente. (p.10)

Como se indicó la estructura tiene una forma de V donde en la parte izquierda se encuentran las especificaciones, a decir, los requerimientos del usuario, funcionales y diseño y en la derecha su comprobación en cuanto a la calificación de la instalación, operacional y rendimiento.

Tiene su aplicabilidad, debido que, ayuda a reducir los gastos que se presentan durante el desarrollo, a la vez que minimiza sus riesgos, ya que, de forma estandarizada describe sus resultados y de esta forma mejora la calidad.

Figura 7
Modelo en V



Nota. Ingeniería de Software (2022)

3. CAPÍTULO III: Requerimientos y Diseño

En este capítulo referido al desarrollo experimental se presenta el respectivo análisis pertenecientes a la WSN que se planteó y cuya finalidad es el entendimiento de los aspectos básicos referidos de hardware y software intervinientes en el trabajo. Incluye además la encuesta aplicada a los encargados de desarrollar el estudio.

3.1 Análisis de la situación actual

Es importante la determinación de la situación actual, ya que el objeto es la recopilación de la información en busca de la sustentación del proyecto, en este sentido es pertinente manifestar que los beneficiarios directos son precisamente los responsables del estudio del análisis de rendimiento de las redes inalámbricas, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4

Método y formato de levantamiento de información

MÉTODO Y FORMATO	
Método	Tipo: Para la recolección de información se procedió a realizarlo con la técnica de la encuesta, a través de un cuestionario, es necesario entonces acotar que los datos recogidos se enfocan en aspectos fundamentales de referentes a la implementación de IoT y las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en la industria textil, por lo que, es de carácter descriptiva. Aplicación: Es necesario indicar que la aplicación va dirigida a los encargados del estudio de las tecnologías.
Formato	El formato de diseño del cuestionario es de tipo analítico, es decir, contiene cuestionamientos de carácter cerrado con la finalidad de que puedan ser procesadas estadísticamente e interpretadas después de su cuantificación y tabulación de resultados. Estas preguntas se refirieron a los requerimientos sobre las tecnologías inalámbricas y, por otro lado, sobre las necesidades para el desarrollo del estudio.

3.1.1 Análisis de los resultados

Después de la aplicación de la encuesta la persona que son los destinados a realizar el estudio, se obtuvieron los resultados en referencia a los aspectos relevantes en relación con su conocimiento sobre las tecnologías inalámbricas y los estudios aplicables en base a las tecnologías relacionadas con el presente estudio.

En referencia a la pregunta sobre el conocimiento sobre el tiempo necesario para realizar el estudio de las tecnologías inalámbricas enfocadas al IoT los encuestados respondieron que con un periodo de tiempo mayor a 2 horas sería suficiente, pues para probar el estado de la red solo es necesario lapsos de tiempo, además se puede hacer mención que la estabilidad de la red se mantendrá a lo largo del tiempo mientras tenga una fuente de energía confiable.

Respecto al cuestionamiento sobre la fuente de energización de los dispositivos, se hace mención a que es preferible una fuente de alimentación continua, esto debido a que al realizar un estudio mayormente enfocado a las redes inalámbricas, es necesario mantener una fuente estable y una fuente de energización provista de baterías podría presentar diferentes contratiempos pues requiere de mayores modificaciones a los dispositivos para adaptar las baterías, en cuanto si se utiliza una energización por cable estas modificaciones no serán necesarias.

Los encuestados manifestaron en su totalidad que, si es necesario analizar y medir los parámetros intervinientes, tanto físicos y digitales correspondientes a la CAPA FISICA y CAPA ENLACE del modelo OSI, pues el estudio va relacionado directamente por la afección de ambientes hostiles generados en un ambiente industrial textil.

En cuanto a los aspectos de manipulación y visualización del estudio para los dispositivos los encuestados manifestaron que se requieren dispositivos de entrada y salida adecuados, tales como: monitores, los cuales puedan ser desplazados a lo largo del hangar textil, además de un teclado y un mouse para realizar las respectivas configuraciones.

Finalmente queda a libre disposición el uso de cases para la protección de los dispositivos, pues al ser un estudio enfocado a las redes inalámbricas y no precisamente para su despliegue y colocación un case podría causar interferencias de manipulación o entorpecer posibles conexiones exclusivas para las pruebas, pues en un apartado de implementación los cases se desarrollarán de acuerdo a las necesidades de la industria.

3.2 Introducción al desarrollo del proyecto

A continuación, mediante diferentes apartados se presentará la introducción del estudio pues se abarcarán los temas del propósito, el ambiente a desarrollar y su enfoque y a quienes beneficiará de manera directa e indirectamente.

3.2.1 Propósito del estudio

El análisis de la capa uno y dos referidas a lo físico y al enlace respectivamente de las tecnologías inalámbricas IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en diferentes escenarios en la industria textil en la banda de frecuencia 2.4 GHz, desarrollando WSN para el despliegue de las tecnologías inalámbricas con el fin de obtener una comparativa de estas y un diseño de un documento que contenga una guía técnica para la implementación de redes IoT en la industria textil.

3.2.2 Ámbito del estudio

Los parámetros motivo de análisis de las dos arquitecturas están enfocadas a su capa física y capa enlace de datos; dentro de la capa física se encuentra: Umbral de Evaluación de Canal Claro expresada en (dB); sensibilidad (dB); potencia de transmisión (dB); Canales disponibles; frecuencia fundamental (GHz); espacio de canal (GHz) y velocidad de transmisión (Mbps). Mientras que en la capa enlace existe la subdivisión de la subcapa MAC en la cual se analizará el tipo e índice de modulación; mientras que en la subcapa LLC se examinará: Data Rate, Chip Rate, Codificación y Decodificación.

3.2.3 Características de los beneficiarios

Hablar de beneficiarios es referirse directamente a la persona que realizará el estudio en la “Planta Textil UNT” mientras que los beneficiarios indirectos serán las posibles empresas que deseen adquirir un conocimiento previo de las tecnologías inalámbricas en la industria textil. La primera se beneficia en la medida que al desarrollar el estudio sobre el rendimiento de tecnologías inalámbricas generará un documento de respaldo sobre la investigación planteada. La segunda beneficiada serán las empresas textiles pues se espera que se elimine la brecha de desconocimiento de tecnologías inalámbricas enfocadas al IoT y su aplicabilidad en el medio, a la vez que contarían con una guía técnica sobre dichas tecnologías y una herramienta que contribuya a su desarrollo.

3.3 Descripción general del proyecto

El presente proyecto tiene una contextualización de carácter tecnológico que consta de tres etapas que son: el diseño de las WSN, el despliegue en el taller textil universitario y el estudio de las redes inalámbricas como se detalla a continuación.

El diseño de las WSN se encuentra en base de dispositivo IoT clase B esto quiere decir que únicamente utiliza los requerimientos básicos para una transmisión de datos e implementación de red tales como: transmisor-receptor, el microcontrolador y PowerBank siendo este la fuente energía, además de, el envío y recepción de datos. Pues según se menciona con anterioridad este tipo de dispositivo es el que se adecúa de mejor manera al proyecto.

Es pertinente manifestar que, se procedió a realizar un oficio de petición de planos a la Universidad Técnica del Norte la cual previa aprobación extendió dichos planos arquitectónicos que sirven de base para la ubicación de los correspondientes nodos. El despliegue en el taller textil universitario se lo efectúa teniendo en cuenta la ubicación de la maquinaria de confección textil dentro del hangar y lugares estratégicos previamente establecidos, es necesario acotar que los lugares escogidos para desplegar los nodos fueron seleccionados mediante un estudio de campo establecido a través del dispositivo

ADALM-PLUTO SDR y el software GNU Radio, con ello se asegura el análisis del espectro radio eléctrico en el área.

Posteriormente, se procede al estudio de las redes inalámbricas las cuales se someten a ruidos industriales cuando la maquinaria se encuentra en producción y como este ruido mecánico afecta la red en la capa física y de enlace del modelo OSI. A partir de ello con estos datos obtenidos se generará la comparativa de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4.

3.4 Modelo en V

Para el desarrollo del estudio del espectro radioeléctrico en la banda de frecuencia 2.4 GHz para las tecnologías 802.11 ax e IEEE 802.15.4; se propone desarrollar el prototipo experimental siguiendo el “Método en V” el cual define un procedimiento enfocado a las TICs, generando un procedimiento descendente el cual abarca todos los tópicos de investigación y proceso de desarrollo del proyecto, tales fueron indicados en el Capítulo II.

3.5 Requerimientos del sistema

Se presenta los requerimientos del estudio teniendo en cuenta toda la información necesaria para la consecución de los objetivos. Para ello, se da requerimientos de operatividad, de usuario, uso y físicos.

3.5.1 Construcción de atributos y requerimientos

Es necesario indicar que los requerimientos deben ser verificables debido que se mostrará el estudio de la red en la capa física y enlace que se pueda cumplir, ya que, el estudio abarca bases reales en un ambiente controlado; medible porque se pueden contrastar los resultados obtenidos por los grupos de trabajo de los estándares en las pruebas de sus tecnologías y limitable por que va de la mano con la tecnología existente.

3.5.2 Nomenclatura de los requerimientos para usarse

Es importante acotar que los datos para que sean optimizados y exista un manejo adecuado necesitan de una nomenclatura que se presenta a continuación.

Tabla 5
Abreviatura de requerimientos

Requerimiento	Abreviatura
Stakeholders	STSR
Sistema	YSR
Arquitectura	SRS

3.5.3 Requerimiento de Stakeholders

Se refiere a las necesidades del usuario en función de los requisitos del estudio con la finalidad del cumplimiento de la comparativa de las tecnologías.

Tabla 6
Requerimientos stakeholders

#	REQUERIMIENTO	STSR		
		REQUERIMIENTOS DEL STAKEHOLDERS		
		PRIORIDAD		
		Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES				
STSR1	El sistema debe tener un tiempo de trabajo ilimitado, correspondiente al que se tarde en realizar el estudio.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
STSR2	Cada nodo debe poseer su fuente de alimentación continua para evitar el uso de baterías al ser un estudio.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
STSR3	El analizador de espectro debe poseer la capacidad de movilidad para captar los datos y generar una mejor lectura cerca de cada nodo desplegado.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
STSR4	El sistema propuesto tiene la capacidad de analizar parámetros	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

físicos y digitales de las tecnologías de las redes inalámbricas.

REQUERIMIENTOS DE USUARIO

STSR5	El usuario visualizará las gráficas generadas por el analizador de espectro en la GUI de GNU Radio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
STSR6	El usuario visualizará toda la información mediante un mini monitor, el cual sea capaz de mostrar toda la información necesaria.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
STSR7	El usuario requiere dispositivos de entrada, como teclado y ratón con el fin de navegar dentro de las GUI de estudio.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
STSR8	Acceso de manipulación para movilidad de nodos de acuerdo con las necesidades del estudio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Nota. La importancia viene dada en una escala cualitativa: alto, medio y baja

3.5.4 Requerimiento del sistema

Estos requerimientos se realizan en base de las necesidades del sistema, los cuales constan en analizar el comportamiento del WSN expuestas a un ambiente textil industrial y como sus capas física y enlace reaccionan a la misma.

Tabla 7

Requerimientos del sistema

#	REQUERIMIENTO	SYSR REQUERIMIENTOS DE SISTEMA PRIORIDAD		
		Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ				
SYSR1	Nodos centrales de las tecnologías conectados a la PC Administrador	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR2	Configuración de Bloques de GNU Radio configuradas a la necesidad de estudio.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

SYSR3	Graficas de potencia correspondientes al entorno en la interfaz de GNU Radio con Frecuencia (MHz) en relación con el tiempo (s)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR4	Graficas de potencia correspondientes al entorno en la interfaz de GNU Radio con frecuencia (MHz) con relación a la ganancia relativa (dB)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR5	Hoja de cálculo receptora de los paquetes generados para la validación de la red inalámbrica	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
REQUERIMIENTOS DE USO				
SYSR6	Acceso al hangar universitario correspondiente al taller textil de la carrera CITEX.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR7	La maquinaria textil deberá ser encendida y apagada de acuerdo con las necesidades del estudio.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR8	Los nodos deben estar encendidos y las redes activas durante el tiempo que sea necesario para el estudio.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR9	Los nodos deben ser distribuidos en lugares estratégicos del hangar.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE				
SYSR10	El analizador de espectro deberá estar funcionando durante el proceso de pruebas de las redes.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR11	Los nodos de las redes se desplegarán de manera independiente.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR12	Los softwares deben estar en ejecución para captar todos los datos de manera correspondiente.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR13	Los datos obtenidos deben ser tabulados para deducir y calcular	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

los diferentes parámetros del estudio.

REQUERIMIENTOS DE MODO Y ESTADO

SYSR14	El sistema mostrará los detalles físicos de las redes inalámbricas a estudiar.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR15	Redes inalámbricas correspondientes a las tecnologías encendidas	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR16	Maquinaria textil del hangar prendida y a pagada dependiendo el estado de estudio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

REQUERIMIENTOS FISICOS

SYSR17	Técnico encargado de manipulación de maquinaria textil	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SYSR18	Todos los nodos deben poseer un case el cual permita su fácil y ágil manipulación.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Nota. La importancia viene dada en una escala cualitativa: alto, medio y baja

3.5.5 Requerimiento de arquitectura

Relacionado a la arquitectura WSN, las tecnologías poseen los mismos requerimientos basados en hardware, software y alimentación eléctrica.

Tabla 8

Requerimientos de arquitectura

#	REQUERIMIENTO	SRSR		
		REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA		
		Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO				
SRSR1	Cada tecnología tendrá su nodo central o gateway conectado al computador central	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRSR2	Los nodos centrales generarán su celda para la conexión del resto de estaciones o nodos	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

SRS3	Cada nodo de las tecnologías estará configurado en los canales y frecuencias establecidas para su estudio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS4	Analizador de espectro ADALM-PLUTO SDR analizará el medio en todo momento durante el estudio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS5	Asociación de nodos a tecnología debe ser de manera inmediata	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
REQUERIMIENTOS LÓGICOS				
SRS6	Los nodos centrales se conectan mediante interfaz USB a la PC administradora	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE				
SRS7	Transceptor y antena Fenwi ax1800, con operatividad en la banda de 2.4GHz	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS8	Transceptor SX1280 desarrollado por Semtech Corp. como transceptor de LoRa en la banda 2.4 GHz	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS9	Antena genérica para trabajo en la banda de 2.4 GHz con conector U.FL-male a SMA male.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS10	Monitor/Pantalla capaz de mostrar interfaz gráfica mediante puerto micro HDMI o lane MIPI DSI	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS11	Analizador de espectro ADALM-PLUTO SDR	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE				
SRS12	Sistema operativo Linux GNU Ubuntu 18.04 desktop	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS13	Entorno de programación ArduinoIDE, para el desarrollo de script y librerías.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS14	Software de bloques de procesamiento GNU Radio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS				
SRS15	Fuente de alimentación que le brinde 5VDC – 80mA, mediante interfaz USB - micro	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SRS16	Fuente de alimentación que le brinde 5VDC–3A mediante interfaz USB-C	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Nota. La importancia viene dada en una escala cualitativa: alto, medio y baja

3.6 Elección de hardware y software

Respecto a la elección del hardware y el software se efectuó un análisis previo en el cual se presentan alternativas tanto de hardware y software de los requerimientos que intervienen en el estudio, es decir, el más adecuado para las WSN de las respectivas tecnologías, todo esto con la finalidad de obtener el mejor resultado posible, además del equipo necesario para el análisis del espectro radio eléctrico para ello se explicará cuáles son las alternativas y se desarrollara un mejor performance de la tecnología elegida indicando la razón de su elección.

3.6.1 Hardware y Software 802.11 ax

En relación con la implementación del hardware y software de la red de sensores basada en el estándar 802.11 ax, se procedió a seleccionar dispositivos adecuados que mediante un análisis de mercado corresponden a una opción económica y de fácil implementación, pues, es importante mencionar que al ser una tecnología relativamente nueva no existen módulos pequeños capaces de trabajar en dicho estándar.

3.6.1.1 Hardware

Para una correcta elección de hardware se hizo un análisis de estudio del mercado en donde se buscó la opción más adecuada, pero para ello se tomó en cuenta que no existen dispositivos o microcontroladores los cuales trabajen de forma nativa con el estándar IEEE 802.11ax, lo cual se procedió a buscar hardware específico el cual ya generé la red en dicha tecnología, presentando las siguientes opciones en la Tabla 9:

Tabla 9*Opciones de Router y sus costos*

Dispositivo	Costo
Reyee Router WiFi6 AX3200	\$149.99
ASUS AX 1800 WiFi6	\$99.99
Huawei WiFi AX3 WiFi6	\$70.00

Nota: Comparativa de costos entre dispositivos

Los tres dispositivos realizan la misma función, la diferencia principal es de costos e interfaces ethernet, pero al no necesitarlas pues el estudio se encuentra basado en las tecnologías inalámbricas se optó por la más económica.

Por otro lado, los dispositivos que se conectaran a esta red se encuentran basados únicamente en los Raspberry Pi Compute Module 4 IO Board pues son las únicas placas capaces de ser adaptadas una tarjeta de red comercial externa directamente por el puerto PCI, además de tener 40 pines existentes para la aplicabilidad de IoT.

Pero hay que tomar en cuenta que existen modelos como el Raspberry Pi4 que son capaces de soportar dichos drivers, por tal motivo no sería un requisito cerrado utilizar un Raspberry Pi Compute Module 4 IO Board pues como se muestra a continuación, una de las opciones que se encuentran en la Tabla 10, más específicamente el “Tp-Link WiFi 6 AX3000 PCI Archer TX3000E” posee un adaptador USB el cual puede realizar la misma función, mediante los puertos USB o PCI.

El ultimo componente, la tarjeta de red se encuentran diferentes opciones las cuales puedan ser adaptadas al puerto PCI, de las cuales se presentan las siguientes opciones que al igual que en los dispositivos que generarían la red la única diferencia es el costo y en algunas opciones poseen RGB lo cual no influye en el estudio por lo cual se procede a escoger la opción más económica con referencia a la Tabla 10.

Tabla 10*Opciones de tarjeta de red PCI y sus costos*

Dispositivo	Costo
Tp-Link WiFi 6 AX3000 PCI Archer TX3000E	59.99
GIGABYTE WIFI 6 GC-WBAX200	39.99
Tarjeta WiFi 6E AX210NGW DTK	29.99

Nota: Comparativa de costos entre dispositivos

Finalmente, el hardware escogido se basa en la placa de desarrollo Raspberry Pi Compute Module 4 IO Board con su respectivo módulo de cómputo llamado Raspberry Pi Module Compute 4, en conjunto crean un entorno de desarrollo para diferentes proyectos, para el despliegue de la red inalámbrica correspondiente a 802.11 ax y su estudio de rendimiento tiene su propio hardware y software además de varias interfaces, las cuales se detallan en la Tabla 11 y su representación gráfica en la Figura 8.

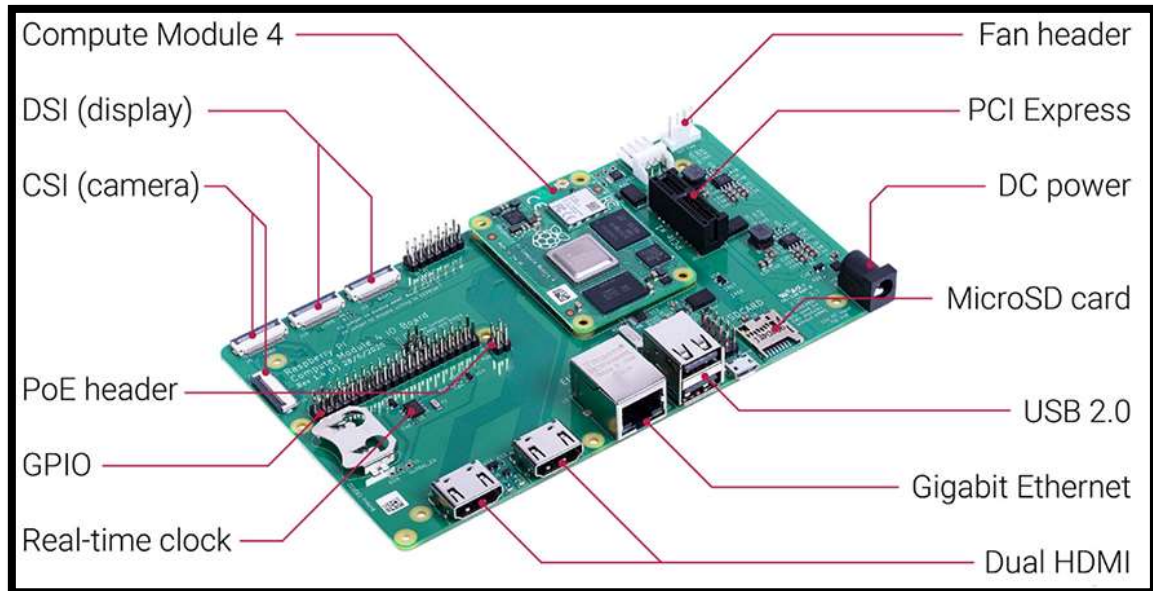
Tabla 11*Hardware Raspberry Pi Compute 4 IO Board y Modulo 4*

Hardware	Interfaces	Software
ARM-Cortex A72 de cuatro núcleos y 64 bits a 1,5 GHz	LAN inalámbrica 802.11 b/g/n/ac	Conjunto de instrucciones ARMv8
RAM LPDDR4 de 4 Gigabytes	Bluetooth 5.0 con BLE	Pila de software Linux madura
Decodificación hardware H.265 (HEVC) (hasta 4Kp60)	1 tarjeta SD Slot	Desarrollado y mantenido activamente
Decodificación hardware H.264 (hasta 1080p60)	2 puertos HDMI que admiten pantallas dobles con una resolución de hasta 4Kp60	
Gráficos 3D VideoCore VI	2 puertos USB2	
Admite salida de pantalla HDMI dual de hasta 4Kp6	2 puertos USB3	
Almacenamiento eMMC Flash de 8	1 puerto Gigabit Ethernet (admite PoE con complemento PoE HAT) Soporte Dual MIPI DSI Display y Dual MIPI CSI-2 para cámaras 1 puerto de cámara Raspberry Pi (MIPI CSI de 2 carriles)	

Soporte para una línea PCI Express 2.0
 1 puerto de pantalla Raspberry Pi (MIPI DSI de 2 carriles)

Nota. Descripción hardware, interfaces, software

Figura 8
Raspberry Pi Compute Module 4 IO Board



Nota. MsRobotics (2019)

Se procede a adaptar la tarjeta de red “WiFi 6E AX210NGW DTK” mediante la interfaz “PCI Exxpress” haciendo que su comunicación WLAN pase a trabajar en el estándar 802.11ax, descritas en la Tabla 12 y su representación gráfica en la Figura 9.

Tabla 12
Características técnicas del hardware tarjeta WiFi 6E AX210NGW DTK

Nombre de la marca	Tarjeta WiFi 6E AX210NGW DTK
Tipo	Wireless
Frecuencias de señales WiFi-compatibles	2.4GHz, 5GHz 6GHz
Protocolo inalámbrico	802.11 a/g/n/ac/ax
OFDMA	Si
Interfaz	PCI Express
Certificación	FIPS, FISMA
Compatibilidad	Windows 7/10/11 – Linux (basados GNU)
Número de modelo	AX210NGW DTK

Nota. Marca y datos del hardware

Figura 9
Tarjeta WiFi 6E AX210NGW DTK



Nota. Intel® Wi-Fi 6E AX210

Finalmente se tiene el router cuya función es de eje central llamado también “nodo central”, este cumple los requerimientos técnicos en los cuales se basa esta tecnología inalámbrica IEEE 802.11ax, siendo el “Huawei WiFi AX3” el que posee las siguientes características descritas en la Tabla 13 y su representación gráfica en la Figura 10

Tabla 13
Características técnicas del hardware Huawei WiFi AX3

Especificaciones	
Dimensiones y Peso	225 mm x 159.2 mm x 39.7 mm Sobre 403 g
Color	Blanco
Interfaces	WAN: un puerto Ethernet de 10 / 100 / 1.000 Mbps LAN: Tres puertos Ethernet 10 / 100 / 1.000 Mbps
Seguridad	Seguridad TrustZone, algoritmos de fuerza bruta, WPA3, firewall, DMZ, PAP

	/ CHAP, protección contra ataques DMZ / DoS
Conexión Inalámbrica	802.11ax/ac/n/a 2 x 2 y 802.11ax/n/b/g 2 x 2, MU-MIMO
Velocidad Inalámbrica	Hasta 2.976 Mbps (2,4 GHz: 574 Mbps; 5 GHz: 2.402 Mbps)
Procesadores	CPU Gigahome Quad-core 1,4 GHz

Nota. HUAWEI WiFi AX3 (Quad-Core) - HUAWEI España

Figura 10
Huawei WiFi AX3



Nota. Misma fuente del cuadro de arriba

3.6.1.2 Software

Debido al trabajo en el Raspberry Board Module 4 se puede indicar que se utilizó el sistema operativo Raspberry OS que al ser de libre uso se puede desarrollar diferentes configuraciones en relación con la adecuación de los nodos según las necesidades requeridas, pues, su base es GNU/Linux. Además de poseer las siguientes características en la versión más actual la cual se va a utilizar verificadas en la Tabla 14.

Tabla 14
Software de Raspberry OS

Características	
Desk	GNOME 3.28
Kernel	5.15 V
Gráficos	FKMS OpenGL desktop
Server	VNC Server Nativo

Algoritmo	ZSTD
Desarrollo	OpenJDK 11

Nota. Características del Software

Tomando en cuenta la necesidad de analizar el rendimiento de esta WSN se consideró el software “Iperf3” el cual fue capaz de analizar los parámetros necesarios dentro del estudio cuyas características hacen que sea eficiente en su apartado y que son:

- Compatible con TCP, UDP y SCTO.
- Ancho de banda MSS/MTU.
- Multiplataforma.
- Conexiones múltiples.
- Separación UpLink y DownLink.
- Tiempo de Transferencia.
- Fusiona OS.

3.6.2 Hardware y software 802.15.4 LoRa

Para la implementación del hardware y software de la red de sensores basada en el estándar 802.15.4 se debió seleccionar la tecnología mencionada con anterioridad la cual correspondió a LoRa en la banda de frecuencia de 2.4GHz, esto hace que seleccionar el hardware sea limitado, además, del software se encuentra limitado a la capacidad de desarrollo.

3.6.2.1 Hardware

Para una correcta elección de Hardware en la tecnología LoRa se buscó las mejores opciones las cuales sean capaces de procesar de forma adecuada el chip transductor SX1280 el cual es el que modulará en la banda de frecuencia de 2.4GHz, teniendo 2 opciones basadas en ARDUINO y otra en una variante de la plataforma ESP32 (recomendación del fabricante) las cuales se presentan que tienen similares características técnicas y de igual manera, la única diferencia son sus diferentes costos teniendo lo siguiente:

Tabla 15
Opciones de microprocesador para LoRa y sus costos

Dispositivo	Costo
ESP32 Wroom	\$6.99
Arduino MEGA	\$55.00
Arduino Leonardo	\$24.90

Nota: Comparativa de costos entre dispositivos

El hardware se centró en tres elementos básicos los cuales conforman el nodo físico a realizar, en este sentido, se detalla cada uno de ellos: Respecto al eje principal se utilizó el microcontrolador ESP32, este es un módulo de preferencia al momento de tomarlo en cuenta en proyectos relacionados al IoT por su calidad y precio. En la tabla 16 se detalla sus características en la Tabla 16.

Tabla 16
Hardware ESP32 WROOM 32

Especificaciones y Características	
Tipo	Microcontrolador WiFi y Bluetooth
Nombre	ESP32 WROOM 32 SMD
Dimensiones	18 mm x 25.5 mm x 3.1 mm
Peso	2.5 g
Voltaje de alimentación	3.0 V – 3.6 V
Corriente de operación	80 mA
CPU	Dual core Tensilica LX6
Frecuencia de Reloj	240 MHz
SRAM	520k KB
Memoria Flash Externa	4 MB

Nota. Características ESP32 WROOM 32

El transceptor SX1280 fue desarrollado por SEMETCH como una solución de IoT basado en LoRa en la banda de 2.4GHz, es bueno acotar que, actualmente su mercado es reducido debido que es una tecnología producida por un solo fabricante generando un estándar de calidad donde sus características clave se detallan en la Tabla 17.

Tabla 17
Transceptor SX1280

Características

Frecuencia de Transceptor	2.4GHz
Sensibilidad	-132 dBm
Consumo	Bajo consumo 3VDC
Modulación	LoRa, FLRX, FSK
BiteRate	Programable
Bloqueo	Excelente
Compatibilidad	Bluetooth
Costo	Bajo

Nota. Características transceptor SX1280

Finalmente se tiene la antena WiFi, esta es genérica y está diseñada para la propagación en 2.4GHz. Una característica principal es que tiene el adaptador al transceptor SX1280. Lo expuesto se detalla en la Tabla 18.

Tabla 18
Antena Wifi-genérica

Características	
Frecuencia	2.4GHz
Ganancia	3 dBi
Dirección	Omnidireccional
Conector de antena	RP-SMA
Cable de acceso	IPX IPEX U. FL MHF4 a RP-SMA de 12 MA

Nota. Características antena Wifi

3.6.2.2 Software

A diferencia de la otra red todo se realiza mediante un entorno de programación en Arduino IDE software de uso libre. Es una aplicación desarrollada para programar microcontroladores de mayor uso en el mercado actual posee las siguientes características detalladas en la Tabla 19.

Tabla 19
Software de programación ARDUINO IDE

Características

Soporte	Multiplataforma de Arduino
Conexión	Autodetección de placa
Indicadores	Memoria Flash y SRAM
Soporte	Autoguardado de compilación

Nota. Características del software

3.7 Recursos

A continuación, se detallan los recursos utilizados e intervinientes en el presente proyecto, los cuales se cimentan en los recursos humanos económicos y tecnológicos, los cuales son directamente basados en los requerimientos.

3.7.1 Recursos humanos

Los recursos se refieren al talento humano implícito dentro del estudio y que colaboraron en el proceso. A continuación, se los detalla en la Tabla 20.

Tabla 20

Recursos humanos

RECURSOS HUMANOS	
Técnico docente CITEX	Ing. José Imacaña
Tutor	MsC. Carlos Vázquez
Asesor	Ing. Fabián Cuzme
Desarrollador	Vicente Maya

Nota: Descripción del talento humano interviniente en el proyecto

3.7.2 Recursos económicos

Se refiere a los recursos financieros que harán posibles el estudio. Se los detalla a continuación en la Tabla 21.

Tabla 21
Recursos económicos

#	Material	ECONÓMICO Costo Unitario	Número de Elemento	Costo total
Nodo LoRaWAN				
1	Modulo ESP32	\$7.00	3	\$21.00
2	Modulo SX1280	\$7.00	3	\$21.00
3	Antena WiFi 2.4GHz	\$4.00	3	\$12.00
Nodo 802.11ax				
4	Raspberry Pi Compute Module 4 IO Board	\$40.00	3	\$120.00
5	Raspberry Pi Module 4	\$100.00	3	\$300.00
6	Tarjeta WiFi 6E AX210NGW DTK	\$30.00	3	\$90.00
7	Huawei WiFi AX3	\$70.00	1	\$70.00
Analizador de Espectro				
8	ADALM-PLUTO SDR	\$230.00	1	\$230.00
9	Raspberry Pi4	\$130.00	1	\$130.00
10	Raspberry LCD 7"	\$40.00	1	\$40.00
			TOTAL	\$928.00

Nota. Descripción de costos del recurso financiero

3.7.3 Recursos tecnológicos

Dentro de los recursos tecnológicos intervienen el hardware y software; respectivos y correspondientes a las tecnologías. Se los detalla a continuación en la Tabla 22.

Tabla 22
Recursos tecnológicos

TECNOLÓGICOS		
#	Software	Costo
1	ARDUINO IDE	\$0.00
2	Ubuntu Linux	\$0.00
3	Raspberry OS	\$0.00
4	GNU Radio	\$0.00
5	Iperf3	\$0.00
Total		\$0.00

Nota. Descripción de costos del recurso tecnológico

3.8 Diseño de red y sensores 802.11 ax

Es necesario tener en cuenta que las tecnologías basadas en el estándar IEEE 802.11 ax son recién llegadas al mercado ecuatoriano, por lo cual, se determinó el uso de una red tipo estrella para el diseño de los dispositivos los cuales generan la red inalámbrica, comprende 2 nodos, cada uno de ellos está conformado por: una fuente de alimentación, RaspberryPi Module Compute 4 IO Board y una tarjeta de red WiFi 6E AX210NGW DTK que trabaja en WiFi6 (802.11ax).

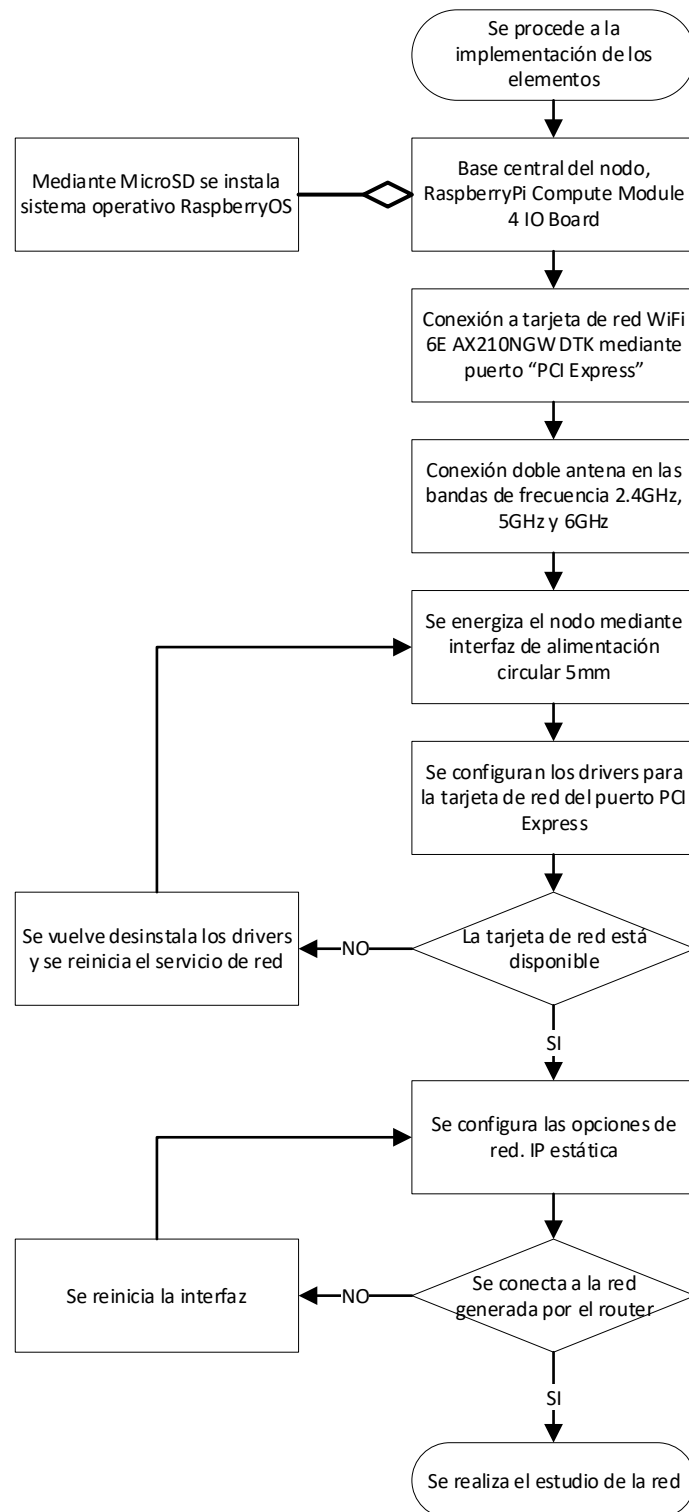
Es pertinente generar un dispositivo que sea capaz de manejar la capacidad de transmisión de datos; un RaspberryPi Module Compute se convierte en la mejor opción además de poseer interfaces capaces de entrada y salida, tanto digital como analógica, permitiendo un adecuado desarrollo o implementación de IoT en estas plataformas, teniendo en cuenta la importancia de las necesidades de la industria en cuanto a sus aplicaciones dentro de la industria textil.

3.8.1 Diagrama de flujo 802.11 ax

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que muestra el funcionamiento de los nodos y su preparación para el levantamiento de la red previo al estudio a realizar correspondiente a la presente tecnología la cual se muestra en la Figura 11

Figura 11

Diagrama de flujo de implementación de la tecnología 802.11ax



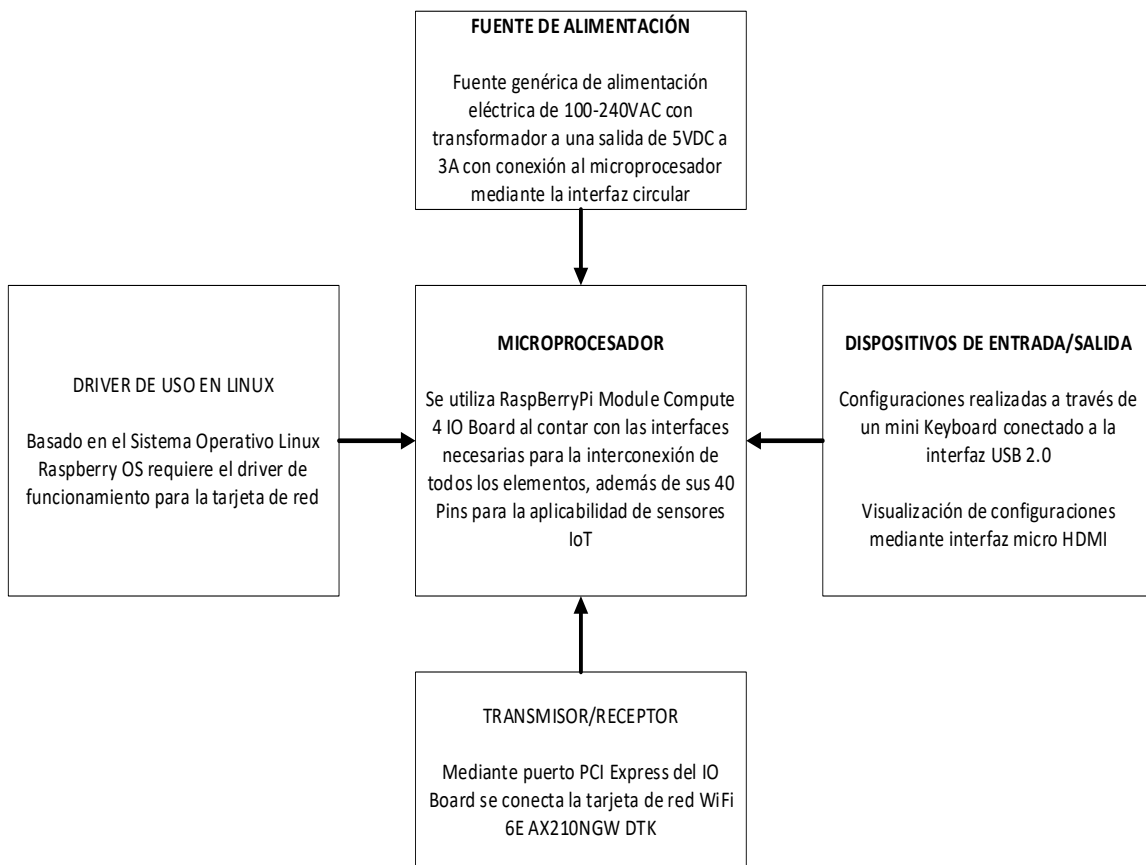
Nota. Presenta los pasos de la implementación de la tecnología 802.11ax y su proceso hasta la realización del estudio.

3.8.2 Diagrama de bloques 802.11ax

El diagrama que se detalla a continuación representa la interconexión de los componentes intervinientes en el nodo, indicando cada uno de ellos y su función dentro del nodo. Muestra una visión general del dispositivo diseñado en esta tecnología. Se puede observar en la **Figura 12**.

Figura 12

Diagrama de bloques componentes para dispositivo 802.11ax

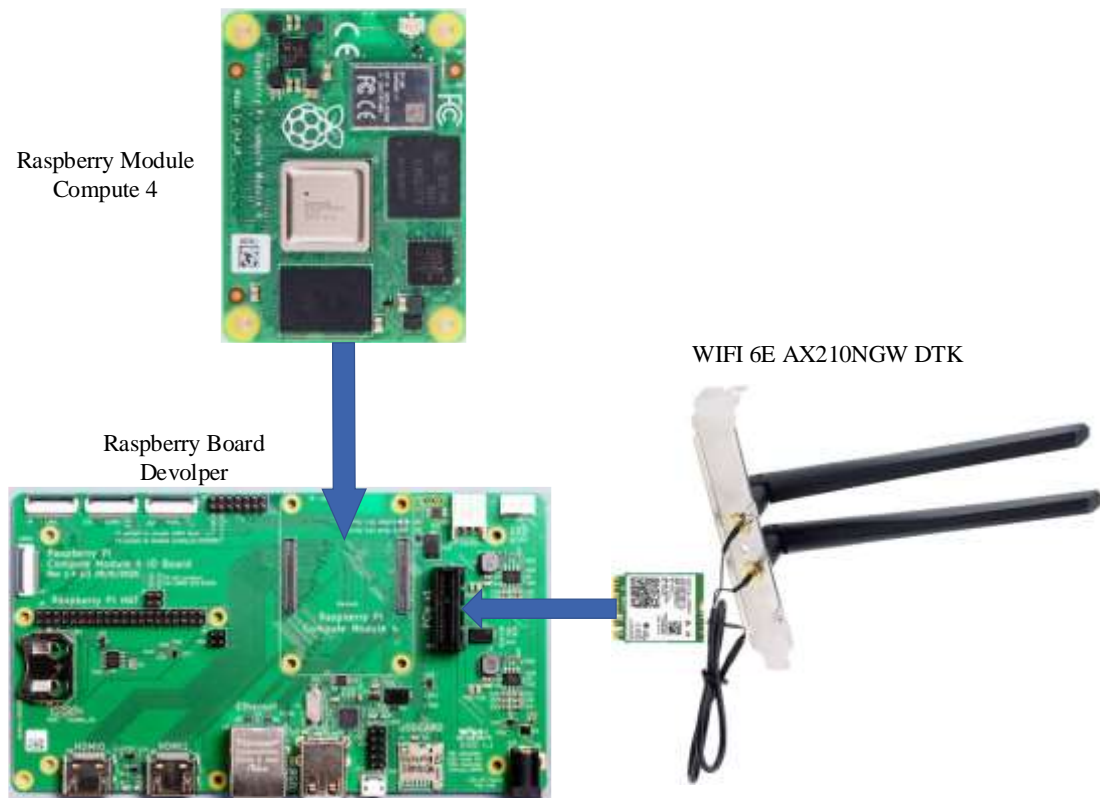


Nota. Presenta como los diversos elementos se interconectan para el desarrollo del dispositivo.

3.8.3 Implementación de dispositivos

A continuación, se presenta como se interconectan los dispositivos “Tarjeta de red WIFI 6E AX210NGW DTK” mediante el puerto PCI Express Presente en el “Raspberry Pi Module Compute 4 IO Board”, de esta manera el dispositivo (nodo/estación) se encuentra listo para ser utilizado el cual se muestra en la Figura 13.

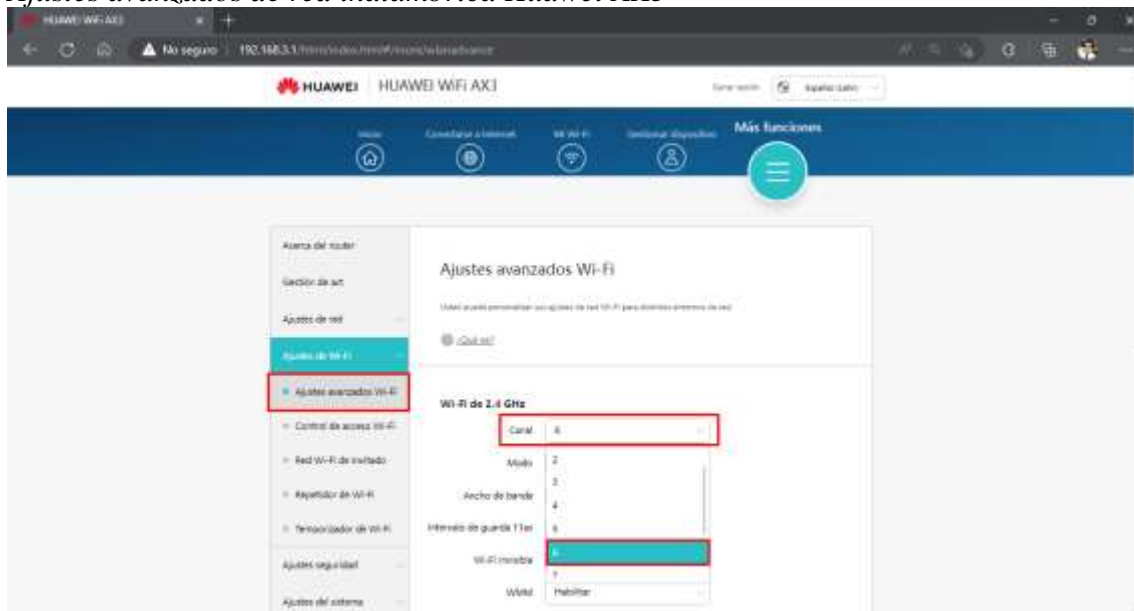
Figura 13
Conexión entre elementos del dispositivo 802.11ax



3.8.4 Configuración de red 802.11 ax

En correspondencia a la red que se desplegó para las pruebas técnicas se utilizó el router de marca Huawei, modelo WiFi AX3. Este tiene las características necesarias para efectuar un estudio adecuado en la tecnología del estándar 802.11 ax. Se debió configurar según requerimientos propios basados únicamente en la configuración de la red inalámbrica que se ofrece. Se puede observar a continuación en la Figura 14.

Figura 14
Ajustes avanzados de red inalámbrica Huawei AX3



Nota. Tomada desde navegador en dirección IP del equipo (router) 192.168.3.1

Dentro de configuración inalámbrica únicamente se configuraron los parámetros de:

- Canal.
- Modo.
- Ancho de Banda.
- Red Visible.

Manteniendo los siguientes parámetros por defecto:

- Wi-Fi invisible.
- WMM.

3.8.5 Configuración de nodos/estaciones

Los nodos/estaciones que se conectaron a la red están conformados con los RaspberryPi Module 4 IO Board. Mediante la interfaz de lector SD se les instaló el sistema operativo RaspberryOS que brinda una distribución basada en GNU/Linux

obteniendo así una gran capacidad de personalización para cualquier tipo de proyecto, mostrándose en la Figura 15.

Figura 15
Interfaz RaspberryOS



Nota. Obtenida del RaspberryPi Compute Module 4 IO con sistema operativo Raspberry OS

Basado en ello se procedió a la configuración de los nodos de PCI de asignación de las tarjetas de red colocadas en la RaspberryPi Compute Module 4 IO mediante el driver “iwlwifi-ty59.601f3-a66.0.tgz”. Este procedimiento se realiza en ambos nodos, la

Figura 16 muestra el proceso en ambos dispositivos.

Figura 16
Instalación drivers correspondientes a tarjetas de red



Nota. Archivos descargados e instalados en las placas de desarrollo

Se procedió a configurar las direcciones IPv4 de los nodos, pues se trabajó con ese estándar. Con la finalidad de una mejor distribución se seleccionó las direcciones IP correspondientes a la dirección de gateway 192.168.3.1 que son: 192.168.3.20 y 192.168.3.21 cada una a los nodos/estaciones 1 y 2 respectivamente, lo cual se puede apreciar en la Figura 17 y Figura 18.

Figura 17

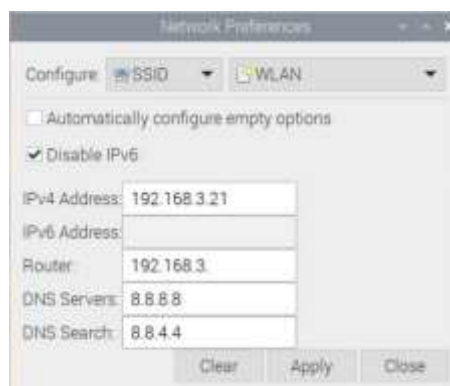
Asignación IPv4 nodo 1



Nota. Configuración IP de dispositivo 1

Figura 18

Asignación IPv4 nodo 2



Nota. Configuración IP de dispositivo 1

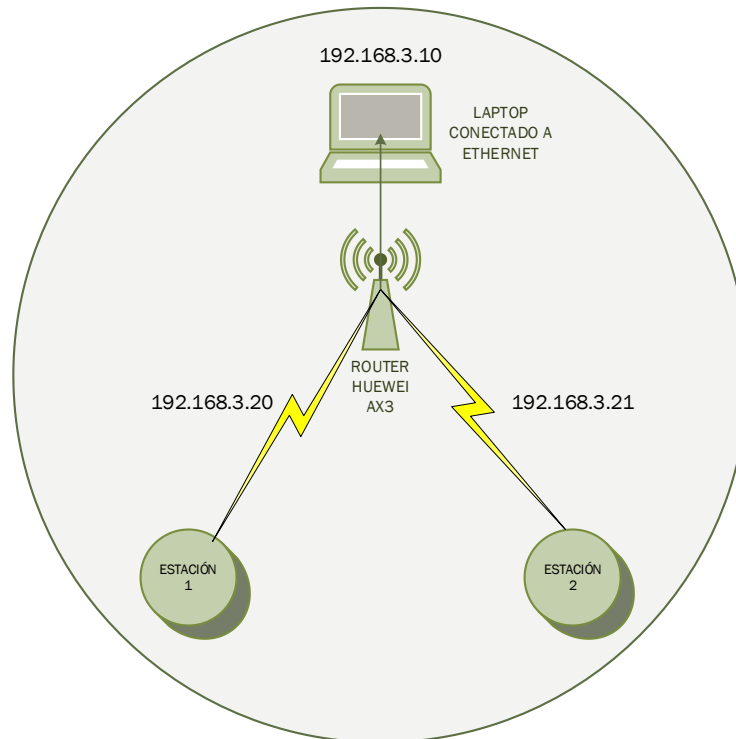
3.8.6 Topología tecnología IEEE 802.11ax

La implementación de la topología para la red inalámbrica IEEE 802.11ax se basa en la topología estrella, la cual puede albergar los nodos/estaciones necesarias, en este caso de estudio se utilizó 2 estaciones, cada una ubicada en las estaciones, cada una con

su respectiva IP, además, del router Huawei AX3 que será quien generará el BSSID: WLAN y estará conectado mediante un puerto ethernet a una laptop que realizará las pruebas de rendimiento, tal y como se muestra en la Figura 19.

Figura 19

Topología IEEE 802.11ax



Nota. Topología tipo estrella para el despliegue de la red en la tecnología IEEE 802.11ax

3.9 Diseño de red y sensores 802.15.4 LoRa

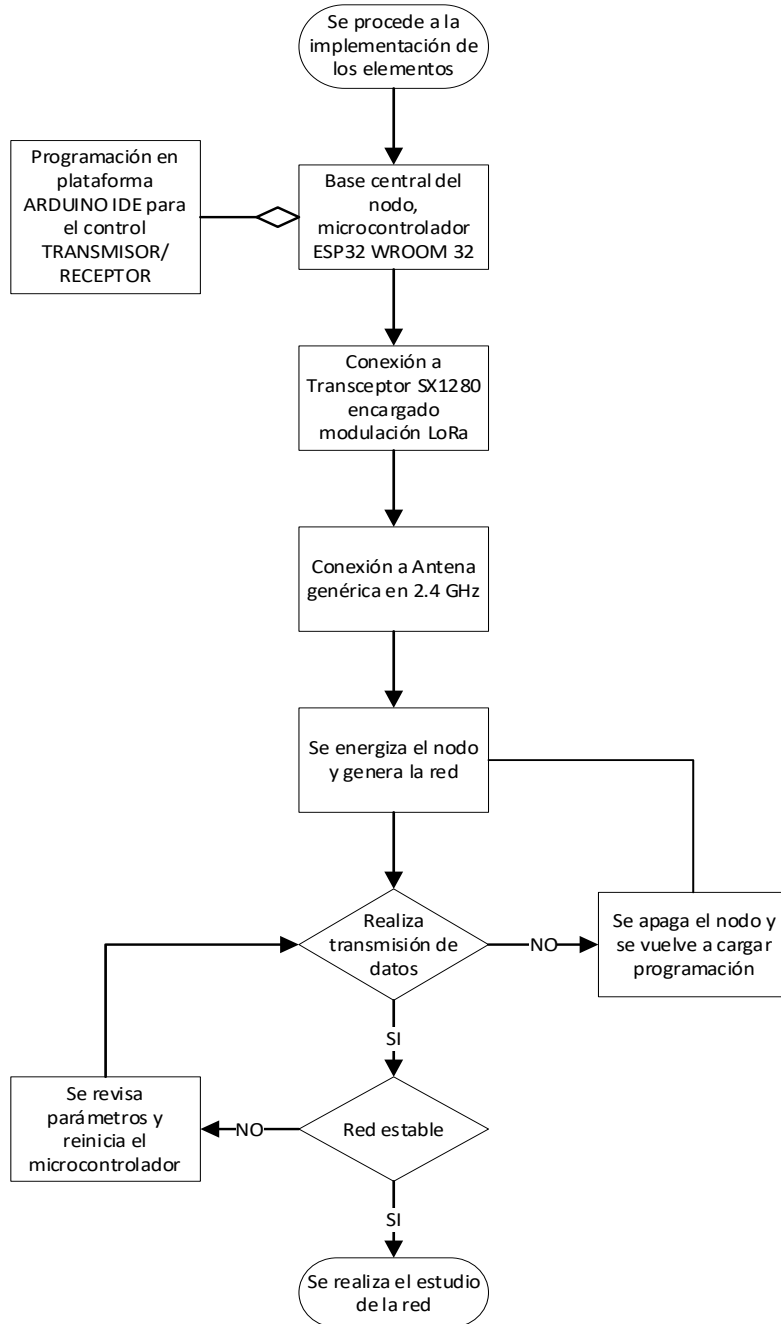
En cuanto al diseño de la red inalámbrica desarrollada bajo IEEE 802.14.5 se seleccionó LoRa. Cabe indicar que, con esta se ha generado una WSN con 3 nodos, con la implementación de un nuevo microchip denominado SX1280 y el microprocesador ESP32 se logra que la modulación de LoRa sea posible en la banda de los 2.4 GHz manteniendo sus ventajas de bajo consumo eléctrico. Por su parte, el microprocesador posee varios Pins, estos son de carácter tanto analógicos como digitales, los cuales están a disposición para la implementación de diversos sensores enfocados a IoT. Esto depende mucho de los requerimientos y programación en la plataforma de Arduino IDE la cual se basa en C++.

3.9.1 Diagrama de flujo 802.15.4 LoRa

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que muestra la preparación y funcionamiento de los nodos independientemente si su función es de transmisor o receptor de información como se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Diagrama de flujo de implementación de tecnología 802.15.4 LoRa

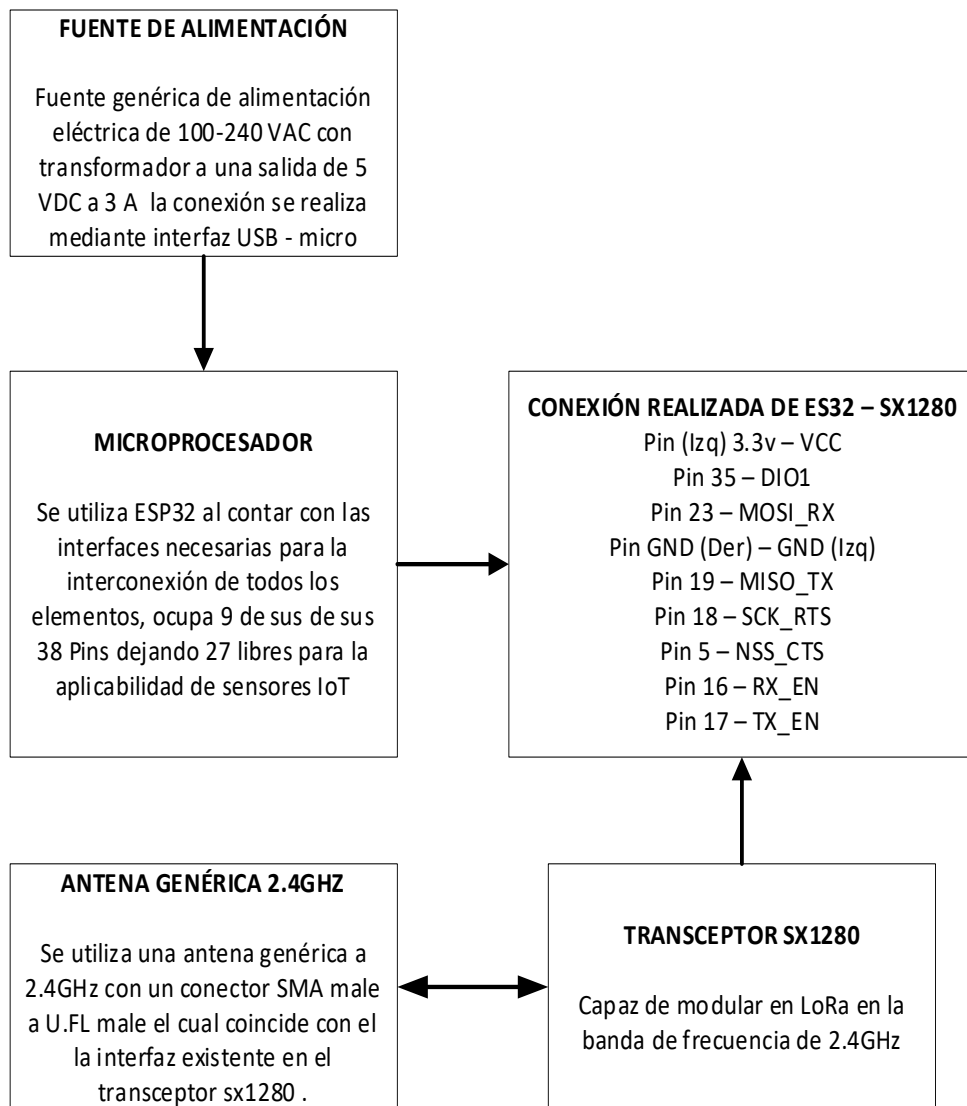


Nota. Presenta los pasos de la implementación de la tecnología 802.15.4 LoRa y su proceso hasta la realización del estudio.

3.9.2 Diagrama de bloques 802.15.4 LoRa

En el siguiente diagrama de bloques se muestra la interconexión de los componentes intervinientes en el nodo, es importante mencionar que se indica cada uno de los componentes y su función y muestra una visión general del dispositivo diseñado a través de esta tecnología la cual se puede apreciar en la Figura 21.

Figura 21
Diagrama interconexión componentes



Nota. Presenta como los diversos elementos se interconectan para el desarrollo del dispositivo.

3.9.3 Diagrama circuito 802.15.4 LoRa

El siguiente diagrama explica el desarrollo electrónico y su conexión utilizado para controlar el microchip sx1280 mediante el microcontrolador ESP32 y una antena genérica en la banda 2.4GHz. Esto se explica en la Figura 22, además de la Tabla 23 la cual muestra la conexión de cada pin que interviene en el circuito.

Figura 22
Diagrama de circuito LoRa

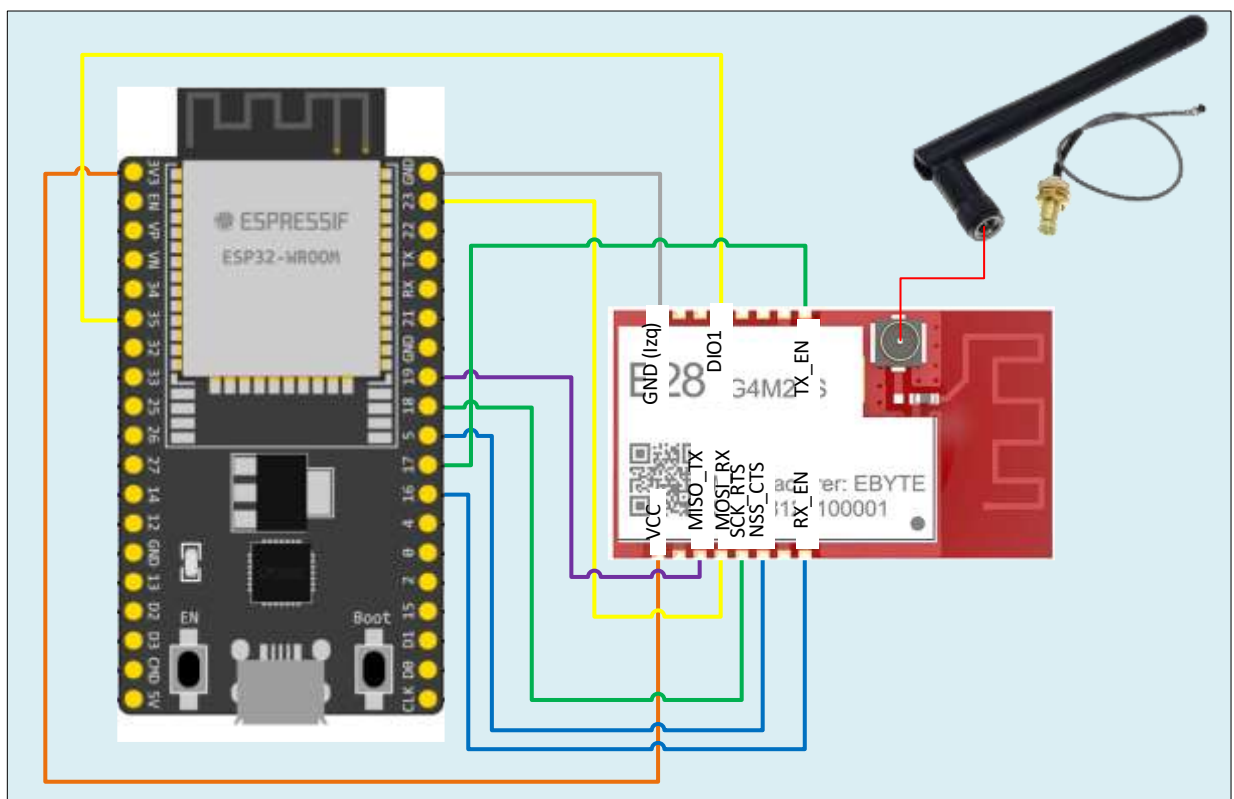


Tabla 23*Conexión de pines entre ESP32 y SX1280*

ESP32	SX1280 (E28 2G4M27S)
Pin (Izq) 3.3v	VCC
Pin 35	DIO1
Pin 23	MOSI_RX
Pin GND (Der)	GND (Izq)
Pin 19	MISO_TX
Pin 18	SCK_RTS
Pin 5	NSS_CTS
Pin 16	RX_EN
Pin 17	TX_EN

3.9.4 Programación de la red 802.15.4 LoRa

Para realizar la programación del sistema se debe utilizar el microcontrolador ESP32 WROOM32 con un interfaz de programación capaz de soportar dicha distribución y para ello es necesario indicar que se utilizó ARDUINO IDE, este posee librerías capaces de soportar las necesidades del proyecto.

Es relevante tomar en cuenta que existe dos programas, el primero cuando se configura como receptor y el segundo en caso de configurarse como estación; independientemente de ello, ambos utilizan la misma librería creada por el fabricante la cual se denomina “Settings.h” y es la encargada de los ajustes de la red que se detallan en la Figura 23 teniendo en cuenta que se indica los pines de uso dentro del transceptor con el fin de definir cada uno con su respectivo uso.

Figura 23
Programación de settings de los pins a usar

```
//***** configuración de los pines del hardware de LORA *****

//Definicion de pines
//Pines no usados se setean en -1

#define NSS 5 //seleccionar pin en el dispositivo LoRa
#define SCK 18 //SCK en SPI3
#define MISO 19 //MISO en SPI3
#define MOSI 23 //MOSI en SPI3

#define NRESET 27 //pin de reset en el dispositivo LoRa
#define RFBUSY 25 //linea ocupada

#define LED1 2 //on board LED, high for on
#define DIO1 35 //DIO1 pin en el dispositivo LoRa, usado para RX y TX
#define DIO2 -1 //DIO2 pin en el dispositivo LoRa
#define DIO3 -1 //DIO3 pin en el dispositivo LoRa
#define RX_EN 16 //pin para habilitar RX
#define TX_EN 17 //pin para habilitar TX
#define BUZZER -1 //pin para buzzer
#define VCCPOWER 14 //pin de control de alimentación a dispositivos externos
#define LORA_DEVICE DEVICE_SX1280 //necesitamos definir el dispositivo que estamos usando de la familia sx12xx
```

Nota. Basado en la programación del fabricante

En la segunda parte se configuran los parámetros a utilizar en la red que se procederá a desplegar y para su mejor interpretación se detalla cómo sigue en la figura. Luego de esto es necesario indicar que cada nodo (transmisor o receptor) maneja su propia programación dependiendo de su función tal como muestra la Figura 24.

Figura 24
Programación de settings de los parámetros a utilizar

```
//***** Configuración de parámetros de LORA ! *****

//LoRa Parametros de modulación

const uint32_t Frequency = 2437000000; //Frecuencia de transmisión
const int32_t Offset = 0; //offset frequency for calibration purposes
const uint8_t Bandwidth = LORA_BW_0200; //Ancho de banda LoRa
const uint8_t SpreadingFactor = LORA_SF7; //Factor de dispersión LoRa
const uint8_t CodeRate = LORA_CR_4_5; //Tasa de codificaciónLoRa

const int8_t TXpower = 12; //Potencia de transmisión LoRa en dBm

const uint16_t packet_delay = 1000; //mS retraso entre paquetes
```

Nota. Basado en la programación del fabricante

3.9.4.1 Programación del nodo receptor

Para la parte del nodo receptor, se trabaja de forma que los otros puedan conectarse de la manera más eficiente; en primera instancia, se llama a las librerías públicas necesarias (SPI.h y SX128XLT.h) para el desarrollo y las configuraciones realizadas en la librería privada “Settings.h” como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Asignación de librerías y configuraciones a realizar

```
#include <SPI.h> //Librería para comunicación SPI
#include <SX128XLT.h> //Librería para el uso del módulo LORA
#include "Settings.h" //Librería de configuraciones del módulo LORA

SX128XLT LT; //Crear archivo LT del módulo LORA

uint32_t RXpacketCount; //Variables para el contador de recepción LORA
uint32_t errors; //Variables para los errores de recepción LORA

uint8_t RXBUFFER[RXBUFFER_SIZE]; //Variable para la recepción de LORA

uint8_t RXPacketL; //Variable para la longitud del paquete
int16_t PacketRSSI; //Variable para el RSSI del paquete
int8_t PacketSNR; //Variable para el SNR del paquete
```

Nota. Basado en la programación del fabricante

A continuación, se da inicio al programa partiendo de que a través de un tiempo de espera empieza a leer si existen paquetes recibidos o no, se puede encontrar la validación de que, si los paquetes llegan de manera adecuada o no, detallada en la Figura 26.

Figura 26

Programación de tiempo de espera y asignación de nodos

```
void loop()
{
  RXPacketL = LI.receive(RXBUFFER, RXBUFFER_SIZE, 60000, WAIT_RX); //Tiempo de espera de 60 segundos para recibir paquete
  digitalWrite(LED1, HIGH); //Encendido del led al inicial programa
  if (BUZZER > 0) //Lectura de los caracteres del paquete
  {
    digitalWrite(BUZZER, HIGH);
  }
  PacketRSSI = LI.readPacketRSSI(); //Leer el valor RSSI recibido
  PacketSNR = LI.readPacketSNR(); //Leer el valor SNR recibido
  if (RXPacketL == 0) //Comparativo para ver el estado del paquete
  {
    packet_is_Error(); //Función si el paquete llega incorrectamente
  }
  else
  {
    packet_is_OK(); //Función si el paquete llega correctamente
  }
}
```

Nota. Basado en la programación del fabricante

Es importante acotar que, el receptor genera un registro con la fecha, nombre del transmisor que envía y el número del paquete enviado, el cual puede ser validado en la Figura 27.

Figura 27

Programación de generación de registro de datos recibidos

```
pinMode(LED1, OUTPUT); //Inicializar el led indicador
led_Flash(2, 125); //Dos encendidos indica el inicio del sistema

Serial.begin(9600); //Inicializar el serial
Serial.print("FECHA"); //Imprimir título Fecha
Serial.print(","); //Imprimir símbolo separador
Serial.print("MENSAJE"); //Imprimir título Mensaje
Serial.print(","); //Imprimir símbolo separador
Serial.println("ENVIADOS"); //Imprimir título Enviados

if (BUZZER > 0) //Comparador de encendido y apagado de buzzer
{
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER, HIGH);
  delay(50);
  digitalWrite(BUZZER, LOW);
}
```

Nota. Basado en la programación del fabricante

Por último, se detalla la configuración del dispositivo LoRa llamando los parámetros establecidos en la librería privada “Settings.h” como se indica en la Figura 28 que se encuentra a continuación.

Figura 28

Programación de la configuración del dispositivo a utilizar

```
//Configuraciones del dispositivo LORA
//*****
LT.setMode(MODE_STDBY_BC); //Establecer modo de transmisión
LT.setRegulatorMode(NUSE_LDO); //Establecer regulador
LT.setPacketType(PACKET_TYPE_LORA); //Establecer tipo de paquete
LT.setRfFrequency(Frequency, Offset); //Establecer frecuencia y destiempo
LT.setBufferBaseAddress(0, 0); //Establecer dirección
LT.setModulationParams(SpreadingFactor, Bandwidth, CodeRate); //Establecer parámetros de modulación
LT.setPacketParams(12, LORA_PACKET_VARIABLE_LENGTH, 255, LORA_CRC_ON, LORA_IQ_NORMAL, 0, 0, FLRC_BW_1_300_BW_1_2); //Establecer parámetros de transmisión
LT.setDioIrqParams(IRQ_RADIO_ALL, (IRQ_TX_DONE + IRQ_SX_TX_TIMEOUT), 0, 0);
//*****
```

Nota. Basado en la programación del fabricante

3.9.4.2 Programación de nodo transmisor

En lo referente al nodo receptor se trabaja de forma que los otros puedan conectarse de la manera más eficiente, en este sentido, se llama a las librerías públicas necesarias (SPI.h y SX128XLT.h) para el desarrollo y las configuraciones realizadas en la librería privada “Settings.h”; finalmente, se coloca el nombre de la estación que se desee como se muestra en la Figura 29.

Figura 29

Programación de settings de los parámetros a utilizar

```
#include <SPI.h> //Librería para comunicación SPI
#include <SX128XLT.h> //Librería para el uso del módulo LORA
#include "Settings.h" //Librería de configuraciones del módulo LORA

SX128XLT LT; //Crear archivo LT del módulo LORA

uint8_t TXPacketL; //Variables para configuraciones del módulo LORA
uint32_t TXPacketCount, startmS, endmS; //Variables para configuraciones del módulo LORA

uint8_t buff[] = ("ESTACION 2"); //Variable del paquete de transmisión
```

Nota. Basado en la programación del fabricante

Una vez iniciado el programa empieza a generar paquetes que encenderán intermitentemente la luz led del ESP32 mostrando el envío de los paquetes generados

independientemente de que si son recibidos o no con un contador detallado en la Figura 30

Figura 30
Programación de asignación de transmisor

```

Serial.print(__DATE__); //Impresión de la Fecha
Serial.print(","); //Impresión del símbolo saporador
Serial.flush();

TXPacketL = sizeof(buff); //Longitud del paquete de transmisión
buff[TXPacketL - 1] = ','; //Símbolo al final del paquete de trnsmisión

LT.printASCIIPacket(buff, TXPacketL); //Imprimir paquete de transmisión en ASCII

digitalWrite(LED1, HIGH); //Encender led al transmitir
startmS = millis(); //Empieza el tiempo de transmisión
if (LT.transmit(buff, TXPacketL, 10000, TXpower, WAIT_TX)) //Condiciones de envío
{
    endmS = millis(); //Tiempo de paquete de transmisión
    TXPacketCount++; //Contador de paquetes de transmisión
    packet_is_OK(); //Función para un envío correcto
}
else
{
    packet_is_Error(); //Función de fallo de transmisión del paquete
}

digitalWrite(LED1, LOW); //Apagar led al transmitir
delay(packet_delay); //Tiempo de retraso entre transmisiones

```

Nota. Basado en la programación del fabricante

Se establece los paquetes a enviar generando una fecha de envío, mensaje y número de paquete correspondiente como se muestra en la Figura 31.

Figura 31
Programación de paquete a enviar.

```

pinMode(LED1, OUTPUT); //Inicializar el led indicador
led_Flash(2, 125); //Dos encendidos indica el inicio del sistema

Serial.begin(9600); //Inicializar el serial
Serial.print("FECHA"); //Imprimir titulo Fecha
Serial.print(","); //Imprimir simbolo separador
Serial.print("MENSAJE"); //Imprimir titulo Mensaje
Serial.print(","); //Imprimir simbolo separador
Serial.println("ENVIADOS"); //Imprimir titulo Enviados

SPI.begin(); //Inicializar la comunicación SPI

//Configuraciones del dispositivo LORA
if (LT.begin(NSS, NRESET, RFBUSY, DIO1, DIO2, DIO3, RX_EN, TX_EN, LORA_DEVICE))
{
    led_Flash(2, 125); //Dos parpadeos si el equipo comienza a funcionar
    delay(1000); //Tiempo de reposo entre funciones
}
else
{
    Serial.println(F("No Responde")); //Mensaje de no responde
    while (1)
    {
        led_Flash(50, 50); //Endendido muy rápido del led en fallos
    }
}

```

Nota. Basado en la programación del fabricante

Finalmente, se detalla en la siguiente figura la configuración del dispositivo LoRa llamando los parámetros establecidos en la librería privada “Settigns.h” detallado en la Figura 32

Figura 32

Programación de la configuración del dispositivo a utilizar

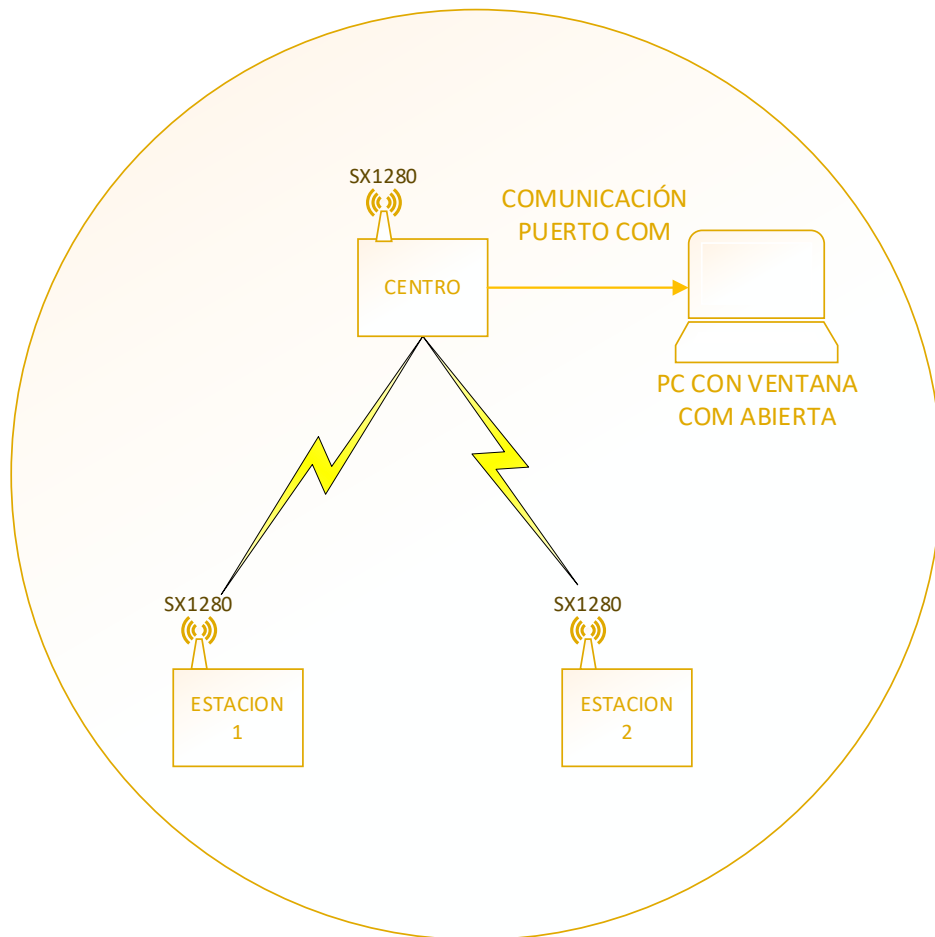
```
//*****  
//Configuración del dispositivo LORA  
//*****  
LT.setMode(MODE_STDBY_RC); //Establecer modo de transmisión  
LT.setRegulatorMode(USE_LDO); //Establecer regulador  
LT.setPacketType(PACKET_TYPE_LORA); //Establecer tipo de paquete  
LT.setRffFrequency(Frequency, Offset); //Establecer frecuencia y destiempo  
LT.setBufferBaseAddress(0, 0); //Establecer dirección  
LT.setModulationParams(SpreadingFactor, Bandwidth, CodeRate); //Establecer parámetros de modulación  
LT.setPacketParams(12, LORA_PACKET_VARIABLE_LENGTH, 255, LORA_CRC_ON, LORA_IRQ_NORMAL, 0, 0); //Establecer parámetros de transmisión  
LT.setDioIrqParams(IRQ_RADIO_ALL, (IRQ_TX_DONE + IRQ_RX_TX_TIMEOUT), 0, 0);  
//*****
```

Nota. Basado en la programación del fabricante

3.9.5 Topología tecnología IEEE 802.15.4 LoRa

La implementación de la topología para la red inalámbrica IEEE 802.15.4 LoRa se basa en la topología estrella, la cual puede albergar los nodos/estaciones necesarias, en este caso de estudio se utilizó 2 estaciones, cada una ubicada en las estaciones, cada una con su respectiva “buff” de respuesta, los cuales serán: estación 1 y estación 2 respectivamente para cada una, además, del nodo central que será quien generará el “RXBUFFER” encargado de determinar las estaciones que se conecten y envíen sus datos, este estará conectado mediante un puerto USB “COM” a una laptop que realizará las pruebas de conexión y rendimiento, tal y como se muestra en la Figura 33.

Figura 33
Topología *IEEE 802.15.4 LoRa*



Nota. Topología tipo estrella para el despliegue de la red en la tecnología IEEE 802.15.4 LoRa

3.10 Analizador de espectro

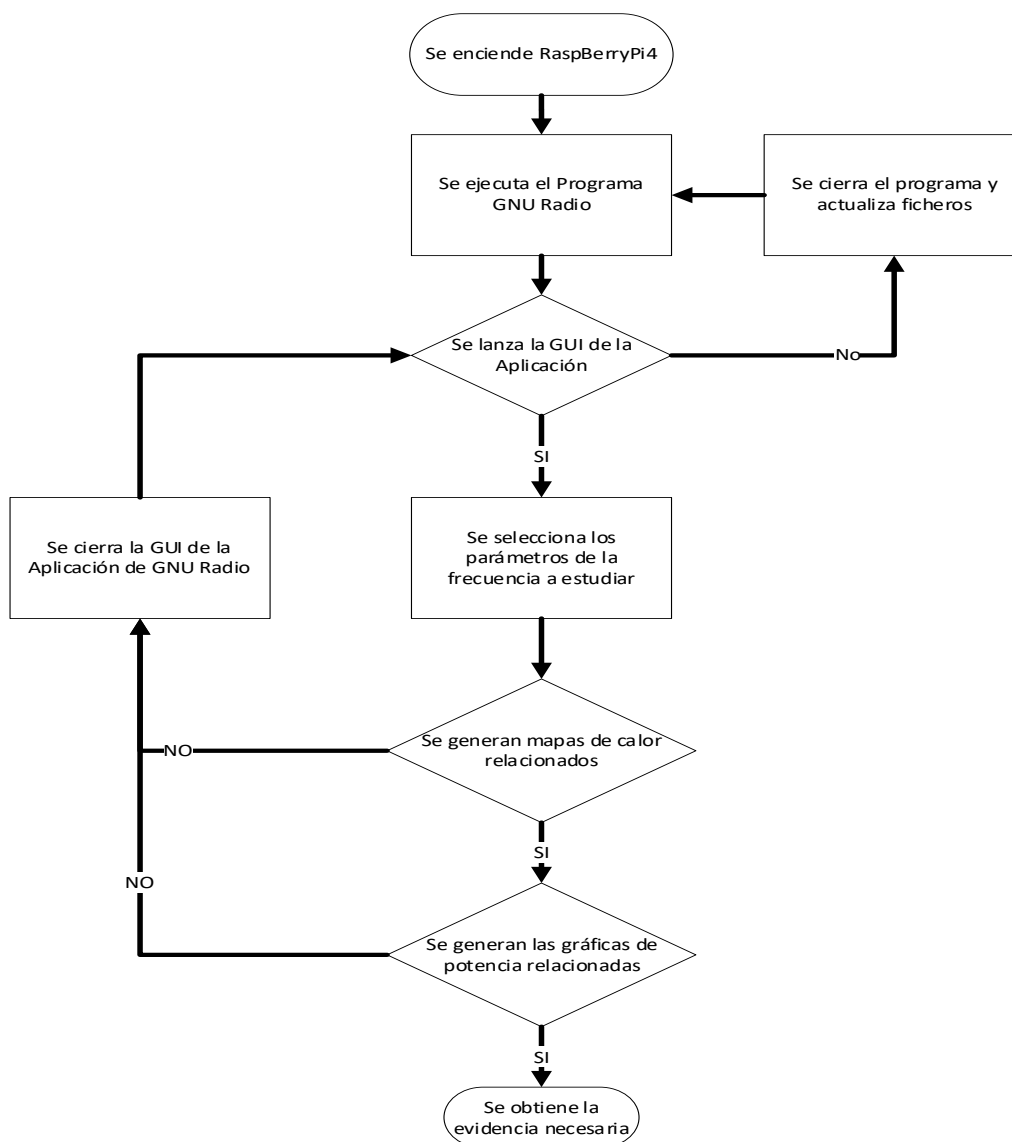
Fue importante basarse en el estudio de las redes inalámbricas en la capa física, por ello, el trabajo de titulación de maestría: OBSERVATORIO DE RADIO COMUNICACIONES PARA EL ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIO ELÉCTRICO EN LA ZONA 1 DEL ECUADOR fue importante. En este sentido Suárez (2021) manifiesta que: «como principales componentes un RaspBerryPi4 y una aplicación en el software “GNU Radio” que controla el analizador de espectro ADALM-PLUTO SDR generando mapas de calor en las bandas de frecuencia solicitada, además de graficas de potencia sobre las redes existentes» (p.14).

3.10.1 Diagrama de flujo

Se presenta el diagrama de flujo que muestra el funcionamiento del analizador de espectro radioeléctrico, mediante una interfaz de usuario generada por el Software GNU Radio, mismo que controla al hardware ADALM-PLUTO SDR y analiza todas las redes inalámbricas presentes según los parámetros configurados en la GUI, generando mapas de calor y gráficas de potencia tal y como se indica en la Figura 34.

Figura 34

Diagrama funcionamiento del analizador de espectro radioeléctrico

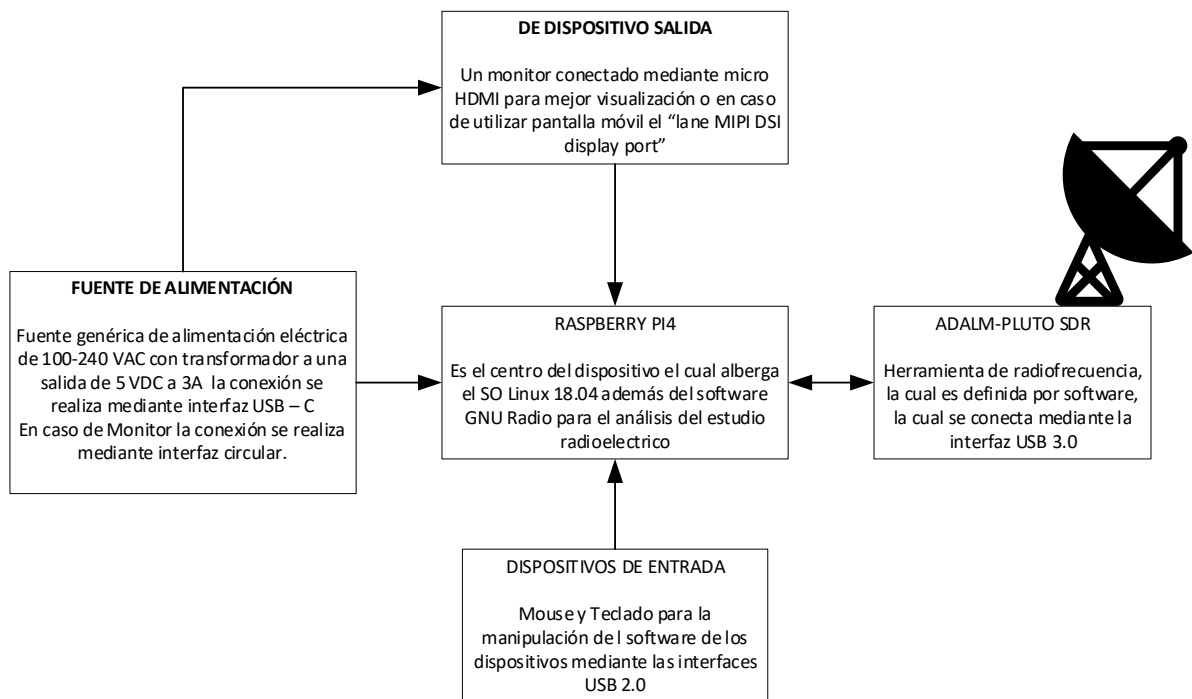


3.10.2 Diagrama de bloques

Se presenta un diagrama de bloques el cual muestra la interconexión de los componentes intervinientes para el correcto funcionamiento del analizador de espectro y su visualización para el estudio detallándose en la Figura 35.

Figura 35

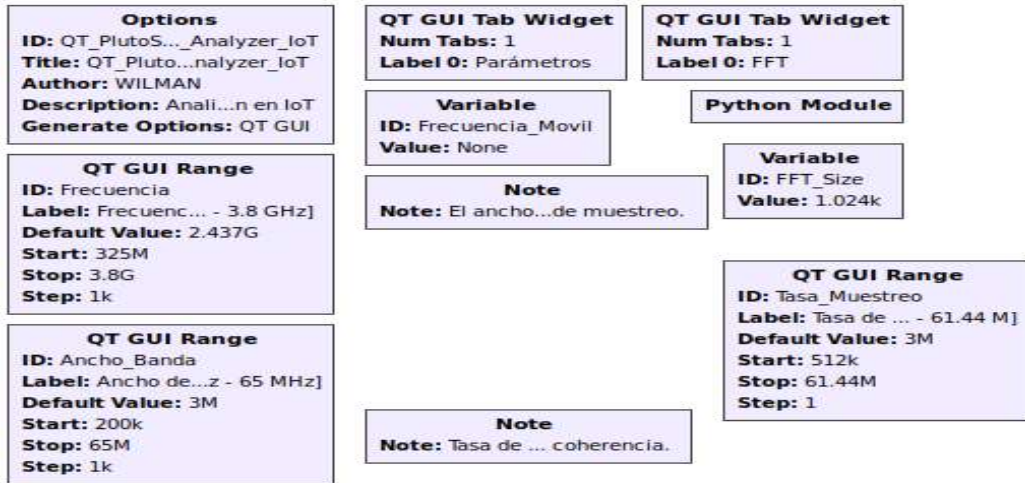
Interconexión de componentes para funcionamiento analizador de espectro



3.10.3 Configuración aplicada al estudio

Se presenta la configuración en bloques realizada en el software GNU Radio, a partir de esta se desarrollaron los cambios necesarios para cubrir los requerimientos. La programación en bloques se divide en dos etapas, la primera donde se los crea con parámetros adecuados acordes a las necesidades del estudio, específicamente aquellos denominados “QT GUI Range” dichos bloques se pueden apreciar en la Figura 36.

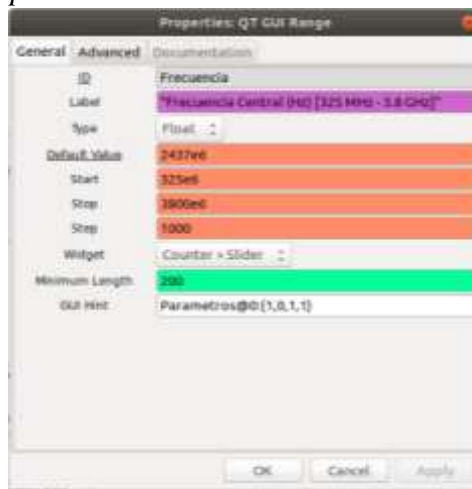
Figura 36
Definición de parámetros GNU Radio



Nota. Interfaz de bloques GNU Radio

Por su parte, existen dos bloques el primero que se encarga de la frecuencia y el segundo del ancho de banda. En el bloque de frecuencia Figura 37, se realiza la configuración relacionada a la frecuencia central a estudiar que será los 2.437GHz, es decir, el canal 6.

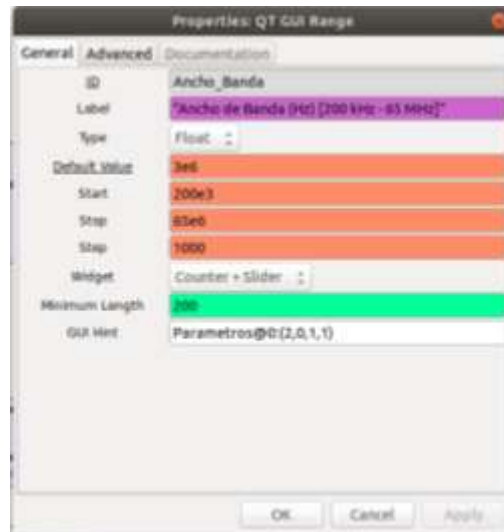
Figura 37
Configuración al canal 6 para el estudio



Nota. Interfaz de configuración GNU Radio

Mientras que en el bloque de ancho de banda Figura 38 ponemos un ancho de banda mayor a los 20MHz correspondientes a cada canal en este caso 30 para tener una gráfica completa del panorama a estudiar.

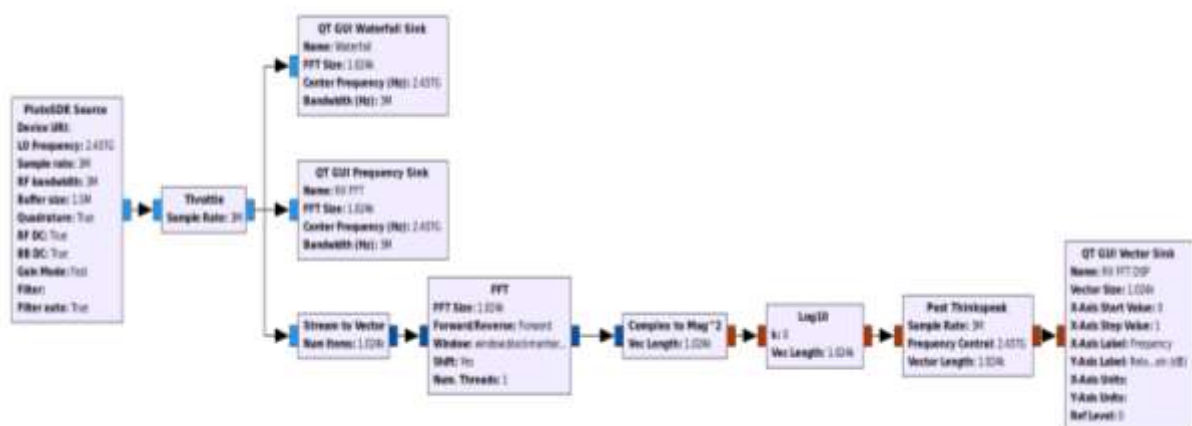
Figura 38
Configuración ancho de banda



Nota. Interfaz de configuración GNU Radio

La segunda etapa se refiere al SDR o configuración del hardware ADALM-PLUTO. Muestra que se va a realizar a lo largo del estudio con cada uno de los bloques generando las interfaces y sus necesidades, detallado en la Figura 39.

Figura 39
Programación en bloque de flujo de sistema ADALM-PLUTO SDR



Nota. Interfaz de bloques GNU Radio

3.10.4 Parámetros técnicos previos

Dentro de ambas tecnologías se tomaron parámetros similares para el estudio, pues, las dos tecnologías estarán en las mismas circunstancias y serán sometidas a los mismos ambientes bajo similares configuraciones, las cuales son:

- Utilización del canal 6, teniendo como frecuencia central (frecuencia fundamental) los 2.437 GHz el cual posee un rango entre 2.426 GHz – 2.448 GHz. Teniendo un ancho de banda de 22MHz.
- Se desplegarán las tecnologías una a la vez, para su no interferencia, por ello, es necesario indicar que únicamente las redes inalámbricas que podrían interferir son las existentes en el área.
- Toda la maquinaria textil existente será manipulada por el encargado técnico de la Planta Textil UTN, a saber, el Ing. José Imacaña.
- Al existir dos tipos de escenarios para cada una de las tecnologías que son: en función de que el área textil se encuentre sin producción y con ella, de esta manera se generan dos escenarios por tecnología. Además, se realizará un análisis del estado actual del espectro radioeléctrico (sin ninguna red correspondiente a las implementadas para el estudio) en dicha área.
- Cada prueba se realizará un total de 5 veces con el objetivo de validar la información y poder ser respaldada bajo el argumento de repetición.

4. CAPÍTULO IV: Desarrollo experimental

4.1. Sistema propuesto

El análisis de rendimiento en las tecnologías seleccionadas propone generar una comparativa de uso en un ambiente de industria textil controlado, ya que, según los requerimientos del estudio la maquinaria se encontrará en funcionamiento o no” de acuerdo con las circunstancias; Es pertinente acotar que todo esto se desarrollará en el campus llamado “Planta Textil UTN” ya que cuenta con la maquinaria correspondiente a una industria textil y personal calificado para la manipulación de este.

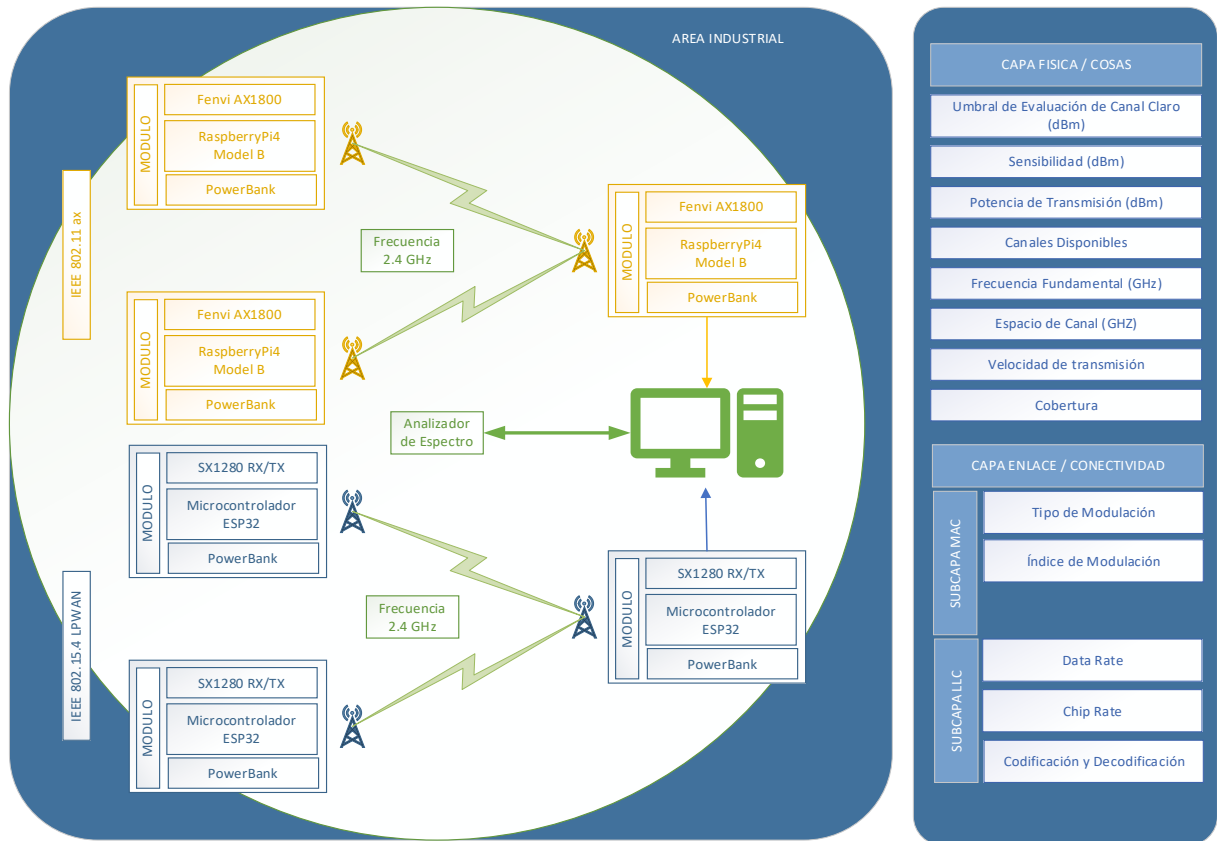
4.1.1 Descripción del proyecto

Es relevante el despliegue de 2 redes inalámbricas, de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 LoRa, respectivamente, en un área de industria textil, estas estarán conformadas por 3 nodos que su vez poseen dos estaciones y un nodo central, las redes mencionadas trabajarán en la banda de frecuencia correspondiente a los 2.4 GHz.

Los nodos centrales se encontrarán conectados con una PC “administrador” la cual será capaz de recolectar y visualizar los datos que envíe cada nodo (ESTACIONES) desplegadas en la red.

Dentro del área de industria textil existe un analizador de espectro radioeléctrico, que a través del hardware ADALM-PLUTO SDR analizará su espectro y presentará diferentes gráficas del software GNU-Radio viéndose más a detalle en la Figura 40.

Figura 40
Arquitectura del proyecto a realizar



Nota. Aplicabilidad de ambas tecnologías en una arquitectura además del analizador de espectro

4.1.2 Despliegue en zona textil

Mediante una visita presencial al campus “Planta Textil UTN” perteneciente a la Universidad Técnica del Norte se realizó un recorrido, se identificaron las principales zonas de despliegue de los nodos correspondientes a las tecnologías a estudiar. Para un correcto dimensionamiento del espacio existente se solicitó al “Departamento Mantenimiento y Construcciones” los planos arquitectónicos correspondientes al área que se indican en la Figura 41.

Figura 41

Planta textil UTN (2022)



Nota. Obtenido planos Universidad Técnica del Norte

A través de los planos se pudo identificar la señalización de los lugares de despliegue de los nodos que a continuación se detallan: los primeros (NODOS CENTRALES) de las redes inalámbricas se colocarán en el punto 1 correspondiente a “OFICINA 1” estos cumplirán la función de gateway, los siguientes (ESTACIÓN/ES 2) serán colocados en la parte sur del punto 1 correspondiente a los “TALLERES Y MÁQUINAS”, es pertinente manifestar que, allí se encuentra la mayor cantidad de maquinaria textil.

Los últimos nodos (ESTACIÓN/ES 1) serán colocados en la parte norte del punto 1 correspondiente a “TALLERES Y MÁQUINAS” más explícitamente será en la puerta principal, creando de esta manera una red inalámbrica que abarque la mayor parte de la “PLANTA TEXTIL UTN” tal como se muestra en la Figura 42 a continuación:

Figura 42

Ubicación de nodos en Planta Textil UTN



Nota. Se utilizó los mismos planos de la PLANTA TEXTIL UTN para colocar los nodos/estaciones sobrepuestas.

Con los nodos de las dos tecnologías desplegados con un correcto funcionamiento y las redes inalámbricas en funcionamiento dentro del área se puede empezar a realizar el estudio de rendimiento y de esta forma generar los datos y la información correspondiente.

4.1.3 Aplicabilidad las WSN

Los nodos de cada tecnología buscan la conexión con el central, con el fin de generar la red inalámbrica en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, de tal manera que los equipos dispuestos para el estudio puedan empezar a recolectar toda la información necesaria.

Dicha información será generada únicamente en el contexto del estudio, pues los nodos presentes en las redes no poseen ningún sensor analógico ni digital, únicamente se limitan a la generación de la red inalámbrica mediante sensores y envío de paquetes para validar su conexión generando de esta manera una WSN.

4.1.3.1. WSN IEEE 802.11ax

La WSN correspondiente a esta tecnología se encuentra constituida por dos nodos/estaciones basadas en un módulo de Raspberry Pi4 Module 4 IO Board, las configuraciones fueron realizadas en el sistema operativo RaspberryOS para que mediante la terminal de dicha distribución se configuren los parámetros y dejar las estaciones configuradas mediante los controladores adecuados para el correcto funcionamiento de las tarjetas de red WiFi 6E AX210NGW DTK las cuales están encargadas de la transmisión y recepción de datos, según corresponda, esto se verifica en: Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 todos los dispositivos se encuentran listos para su despliegue, tanto estaciones como router se encuentran en la Figura 43 que se muestra a continuación:

Figura 43

Equipos configurados de la tecnología IEEE 802.11ax



Nota. Router y nodos existente listos para ser desplegados

A continuación, en la Figura 44 y Figura 45, se muestran los nodos/estaciones desplegadas en la “PLANTA TEXTIL UTN”.

Figura 44

Estación 1 desplegada en planta textil UTN



Nota. Imagen referencial, los nodos se encontraban apoyados sobre la superficie más grande durante el estudio.

Figura 45

Estación 2 desplegada en planta textil UTN



Nota. Imagen referencial, los nodos se encontraban apoyados sobre la superficie más grande durante el estudio.

4.1.3.2 WSN LoRa IEEE 802.15.4

Se desarrolló una programación independiente para las estaciones (TRASMISORES) y el nodo central (RECEPTOR) todos ellos generan una red, se encuentra configurada según los parámetros existentes en la programación. Mediante el led incorporado en el módulo ESP32-WROOM32 de estas estaciones como se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Equipos configurados de la tecnología IEEE 802.15.4 LoRa



Nota. Estaciones y nodo central listos para ser desplegados

A continuación, en la Figura 47 y Figura 48 se muestran los nodos/estaciones desplegadas en la “PLANTA TEXTIL UTN”.

Figura 47

Estación 1 desplegada planta textil UTN



Nota. Imagen referencial, los nodos se encontraban apoyados sobre la superficie más grande durante el estudio.

Figura 48

Estación 2 desplegada planta textil UTN



Nota. Imagen referencial, los nodos se encontraban apoyados sobre la superficie más grande durante el estudio.

4.2 Estudio del estado actual de las redes inalámbricas en el área textil

Se tiene la cantidad de 18 redes inalámbricas, de las cuales 4 son pertenecientes a la Universidad Técnica del Norte en lo referente a la carrera CITEX, 5 son privadas de

personas aledañas al “Taller Textil UTN”. Se manifiesta que existen 9 extensores de señal correspondientes posiblemente a las redes inalámbricas existentes, estas fueron encontradas mediante la tarjeta de red “Realtek 8822CE Wireless LAN 802.11ac PCI-E NIC”. Véase el detalle en la Figura 49.

Figura 49
Redes existentes en “PLANTA TEXTIL UTN”



4.2.1 Estudio del estado actual de área textil sin producción

En primera instancia, se procedió a colocar en el lugar correspondiente el analizador de espectro en medio de los puntos de despliegue 2 y 3 procurando estar lo más centrados posible dentro de las instalaciones del hangar textil, como se muestra en la

Figura 50
Analizador de espectro en planta textil UTN

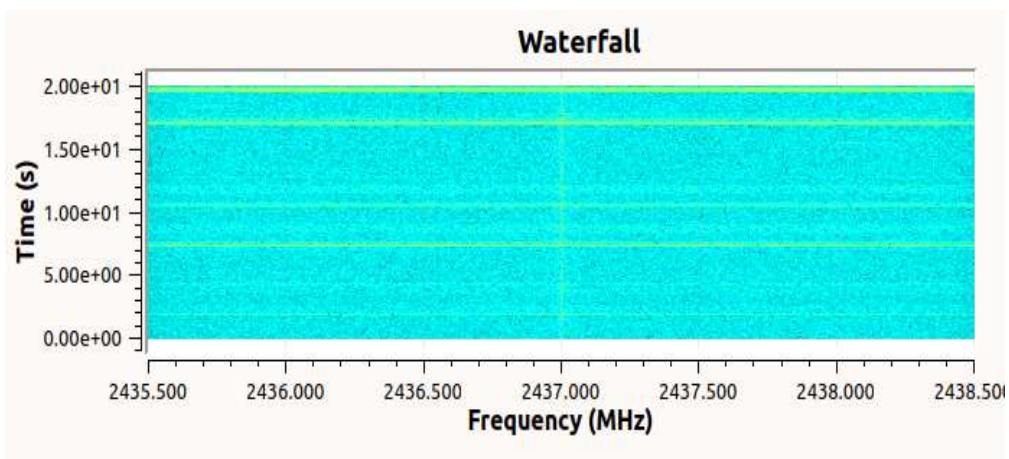


Se procedió a generar mediante el equipo ADALM-PLUTO SDR y la GUI configurada de GNU Radio un análisis del área, consiguiendo así ver como las diferentes redes inalámbricas coexisten en el ambiente del “Taller textil UTN” dando las siguientes gráficas de potencia y ganancia respectivamente, todas estas corresponden al canal 6 (2.437GHz Frecuencia Central). Véase este detalle en las Figura 51 y

Figura 52.

Figura 51

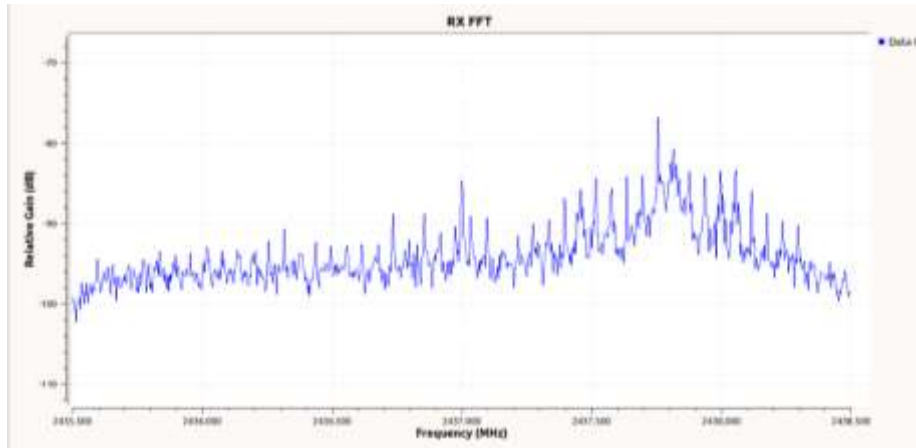
Sensibilidad de la red existente en Planta Textil UTN



Nota. Equipo ADALM-PLUTO SDR

Figura 52

Potencia en planta textil UTN sin producción



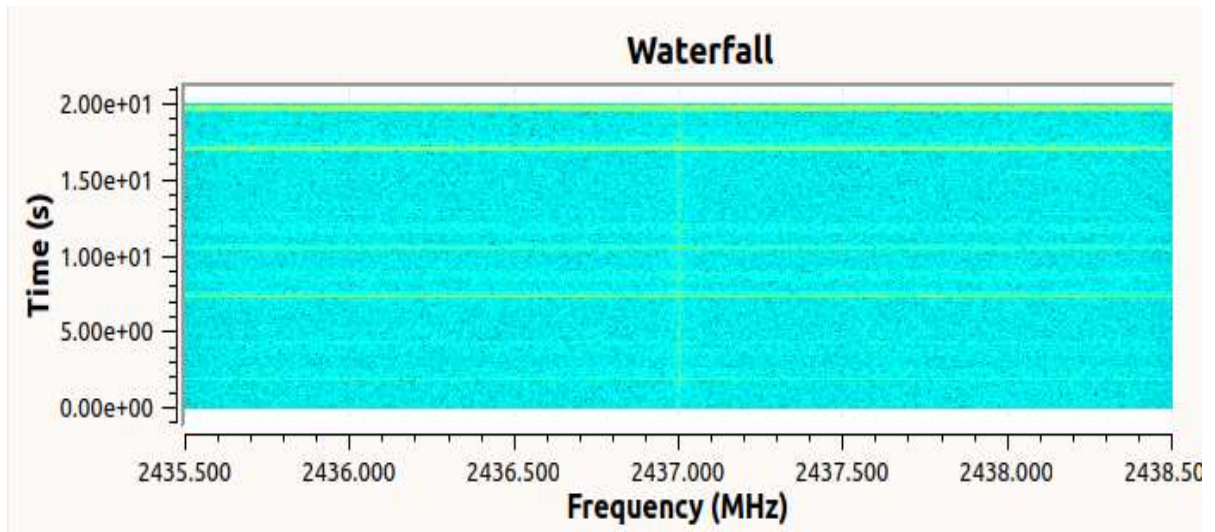
Nota. Equipo ADALM-PLUTO SDR

4.2.2 Estudio del estado actual de área textil en producción

Se solicita encendido de la maquinaria textil para lo cual el analizador de espectro no se mueve del lugar para analizar la misma área que anteriormente se realizó, obteniendo las siguientes gráficas de potencia y ganancia respectivamente. Véase el detalle en las Figura 53 y Figura 54.

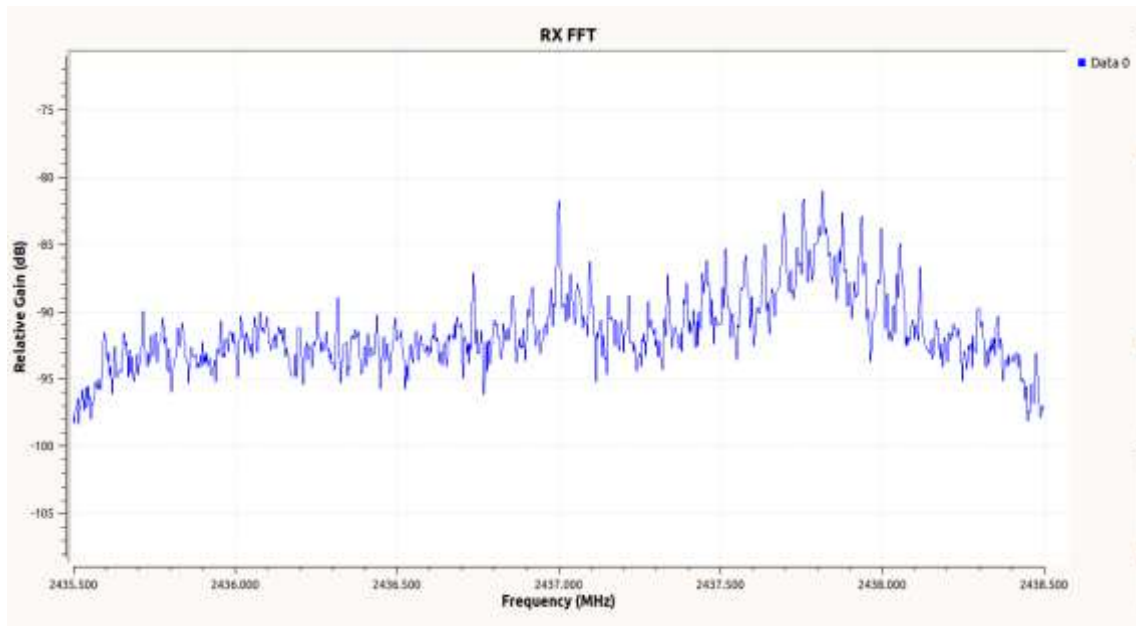
Figura 53

Sensibilidad de espectro radioeléctrico en planta textil UTN en producción



Nota. Equipo ADALM-PLUTO SDR

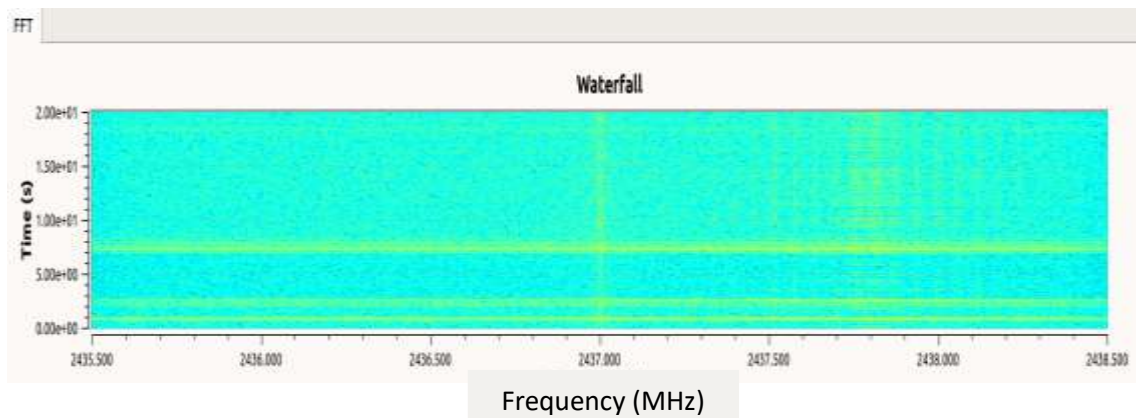
Figura 54
Potencia en planta textil UTN en producción



Nota. Equipo ADALM-PLUTO SDR

Se solicitó poder apagar las redes inalámbricas existentes en el hangar textil para de esta manera solo analizar el canal deseado y que no existan interferencias con las redes inalámbricas de las tecnologías a implementar, de esta manera se obtuvieron las siguientes gráficas, las cuales muestran un mapa de sensibilidad más limpio y una gráfica de potencia más uniforme, véase en la Figura 55 y Figura 56.

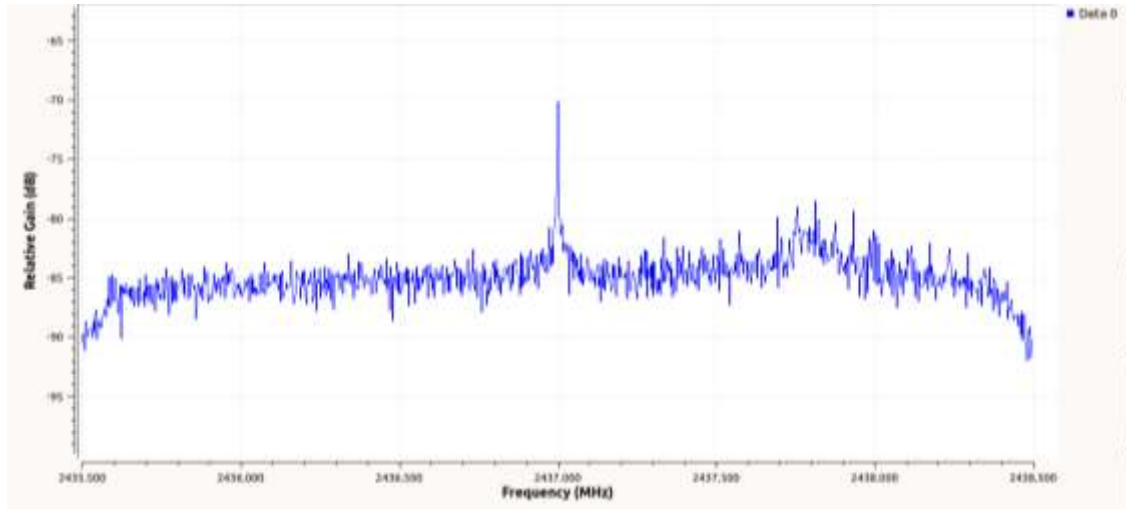
Figura 55
Sensibilidad de la red con tecnologías desplegadas.



Nota. Equipo ADALM-PLUTO SDR

Figura 56

Potencia de la red con tecnologías desplegadas.



Nota. Equipo ADALM-PLUTO SDR

4.3 Estudio red inalámbrica IEEE 802.11ax

El estudio de rendimiento de la red inalámbrica IEEE 802.11ax abarca 10 puntos, para lo cual, algunos de ellos son valores intrínsecos que no se ven afectados por el ambiente hostil de la “PLANTA TEXTIL UTN” y los elementos susceptibles los cuales pueden mostrar variación dependiendo del estado de producción o estado sin producción.

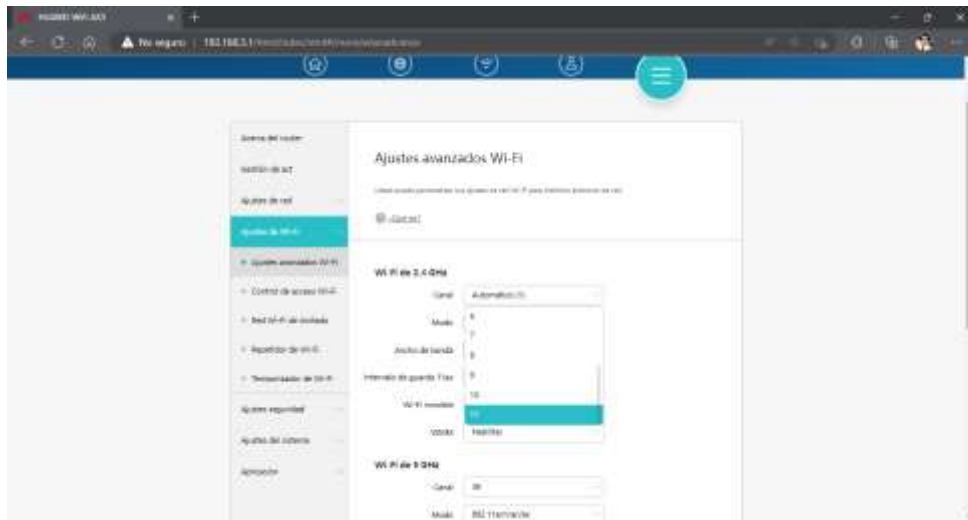
4.3.1. Elementos intrínsecos del estudio IEEE 802.11ax

A continuación, se presentan los valores intrínsecos de la tecnología, los cuales no se verán afectados o no variarán pese a cualquier cambio que se genere en el espectro electromagnético por razón del ambiente hostil generado por la maquinaria textil.

4.3.1.1 Canales disponibles para transmitir IEEE 802.11ax

Como se puede apreciar en la Figura 57, los canales para configurar el router el máximo existente es de 11 canales los cuales puede ser seleccionado cualquiera para las pruebas de rendimiento.

Figura 57
Interfaz de Huawei configuraciones avanzadas de WiFi

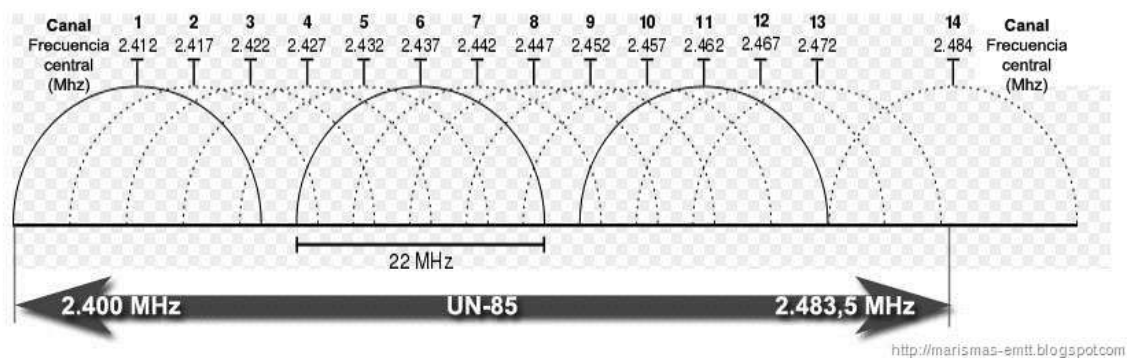


Nota. Sistema operativo Router Huawei AX3

4.3.1.2 Frecuencia fundamental IEEE 802.11 ax

Como se mostró con anterioridad para tener una correcta comparativa con la tecnología 802.15.4 LoRa se seleccionó el mismo canal o frecuencia fundamental en este caso el canal 6, tal y como se puede apreciar en la Figura 58; por ello cabe aclarar que según la división de los canales en el estándar “IEEE 802.11” nos deja una frecuencia fundamental de 2.437GHz con un ancho del canal de 22 MHz.

Figura 58
División de canales estándar IEEE 802.11

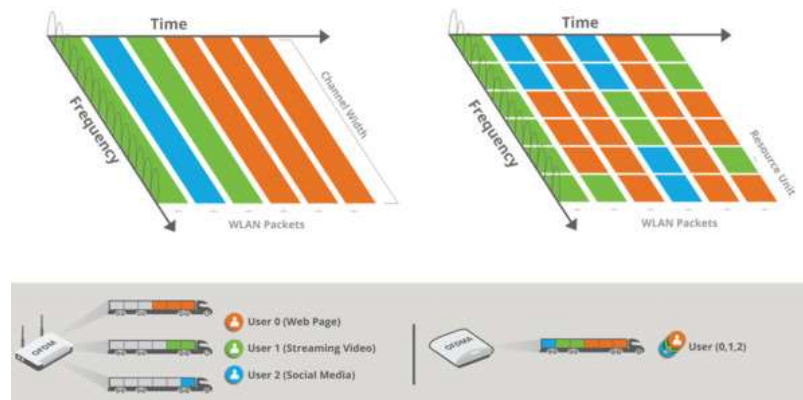


Nota. Fernández (2010)

4.3.1.3 Tipo de modulación IEEE 802.11ax

Para determinar el índice de modulación se debe basar en el datasheet proporcionado por el router Huawei WiFi6 AX3 el cual muestra que posee la modulación OFDMA, la cual divide el ancho de banda de todo el canal disponible en varias subportadoras o sub-canales ortogonales mutuas o unidades de recursos, pues en caso de tener varios usuarios cada canal es dividido y asignado a cada usuario. Como se muestra en la Figura 59.

Figura 59
Modulación OFDMA en estándar IEEE 802.11 ax



Nota. (Torres, 2021)

4.3.1.4 Índice de modulación IEEE 802.11 ax

Para determinar el índice de modulación se debe basar en el datasheet proporcionado por el router Huawei WiFi6 AX3 el cual muestra que posee “1024 – QAM y 160 MHz”. Con ello se procede a validar en las tablas de acuerdo con la información se tiene que es correspondido a un índice de modulación de 10 y/o 11 según sea seleccionados los valores de Data Rate a trabajar los resultados se encuentran detallados en la Figura 60.

Figura 60
Tabla de modulación MU-OFDMA (802.11ax)

IEEE 802.11ax	Modulación	Código	MU-OFDMA (802.11ax)																		
			28 tones RU			52 tones RU			104 tones RU			243 tones RU			484 tones RU			996 tones RU			
1	1	BPSK	1/2	0.8	0.8	0.8	1.6	1.7	1.8	3.6	3.8	3.9	8.0	8.3	8.5	17.2	18.3	18.6	36.0	38.4	39.6
1	1	QPSK	1/2	1.6	1.6	1.6	3.2	3.4	3.6	7.2	7.6	7.8	16.0	16.6	17.0	34.4	36.6	37.2	72.0	76.8	79.2
2	1	QPSK	3/4	2.4	2.4	2.4	4.8	5.1	5.4	10.8	11.4	11.7	24.0	25.2	25.5	51.2	54.0	55.2	108.0	115.2	118.8
3	1	16-QAM	1/2	3.2	3.2	3.2	6.4	6.7	7.0	13.6	14.2	14.6	28.8	30.2	30.6	61.6	64.8	66.0	128.0	136.8	141.6
4	1	16-QAM	3/4	4.8	4.8	4.8	9.6	10.0	10.5	20.4	21.3	21.9	43.2	45.3	45.9	91.2	97.2	99.0	192.0	201.6	207.6
5	1	64-QAM	1/2	6.4	6.4	6.4	12.8	13.4	14.0	27.2	28.4	29.0	57.6	60.4	61.2	123.2	129.6	132.0	256.0	271.2	278.4
6	1	64-QAM	3/4	9.6	9.6	9.6	19.2	20.1	20.8	40.8	42.6	43.5	86.4	90.6	91.8	182.4	192.0	195.0	384.0	403.2	411.6
7	1	64-QAM	5/6	12.8	12.8	12.8	25.6	26.8	27.6	54.4	57.2	58.4	115.2	121.6	123.6	243.2	254.4	258.0	512.0	537.6	552.0
8	1	256-QAM	3/4	19.2	19.2	19.2	38.4	40.2	41.4	81.6	85.2	87.0	172.8	180.0	183.0	364.8	384.0	390.0	768.0	806.4	823.2
9	1	256-QAM	5/6	25.6	25.6	25.6	51.2	53.6	55.2	102.4	107.2	109.2	214.4	224.0	227.0	448.0	470.4	477.0	944.0	988.8	1008.0
10	1	1024-QAM	3/4	38.4	38.4	38.4	76.8	80.0	82.4	163.2	169.6	172.8	326.4	340.8	345.6	691.2	724.8	734.4	1440.0	1507.2	1536.0
11	1	1024-QAM	5/6	51.2	51.2	51.2	102.4	107.2	110.4	214.4	224.0	227.0	448.0	470.4	477.0	944.0	988.8	1008.0	1984.0	2083.2	2121.6
12	2	BPSK	1/2	0.8	0.8	0.8	1.6	1.7	1.8	3.6	3.8	3.9	8.0	8.3	8.5	17.2	18.3	18.6	36.0	38.4	39.6
13	2	QPSK	1/2	1.6	1.6	1.6	3.2	3.4	3.6	7.2	7.6	7.8	16.0	16.6	17.0	34.4	36.6	37.2	72.0	76.8	79.2
14	2	QPSK	3/4	2.4	2.4	2.4	4.8	5.1	5.4	10.8	11.4	11.7	24.0	25.2	25.5	51.2	54.0	55.2	108.0	115.2	118.8
15	2	16-QAM	1/2	3.2	3.2	3.2	6.4	6.7	7.0	13.6	14.2	14.6	28.8	30.2	30.6	61.6	64.8	66.0	128.0	136.8	141.6
16	2	16-QAM	3/4	4.8	4.8	4.8	9.6	10.0	10.5	20.4	21.3	21.9	43.2	45.3	45.9	91.2	97.2	99.0	192.0	201.6	207.6
17	2	64-QAM	1/2	6.4	6.4	6.4	12.8	13.4	14.0	27.2	28.4	29.0	57.6	60.4	61.2	123.2	129.6	132.0	256.0	271.2	278.4
18	2	64-QAM	3/4	9.6	9.6	9.6	19.2	20.1	20.8	40.8	42.6	43.5	86.4	90.6	91.8	182.4	192.0	195.0	384.0	403.2	411.6
19	2	64-QAM	5/6	12.8	12.8	12.8	25.6	26.8	27.6	54.4	57.2	58.4	115.2	121.6	123.6	243.2	254.4	258.0	512.0	537.6	552.0
20	2	256-QAM	3/4	19.2	19.2	19.2	38.4	40.2	41.4	81.6	85.2	87.0	172.8	180.0	183.0	364.8	384.0	390.0	768.0	806.4	823.2
21	2	256-QAM	5/6	25.6	25.6	25.6	51.2	53.6	55.2	102.4	107.2	109.2	214.4	224.0	227.0	448.0	470.4	477.0	944.0	988.8	1008.0
22	2	1024-QAM	3/4	38.4	38.4	38.4	76.8	80.0	82.4	163.2	169.6	172.8	326.4	340.8	345.6	691.2	724.8	734.4	1440.0	1507.2	1536.0
23	2	1024-QAM	5/6	51.2	51.2	51.2	102.4	107.2	110.4	214.4	224.0	227.0	448.0	470.4	477.0	944.0	988.8	1008.0	1984.0	2083.2	2121.6
24	3	BPSK	1/2	0.8	0.8	0.8	1.6	1.7	1.8	3.6	3.8	3.9	8.0	8.3	8.5	17.2	18.3	18.6	36.0	38.4	39.6
25	3	QPSK	1/2	1.6	1.6	1.6	3.2	3.4	3.6	7.2	7.6	7.8	16.0	16.6	17.0	34.4	36.6	37.2	72.0	76.8	79.2
26	3	QPSK	3/4	2.4	2.4	2.4	4.8	5.1	5.4	10.8	11.4	11.7	24.0	25.2	25.5	51.2	54.0	55.2	108.0	115.2	118.8
27	3	16-QAM	1/2	3.2	3.2	3.2	6.4	6.7	7.0	13.6	14.2	14.6	28.8	30.2	30.6	61.6	64.8	66.0	128.0	136.8	141.6
28	3	16-QAM	3/4	4.8	4.8	4.8	9.6	10.0	10.5	20.4	21.3	21.9	43.2	45.3	45.9	91.2	97.2	99.0	192.0	201.6	207.6
29	3	64-QAM	1/2	6.4	6.4	6.4	12.8	13.4	14.0	27.2	28.4	29.0	57.6	60.4	61.2	123.2	129.6	132.0	256.0	271.2	278.4
30	3	64-QAM	3/4	9.6	9.6	9.6	19.2	20.1	20.8	40.8	42.6	43.5	86.4	90.6	91.8	182.4	192.0	195.0	384.0	403.2	411.6
31	3	64-QAM	5/6	12.8	12.8	12.8	25.6	26.8	27.6	54.4	57.2	58.4	115.2	121.6	123.6	243.2	254.4	258.0	512.0	537.6	552.0
32	3	256-QAM	3/4	19.2	19.2	19.2	38.4	40.2	41.4	81.6	85.2	87.0	172.8	180.0	183.0	364.8	384.0	390.0	768.0	806.4	823.2
33	3	256-QAM	5/6	25.6	25.6	25.6	51.2	53.6	55.2	102.4	107.2	109.2	214.4	224.0	227.0	448.0	470.4	477.0	944.0	988.8	1008.0
34	3	1024-QAM	3/4	38.4	38.4	38.4	76.8	80.0	82.4	163.2	169.6	172.8	326.4	340.8	345.6	691.2	724.8	734.4	1440.0	1507.2	1536.0
35	3	1024-QAM	5/6	51.2	51.2	51.2	102.4	107.2	110.4	214.4	224.0	227.0	448.0	470.4	477.0	944.0	988.8	1008.0	1984.0	2083.2	2121.6

Nota. (Zitelia , 2020)

4.3.1.5 Data Rate 802.11 ax

Finalmente se tiene que para este caso el data rate el cual es un valor que se calcula tomando diferentes valores de la tabla de acuerdo con los requerimientos del sistema, se calcula para el estándar IEEE 802.11ax con la siguiente formula:

$$Data Rate = \frac{N_{SD} * N_{BPSCS} * R * N_{SS}}{T_{DFT} * T_{GI}}$$

En donde:

- N_{SD} : Numero de subportadoras de datos por unidad de recurso
- N_{BPSCS} , u: número de bits codificados por subportadora por flujo para la unidad de recursos

- R: Codificación
- N_{SS} : Número de flujos espaciales
- T_{DFT} : Duración de símbolo OFDM
- T_{GI} : Duración del intervalo de guardia

Tomando la formula como referencia, la tabla nos indica los valores del “data rate” los cuales van de la siguiente manera vasados en uno correspondientes al canal 6, se puede apreciar los cálculos en la **Tabla 24**.

Tabla 24*DataRate correspondiente al Datasheet de router*

MCS index	Spatial Stream	Modulation	Coding	26-tune RU			52-tune RU			106-tune RU			242-tune RU			484-tune RU			996-tune RU		
				μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI	μ s GI			
				0.8	1.6	3.2	0.8	1.6	3.2	0.8	1.6	3.2	0.8	1.6	3.2	0.8	1.6	3.2	0.8	1.6	3.2
10	1	1024-QAM	3/4	13.2	12.5	11.3	26.5	25.0	22.5	56.3	53.1	47.8	129.0	121.9	109.7	258.1	243.8	219.4	540.4	510.4	459.4
11	1	1024-QAM	5/6	14.7	13.9	12.5	29.4	27.8	25.0	62.5	59.0	53.1	143.4	135.4	121.9	286.8	270.8	243.8	600.5	567.1	510.4

Nota. (Lamiño, 2021)

4.3.2. Elementos susceptibles del estudio IEEE 802.11ax

A continuación, se presentan los valores susceptibles de la tecnología, los cuales se verán afectados por el ambiente hostil generado, por lo cual se realizará una comparativa del elemento con la maquinaria en producción y sin producción, las pruebas realizadas de cada uno de los ítems correspondientes en este apartado fueron de 5 pruebas, las cuales se presentará un valor promedio.

4.3.2.1 Umbral de canal claro IEEE 802.11ax

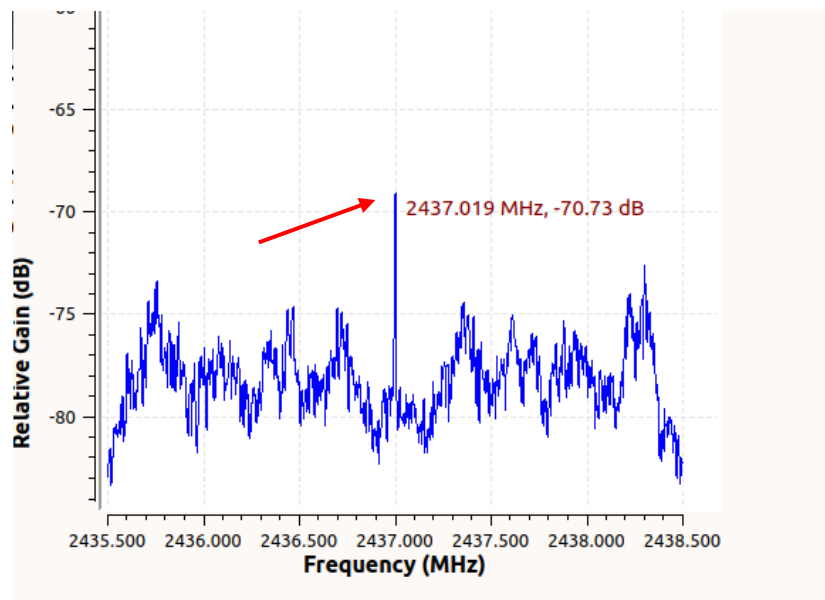
En el apartado de Umbral de Canal Claro o “Clear Channel Threshold” se puede apreciar el punto en el cual la red establecida en la frecuencia de 2.437GHz tiene un pico de potencia relacionado con este, dando a entender el escaneo de la red para el envío y recepción de datos, pero, este al subdividir los canales no necesariamente muestra una gráfica sencilla sino con mucha variación a lo largo de los 30 MHz establecidos del canal. Para ver su comportamiento se debe realizar las pruebas con ambiente hostil y sin él; estas se presentan a continuación.

En producción

Primero se sometieron a un ambiente en producción generando gráficas similares a la mostrada en la

Figura 61 la que se puede apreciar que la potencia en ese punto es en la frecuencia de 2437.019 MHz o 2.437 GHz y con una potencia de - 70.73 dB.

Figura 61
Umbral de Canal Claro 802.11ax ambiente en producción



Nota. GNU Radio gráfica de potencia

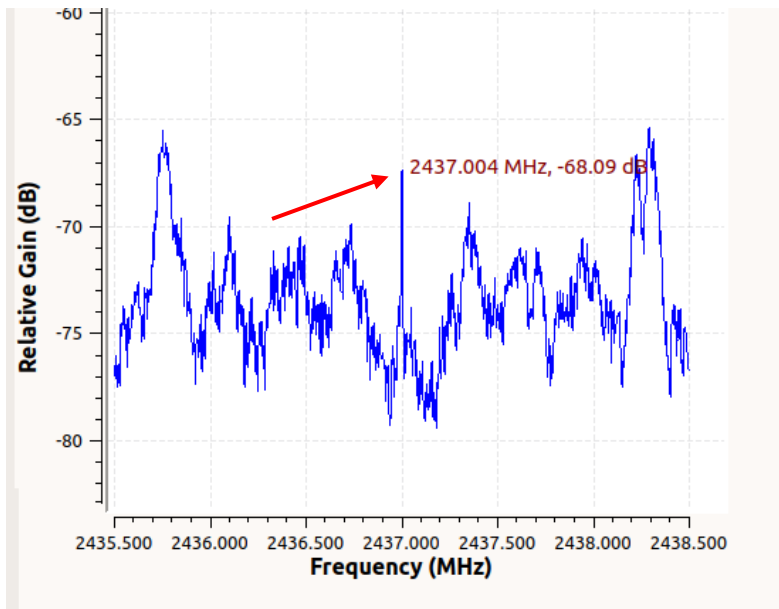
Sin Producción

En un ambiente sin producción se generaron graficas similares a la que se presenta a continuación donde se puede apreciar que la potencia en ese punto es en la frecuencia de 2437.004 MHz o 2.437 GHz cuyo valor es -68.09dB. Es importante manifestar que da como diferencia una pequeña variación como se muestra en la

Figura 62.

Figura 62

Umbral de Canal Claro 802.11ax ambiente sin producción



Nota. GNU Radio gráfica de potencia

Las pruebas realizadas fueron 5 cuyos resultados se presentan a continuación en las Tablas 25, 26, 27, 28 y 29.

Tabla 25

Resultado 1 Umbral Canal Claro 802.11ax

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con Producción	-67.19
Sin producción	-71.37

Tabla 26

Resultado 2 Umbral Canal Claro 802.11ax

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con Producción	-69.91
Sin producción	-70.01

Tabla 27

Resultado 3 Umbral Canal Claro 802.11ax

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con Producción	-68.50
Sin producción	-71.23

Tabla 28*Resultado 4 Umbral Canal Claro 802.11ax*

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con Producción	-70.01
Sin producción	-69.99

Tabla 29*Resultado 5 Umbral Canal Claro 802.11ax*

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con Producción	-70.05
Sin producción	-72.03

La **Tabla 30** muestra el promedio de la potencia en el Umbral de Canal Claro. Refiriendo al ambiente en producción el valor fue de -69.132 dB, en tanto que, sin producción se obtuvo -70,526 dB. Esto significa que con producción existió mayor potencia en el umbral, por tanto, el punto de conexión creció al exponerse en el ambiente hostil.

Tabla 30*Resultados del Umbral de Canal Claro Promedio 802.11ax*

Estado del Ambiente	Umbral promedio dB
Con Producción	-69.132
Sin producción	-70.526

Nota. Comparativo en ambientes con producción y sin producción

4.3.2.2 Sensibilidad a la red IEEE 802.11ax

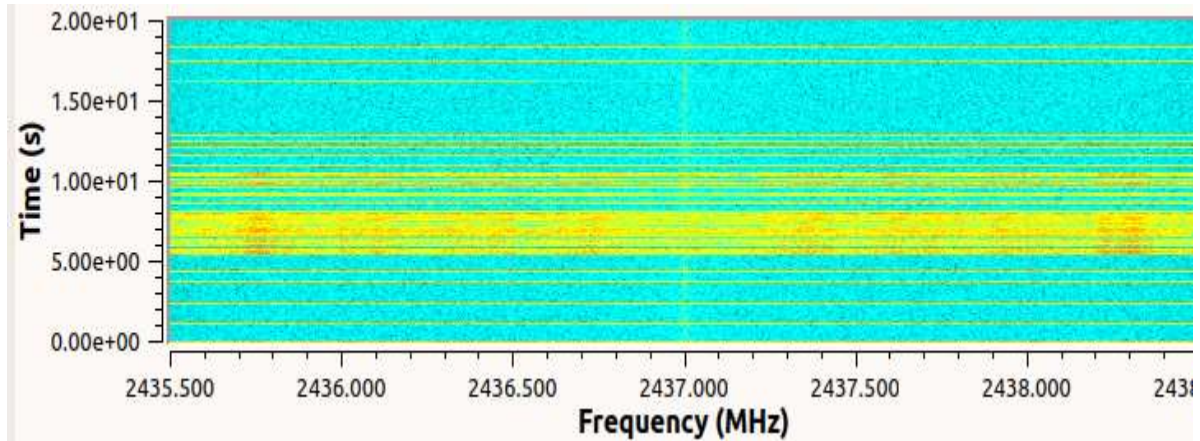
La sensibilidad se generó a partir de los mapas de calor emitidos por el SDR ADALM – PLUTO, el cual a lo largo de un intervalo de 20 segundos mostró el comportamiento del espectro radio eléctrico cuando el sistema se encontraba en producción y fuera de ella.

En producción

El pool de 20 segundos generado mostró una gran ocupación del canal, ello se debió a que durante 5 segundos se produjo un envío masivo de datos con una ventana de 550 generando tráfico además del ruido existente por la producción se puede apreciar en la Figura 63.

Figura 63

Mapa de la sensibilidad 802.11 ax a través del tiempo en ambiente en producción



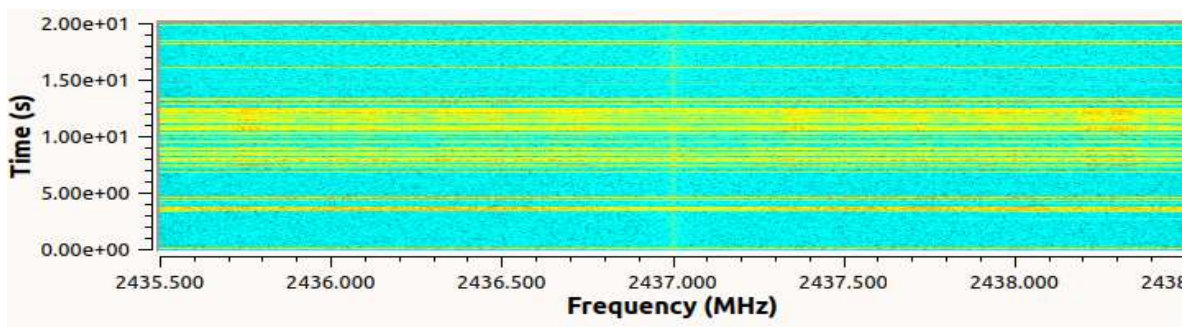
Nota. Gráfica de sensibilidad de GNU Radio

Sin Producción

Por otro lado, cuando el ambiente no se encontraba en producción únicamente se pudo apreciar las altas potencias mostrando los valores de sensibilidad elevado, esto se puede apreciar en la Figura 64.

Figura 64

Mapa de la sensibilidad 802.11 ax a través del tiempo en ambiente sin producción



Nota. Gráfica de sensibilidad de GNU Radio

4.3.2.3 Potencia de transmisión IEEE 802.11 ax

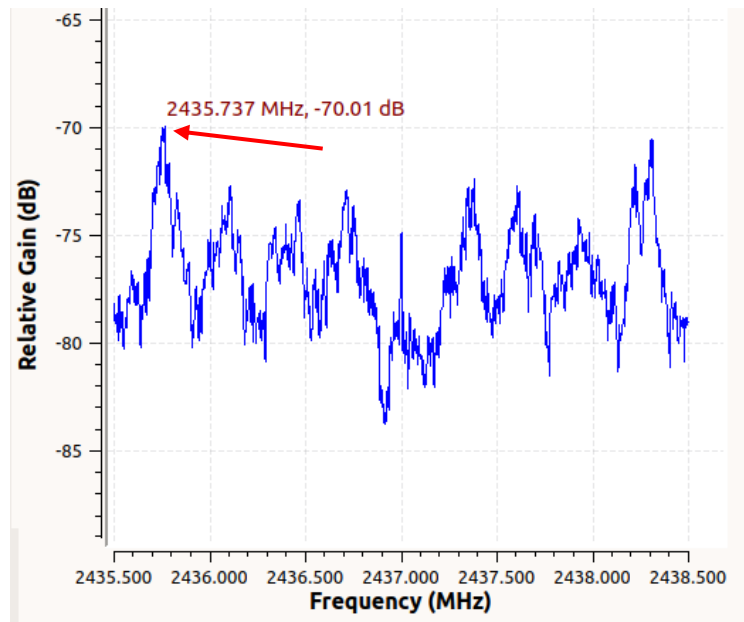
Respecto a la potencia de transmisión se puede apreciar que no existe diferencia cuando la red se encuentra desplegada en un ambiente hostil o no, pues, se solapan la transmisión con el ruido, la potencia existente va desde los -90dB a los -80dB a diferencia de cuando se envía datos, estas se elevan y no se puede apreciar los ruidos existentes.

En producción

Se puede apreciar en producción que el pico de potencia en la ganancia es de -70.01 dB en la frecuencia de 2435.737 MHz, es decir que 802.11ax ocupa los 20MHz correspondientes a su canal, mostrando las divisiones de sub-canal mostrándose en la Figura 65.

Figura 65

Potencia de transmisión 802.11ax existente en ambiente textil con producción



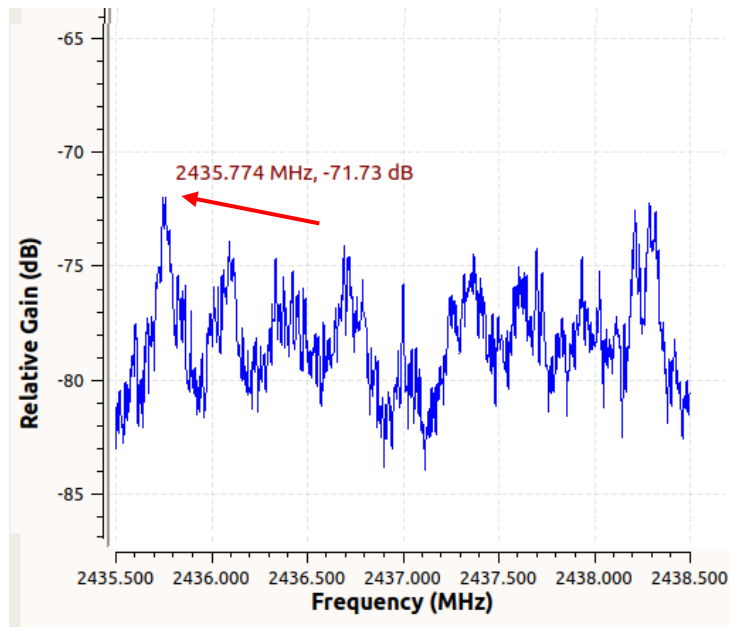
Nota. GNU Radio gráfica de potencia

Sin Producción

Quando no se encuentra en producción la potencia pasa en los 2435.774 MHz a -71.73 dB, apreciable en la Figura 66.

Figura 66

Potencia de transmisión 802.11ax existente en ambiente textil sin producción



Nota. GNU Radio gráfica de potencia

Las pruebas realizadas fueron 5, además de fijar la frecuencia en un estado fijo para cuyos resultados se presentan en las Tablas 31, 32, 33, 34 y 35.

Tabla 31

Resultado 1 Potencia de transmisión 802.11ax

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2435.737	-70.01
Sin producción	2435.774	-71.73

Tabla 32

Resultado 2 Potencia de transmisión 802.11ax

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2435.737	-72.01
Sin producción	2435.774	-73.52

Tabla 33*Resultado 3 Potencia de transmisión 802.11ax*

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2435.737	-70.80
Sin producción	2435.774	-71.13

Tabla 34*Resultado 4 Potencia de transmisión 802.11ax*

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2435.737	-70.95
Sin producción	2435.774	-72.03

Tabla 35*Resultado 5 Potencia de transmisión 802.11ax*

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2435.737	-69.87
Sin producción	2435.774	-70.73

La **Tabla 36** muestra la diferencia en la potencia de transmisión en los ambientes con producción y sin producción. En la primera, en frecuencia de 2435.737 MHz se obtuvo una potencia de -70.728 dB; en la segunda, en la frecuencia de 2435.774 MHz dio como resultado -71.828 dB. Esto significa que un ambiente con producción la potencia aumenta para generar la transmisión.

Tabla 36*Resultados de potencia de transmisión promedio en 802.11ax*

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2435.737	-70.728
Sin producción	2435.774	-71.828

Nota. Comparativo en ambientes con producción y sin producción

4.3.2.4 Velocidad de transmisión IEEE 802.11 ax

Para realizar una comparativa equitativa de la velocidad de transmisión fue necesario configurar ciertos parámetros en el software iperf3 dando como mínimo una transferencia en Kbytes y un ancho de banda de entre 1.50 Mbits/s a 2.65 Mbits/s.

En producción

Al ejecutar el programa en un ambiente en producción se realizaron dos pruebas de 500 muestras cada una, durante el periodo que duró la transmisión, tal y como se puede apreciar en la

Figura 67 y Figura 68.

Figura 67

Prueba 1 ejecución de Iperf3 ambiente con producción

```

ca. Símbolo del sistema - iperf3.exe -s
[ 5] 479.00-480.00 sec 284 KBytes 2.32 Mbits/sec
[ 5] 480.00-481.00 sec 292 KBytes 2.39 Mbits/sec
[ 5] 481.00-482.01 sec 296 KBytes 2.42 Mbits/sec
[ 5] 482.01-483.01 sec 288 KBytes 2.37 Mbits/sec
[ 5] 483.01-484.01 sec 298 KBytes 2.44 Mbits/sec
[ 5] 484.01-485.00 sec 294 KBytes 2.40 Mbits/sec
[ 5] 485.00-486.00 sec 284 KBytes 2.33 Mbits/sec
[ 5] 486.00-487.00 sec 294 KBytes 2.41 Mbits/sec
[ 5] 487.00-488.00 sec 294 KBytes 2.41 Mbits/sec
[ 5] 488.00-489.01 sec 299 KBytes 2.45 Mbits/sec
[ 5] 489.01-490.01 sec 298 KBytes 2.18 Mbits/sec
[ 5] 490.01-491.01 sec 294 KBytes 2.32 Mbits/sec
[ 5] 491.01-492.00 sec 284 KBytes 2.39 Mbits/sec
[ 5] 492.00-493.01 sec 284 KBytes 2.42 Mbits/sec
[ 5] 493.01-494.01 sec 292 KBytes 2.37 Mbits/sec
[ 5] 494.01-495.00 sec 296 KBytes 2.44 Mbits/sec
[ 5] 495.00-496.01 sec 288 KBytes 2.40 Mbits/sec
[ 5] 496.01-497.00 sec 298 KBytes 2.33 Mbits/sec
[ 5] 497.00-498.01 sec 294 KBytes 2.41 Mbits/sec
[ 5] 498.01-499.00 sec 284 KBytes 2.41 Mbits/sec
[ 5] 499.00-500.00 sec 294 KBytes 2.45 Mbits/sec
[ 5] 500.00-500.03 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bandwidth
[ 5] 0.00-500.03 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec sender
[ 5] 0.00-500.03 sec 2.86 MBytes 2.39 Mbits/sec receiver
  
```

Nota. Resultados obtenidos del servidor Iperf3

Figura 68

Prueba 2 ejecución de Iperf3 ambiente con producción

```
cmd Símbolo del sistema - iperf3.exe -s
[ 5] 479.00-480.00 sec 284 KBytes 2.34 Mbits/sec
[ 5] 480.00-481.00 sec 293 KBytes 2.33 Mbits/sec
[ 5] 481.00-482.01 sec 294 KBytes 2.44 Mbits/sec
[ 5] 482.01-483.01 sec 285 KBytes 2.35 Mbits/sec
[ 5] 483.01-484.01 sec 286 KBytes 2.44 Mbits/sec
[ 5] 484.01-485.00 sec 297 KBytes 2.45 Mbits/sec
[ 5] 485.00-486.00 sec 284 KBytes 2.36 Mbits/sec
[ 5] 486.00-487.00 sec 294 KBytes 2.47 Mbits/sec
[ 5] 487.00-488.00 sec 294 KBytes 2.41 Mbits/sec
[ 5] 488.00-489.01 sec 299 KBytes 2.45 Mbits/sec
[ 5] 489.01-490.01 sec 298 KBytes 2.18 Mbits/sec
[ 5] 490.01-491.01 sec 294 KBytes 2.22 Mbits/sec
[ 5] 491.01-492.00 sec 283 KBytes 2.29 Mbits/sec
[ 5] 492.00-493.01 sec 284 KBytes 2.22 Mbits/sec
[ 5] 493.01-494.01 sec 292 KBytes 2.27 Mbits/sec
[ 5] 494.01-495.00 sec 296 KBytes 2.44 Mbits/sec
[ 5] 495.00-496.01 sec 288 KBytes 2.40 Mbits/sec
[ 5] 496.01-497.00 sec 298 KBytes 2.34 Mbits/sec
[ 5] 497.00-498.01 sec 294 KBytes 2.45 Mbits/sec
[ 5] 498.01-499.00 sec 284 KBytes 2.46 Mbits/sec
[ 5] 499.00-500.00 sec 294 KBytes 2.47 Mbits/sec
[ 5] 500.00-500.03 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bandwidth
[ 5] 0.00-500.03 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec
[ 5] 0.00-500.03 sec 2.91 MBytes 2.40 Mbits/sec
sender
receiver
```

Nota. Resultados obtenidos del servidor Iperf3

Los resultados promedio del ambiente de producción se pueden apreciar en la Tabla 37

Tabla 37

Promedio Velocidad de transmisión en producción

Numero de prueba	Velocidad de transmisión Mbps
Prueba 1	2.39
Prueba 2	2.40
Promedio	2.395

Sin Producción

De igual manera ejecutar el programa en un ambiente en producción se realizaron dos pruebas de 500 muestras cada una, durante el periodo que duró la transmisión, tal y como se puede apreciar en la Figura 69 y Figura 70.

Figura 69

Prueba 1 ejecución de Iperf3 ambiente sin producción

```
ca. Símbolo del sistema - iperf3.exe -s
[ 5] 476.00-477.00 sec 237 KBytes 2.97 Mbits/sec
[ 5] 477.00-478.00 sec 259 KBytes 2.19 Mbits/sec
[ 5] 478.00-479.00 sec 235 KBytes 2.95 Mbits/sec
[ 5] 479.00-480.00 sec 205 KBytes 2.65 Mbits/sec
[ 5] 480.00-481.00 sec 210 KBytes 2.70 Mbits/sec
[ 5] 481.00-482.00 sec 242 KBytes 1.93 Mbits/sec
[ 5] 482.00-483.00 sec 263 KBytes 2.21 Mbits/sec
[ 5] 483.00-484.01 sec 264 KBytes 2.13 Mbits/sec
[ 5] 484.01-485.00 sec 245 KBytes 2.04 Mbits/sec
[ 5] 485.00-486.00 sec 266 KBytes 2.21 Mbits/sec
[ 5] 486.00-487.00 sec 247 KBytes 2.30 Mbits/sec
[ 5] 487.00-488.00 sec 257 KBytes 2.42 Mbits/sec
[ 5] 488.00-489.00 sec 269 KBytes 2.54 Mbits/sec
[ 5] 489.00-490.00 sec 266 KBytes 2.63 Mbits/sec
[ 5] 490.00-491.00 sec 246 KBytes 2.72 Mbits/sec
[ 5] 491.00-492.00 sec 246 KBytes 2.39 Mbits/sec
[ 5] 492.00-493.00 sec 273 KBytes 2.42 Mbits/sec
[ 5] 493.00-494.00 sec 272 KBytes 2.37 Mbits/sec
[ 5] 494.00-495.00 sec 292 KBytes 2.42 Mbits/sec
[ 5] 495.00-496.01 sec 265 KBytes 2.42 Mbits/sec
[ 5] 496.01-497.00 sec 266 KBytes 2.35 Mbits/sec
[ 5] 497.00-498.00 sec 267 KBytes 2.46 Mbits/sec
[ 5] 498.00-499.01 sec 276 KBytes 2.47 Mbits/sec
[ 5] 499.01-500.00 sec 244 KBytes 2.46 Mbits/sec
[ 5] 500.00-500.04 sec 9.67 KBytes 2.14 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bandwidth
[ 5] 0.00-500.04 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec
[ 5] 0.00-500.04 sec 2.90 MBytes 2.64 Mbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----
```

Nota. Resultados obtenidos del servidor Iperf3

Figura 70

Prueba 2 ejecución de Iperf3 ambiente sin producción

```

[ 5] Símbolo del sistema - iperf3.exe -s
[ 5] 476.00-477.00 sec 237 KBytes 1.95 Mbits/sec
[ 5] 477.00-478.00 sec 259 KBytes 2.11 Mbits/sec
[ 5] 478.00-479.00 sec 235 KBytes 1.93 Mbits/sec
[ 5] 479.00-480.00 sec 205 KBytes 1.68 Mbits/sec
[ 5] 480.00-481.00 sec 210 KBytes 1.72 Mbits/sec
[ 5] 481.00-482.00 sec 243 KBytes 1.99 Mbits/sec
[ 5] 482.00-483.00 sec 269 KBytes 2.21 Mbits/sec
[ 5] 483.00-484.01 sec 262 KBytes 2.13 Mbits/sec
[ 5] 484.01-485.00 sec 247 KBytes 2.04 Mbits/sec
[ 5] 485.00-486.00 sec 269 KBytes 2.21 Mbits/sec
[ 5] 486.00-487.00 sec 244 KBytes 2.00 Mbits/sec
[ 5] 487.00-488.00 sec 259 KBytes 2.12 Mbits/sec
[ 5] 488.00-489.00 sec 262 KBytes 2.14 Mbits/sec
[ 5] 489.00-490.00 sec 261 KBytes 2.13 Mbits/sec
[ 5] 490.00-491.00 sec 249 KBytes 2.32 Mbits/sec
[ 5] 491.00-492.00 sec 240 KBytes 2.39 Mbits/sec
[ 5] 492.00-493.00 sec 273 KBytes 2.42 Mbits/sec
[ 5] 493.00-494.00 sec 272 KBytes 2.37 Mbits/sec
[ 5] 494.00-495.00 sec 292 KBytes 2.44 Mbits/sec
[ 5] 495.00-496.01 sec 265 KBytes 2.40 Mbits/sec
[ 5] 496.01-497.00 sec 266 KBytes 2.33 Mbits/sec
[ 5] 497.00-498.00 sec 267 KBytes 2.41 Mbits/sec
[ 5] 498.00-499.01 sec 276 KBytes 2.41 Mbits/sec
[ 5] 499.01-500.00 sec 244 KBytes 2.45 Mbits/sec
[ 5] 500.00-500.04 sec 9.67 KBytes 2.18 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer      Bandwidth
[ 5] 0.00-500.04 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec
[ 5] 0.00-500.04 sec 2.96 MBytes 2.61 Mbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----
```

Nota. Resultados obtenidos del servidor Iperf3

Los resultados promedio del ambiente sin producción se pueden apreciar en la Tabla 38.

Tabla 38

Promedio Velocidad de transmisión sin producción

Numero de prueba	Velocidad de transmisión Mbps
Prueba 1	2.64
Prueba 2	2.61
Promedio	2.625

La tabla de a continuación muestra los valores de velocidad de transmisión promedio obtenidos mediante las pruebas de Iperf3. Con producción el valor fue de 2.395 Mbps, en tanto que, sin producción fue de 2.625 Mbps. Esto significa que, la velocidad de transmisión entre las dos pruebas es casi imperceptible.

Tabla 39*Resultados de velocidad de transmisión promedio 802.11ax*

Estado del Ambiente	Velocidad de transmisión promedio Mbps
Con producción	2.395
Sin producción	2.625

Nota. Comparativo en ambientes con producción y sin producción

4.3.2.5 Bit Rate IEEE 802.11 ax

Para la obtención y análisis de la tasa de transferencia se debió tomar en cuenta las gráficas anteriores correspondientes a el estado de producción de la

Figura 67 y Figura 68 y sin producción de la Figura 69 y Figura 70, dando como resultado los valores promedio de BitRate (tasa de transferencia): en las siguientes tablas

Tabla 40*Promedio BitRate con producción*

Numero de prueba	Tasa de transferencia Mbytes
Prueba 1	2.86
Prueba 2	2.91
Promedio	2.885

Tabla 41*Promedio BitRate sin producción*

Numero de prueba	Tasa de transferencia Mbytes
Prueba 1	2.90
Prueba 2	2.96
Promedio	2.93

Dando como resultado los valores promedios de la tasa de transferencias las cuales se pueden apreciar en la Tabla 42.

Tabla 42*Resultados de tasa de transferencia promedio 802.11ax en Kbytes*

Estado del Ambiente	Tasa de transferencia Mbytes
Con producción	2.885
Sin producción	2.93

Nota. Comparativo en ambientes con producción y sin producción

De igual manera que la velocidad de transmisión, la diferencia en los ambientes no ve reflejada de una forma significativa en el Bit Rate.

4.4 Estudio red inalámbrica LoRa IEEE 802.15.4

Tal y como se describió en el estudio de la red inalámbrica de la tecnología IEEE 802.11 ax la red inalámbrica de la tecnología IEEE 802.15.4 LoRa también abarcará los 10 puntos en los mismos ambientes y además de los parámetros más similares posibles.

4.4.1 Elementos intrínsecos del estudio IEEE 802.15.4 LoRa

A continuación, se presentan los valores intrínsecos de la tecnología, los cuales no se verán afectados o no variarán pese a cualquier cambio que se genere en el espectro electromagnético por razón del ambiente hostil generado por la maquinaria textil.

4.4.1.1 Canales disponibles para transmitir IEEE 802.15.4 LoRa

En la línea de código “const uint32_t Frequency = 2437000000;” dentro de la librería “settings.h” se puede variar la programación y colocar valores desde los 2401000000Hz a los 2495000000Hz correspondientes al rango de frecuencia correspondiente a la banda de los 2.4GHz. La tecnología posee una cantidad de 94000000 valores que pueden ser utilizados como canal mientras que los dispositivos, estaciones y centro se encuentren en el mismo valor, por ello, la comunicación es garantizada.

4.4.1.2 Frecuencia fundamental IEEE 802.15.4 LoRa

La tecnología LoRa al ser programable mediante los microcontroladores “wroom esp32” y el transductor “sx1280” hacen que sea posible utilizar cualquier canal mediante programación. En la librería generada llamada “settings.h” se puede dirigir a la línea de código “const uint32_t Frequency = 2437000000;” que según lo estipulado en el diseño se estableció en la frecuencia correspondiente al “canal 6” de la tecnología IEEE 802.11 es decir los 2.437GHz lo cual se puede apreciar con anterioridad en la Figura 23.

4.4.1.3 Tipo de modulación IEEE 802.15.4 LoRa

El módem LoRa utiliza modulación de espectro ensanchado y técnicas de corrección de errores de reenvío (FEC) para aumentar el alcance y la solidez de los enlaces de comunicación por radio en comparación con las modulaciones tradicionales basadas en FSK u OOK. Un aspecto importante del módem LoRa es su inmunidad superior a las interferencias. Como muestra el datasheet del transductor sx1280 es capaz de rechazo co-canal hasta de -19,5 dB. Esta inmunidad a interferencias permite la coexistencia de sistemas modulados LoRa, ya sea, en bandas de gran uso espectral o en redes de comunicación híbridas que lo usan para ampliar el alcance y la robustez cuando los esquemas de modulación fallan.

Las Tablas 43, 44 y 45 fueron extraídas directamente del datasheet del transductor “sx1280” pues cada una de ellas presenta los valores de configuración dentro de la programación en los microcontroladores.

Tabla 43

Parámetro de modulación de LoRa factor de dispersión

Parameter	Symbol	Value	Spreading factor
modParam1	LORA_SF_5	0x50	5
modParam1	LORA_SF_6	0x60	6
modParam1	LORA_SF_7	0x70	7
modParam1	LORA_SF_8	0x80	8
modParam1	LORA_SF_9	0x90	9
modParam1	LORA_SF_10	0xA0	10
modParam1	LORA_SF_11	0xB0	11
modParam1	LORA_SF_12	0xC0	12

Nota. (DataSheet SX1280-1281, 2020, p.130)

Tabla 44*Parámetro de modulación de LoRa ancho de banda “kHz”*

Parameter	Symbol	Value	Bandwidth [kHz]
modParam2	LORA_BW_1600	0x0A	1625.0
modParam2	LORA_BW_800	0x18	812.5
modParam2	LORA_BW_400	0x26	406.25
modParam2	LORA_BW_200	0x34	203.125

Nota. (DataSheet SX1280-1281, 2020, p.131)

Tabla 45*Parámetro de modulación de LoRa tasa de codificación*

Parameter	Symbol	Value	Coding rate
modParam3	LORA_CR_4_5	0x01	4/5
modParam3	LORA_CR_4_6	0x02	4/6
modParam3	LORA_CR_4_7	0x03	4/7
modParam3	LORA_CR_4_8	0x04	4/8
modParam3	LORA_CR_LI_4_5	0x05	4/5*
modParam3	LORA_CR_LI_4_6	0x06	4/6*
modParam3	LORA_CR_LI_4_8	0x07	4/8*

Nota. (DataSheet SX1280-1281, 2020, p.131)

Según la recomendación del fabricante, la combinación de parámetros que genera un mayor rendimiento es “LORA_SF_7”, “LORA_BW_0200” y “LORA_CR_4_5”. Estos se encuentran y se pueden configurar en la librería “Settings.h” en el apartado de configuración de parámetros de LORA se puede apreciar en la Figura 23 y Figura 24.

4.4.1.4 Índice de modulación IEEE 802.15.4 LoRa

Según lo establecido en el datasheet del transistor SX1280 el índice de modulación eficiente está definido por el parámetro del factor de dispersión, en este caso, como el punto anterior muestra que se seleccionó el factor de dispersión 7, el índice de modulación trabajará con el mismo.

4.4.1.5 Data Rate IEEE 802.15.4 LoRa

El Data Rate se encuentra establecido en el nodo central o de recepción, pues, determina a la velocidad a la cual recibe los paquetes, de la misma forma, la configuración se encuentra en la siguiente línea de programación:

“LT.setPacketParams (12, LORA_PACKET_VARIABLE_LENGTH, 255, LORA_CRC_ON, LORA_IQ_NORMAL, 0, 0,FLRC_BR_1_300_BW_1_2);” Se muestra en la Figura 26.

Los Data Rate cubren el rango de 260 kb/s a 1,3 Mb/s. Para admitir estas velocidades de datos sin procesar, hay disponibles anchos de banda de modulación de 0,3 MHz a 2,4 MHz. Se toma como referencia la Tabla 46 para su respectiva configuración:

Tabla 46
Validación de símbolo correspondiente al BitRate y Bandwidth BW

Symbol	Raw Bit Rate Rb [Mb/s]	Bandwidth BW [MHz]
FLRC_BR_1_300_BW_1_2	1.30	1.2
FLRC_BR_1_040_BW_1_2	1.04	1.2
FLRC_BR_0_650_BW_0_6	0.65	0.6
FLRC_BR_0_520_BW_0_6	0.52	0.6
FLRC_BR_0_325_BW_0_3	0.325	0.3
FLRC_BR_0_260_BW_0_3	0.26	0.3

Nota. (DataSheet SX1280-1281, 2020, p.38)

4.4.2 Elementos susceptibles del estudio IEEE 802.15.4 LoRa

A continuación, se presentan los valores susceptibles de la tecnología, los cuales se verán afectados por el ambiente hostil generado. Se realizó una comparativa del elemento con la maquinaria en producción y sin producción.

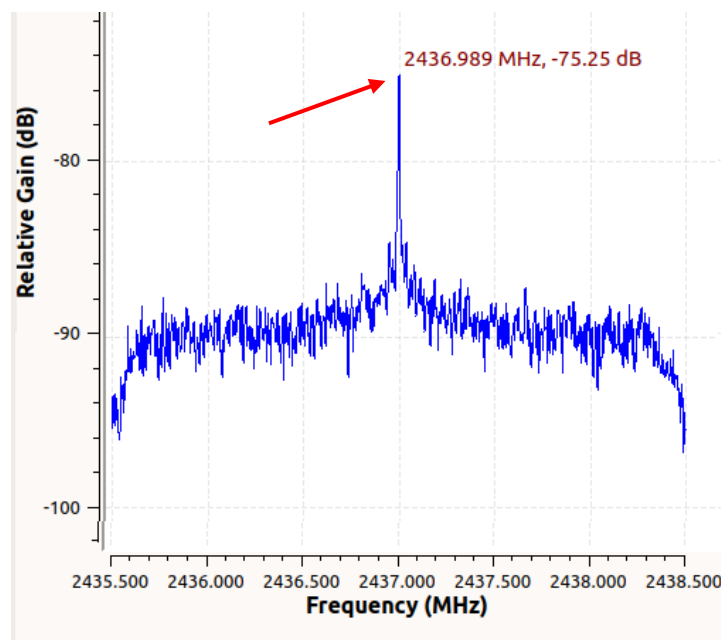
4.4.2.1 Umbral canal claro IEEE 802.15.4 LoRa

En el apartado de Umbral de Canal Claro o “Clear Channel Threshold” se pudo apreciar el punto en el cual la red establecida en la frecuencia de 2.437GHz tiene un pico de potencia relacionado con este dando a entender el escaneo de la red para el envío y recepción de datos. Esta tecnología se centrará en un solo canal para el envío y recepción sin subdividirlo, pues, el ancho de banda teóricamente no es más grande a 1.2 MHz. Las pruebas realizadas de cada uno de los ítems correspondientes en este apartado fueron de 5 pruebas, las cuales se presentará un valor promedio.

En producción

Cuando la red desplegada se encuentra afectada por el ambiente de producción se pudo apreciar graficas similares a la que se muestra a continuación indicando que el Umbral de Canal Claro se encuentra en la frecuencia establecida de 2436.989 MHz con una potencia de -75.25 dB.

Figura 71: Umbral de Canal Claro LoRa ambiente en producción

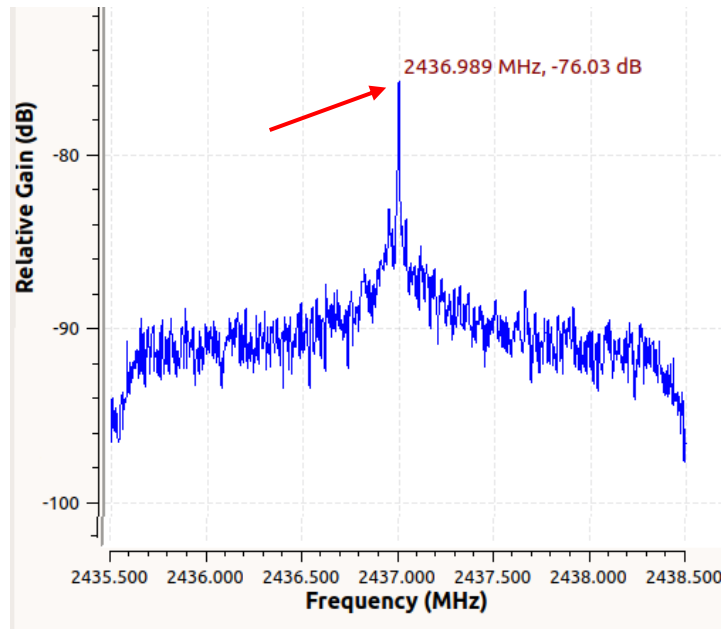


Nota. GNU Radio gráfica de potencia

Sin producción

Cuando el ambiente se encuentra sin producción la gráfica que se generó posee una pequeña disminución en los 2436.989 MHz a una potencia de -76.03 dB.

Figura 72: Umbral de Canal Claro LoRa ambiente en producción



Nota. GNU Radio gráfica de potencia

Las pruebas realizadas fueron 5 cuyos resultados se presentan en la **Tabla 47**, **Tabla 48**, **Tabla 49**, **Tabla 50** y **Tabla 51** a continuación:

Tabla 47

Resultado 1 Umbral Canal Claro LoRa

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con producción	-75.26
Sin producción	-76.03

Tabla 48

Resultado 2 Umbral Canal Claro LoRa

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con producción	-77.12
Sin producción	-80.11

Tabla 49*Resultado 3 Umbral Canal Claro LoRa*

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con producción	-76.01
Sin producción	-78.95

Tabla 50*Resultado 4 Umbral Canal Claro LoRa*

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con producción	-75.95
Sin producción	-80.11

Tabla 51*Resultado 5 Umbral Canal Claro LoRa*

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con producción	-76.49
Sin producción	-79.27

La siguiente tabla muestra la potencia promedio en el Umbral de Canal Claro. Refiriendo al ambiente en producción el valor fue de -76.166 dB, en tanto que sin producción se obtuvo -78.898 dB. Esto significa que con producción existió mayor potencia en el umbral, por tanto, el punto de conexión creció al exponerse en el ambiente hostil.

Tabla 52*Resultados del Umbral de Canal Claro Promedio LoRa*

Estado del Ambiente	Umbral dB
Con producción	-76.166
Sin producción	-78.898

Nota. Gráfica de potencia

4.4.2.2 Sensibilidad a la red IEEE 802.15.4 LoRa

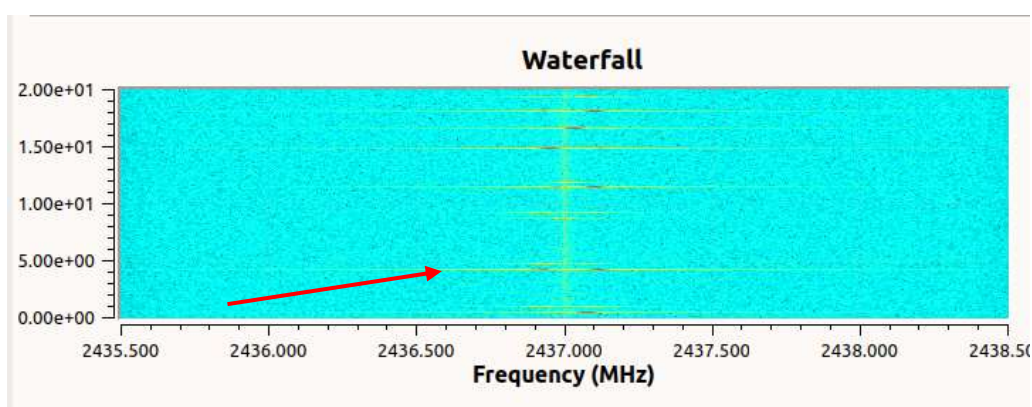
La sensibilidad en esta tecnología está sobre todo en el ambiente cercado en la frecuencia de los 2.437GHz para los dos escenarios.

En producción

Cuando el ambiente se encuentra en producción se puede apreciar unos mayores alargues especialmente en el segundo 4. Cabe recalcar como las pulsaciones de envío de datos son de un color intenso lo cual indica que su sensibilidad es muy alta como se puede apreciar en la Figura 73.

Figura 73

Mapa de la sensibilidad LoRa a través del tiempo en ambiente en producción



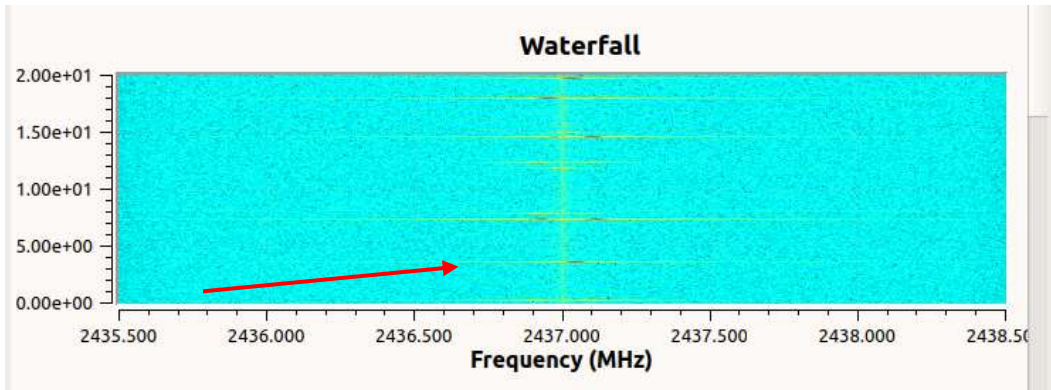
Nota. Gráfica de sensibilidad de GNU Radio

Sin producción

Sin producción todo el pool de 20 segundos generado en la captura de la sensibilidad es un poco más limpia, no posee rasgaduras ni difuminaciones como se mostraban en el ambiente con producción que se aprecia en la Figura 74.

Figura 74

Mapa de la sensibilidad LoRa a través del tiempo en ambiente sin producción



Nota. Gráfica de sensibilidad de GNU Radio

4.4.2.3 Potencia de transmisión IEEE 802.15.4 LoRa

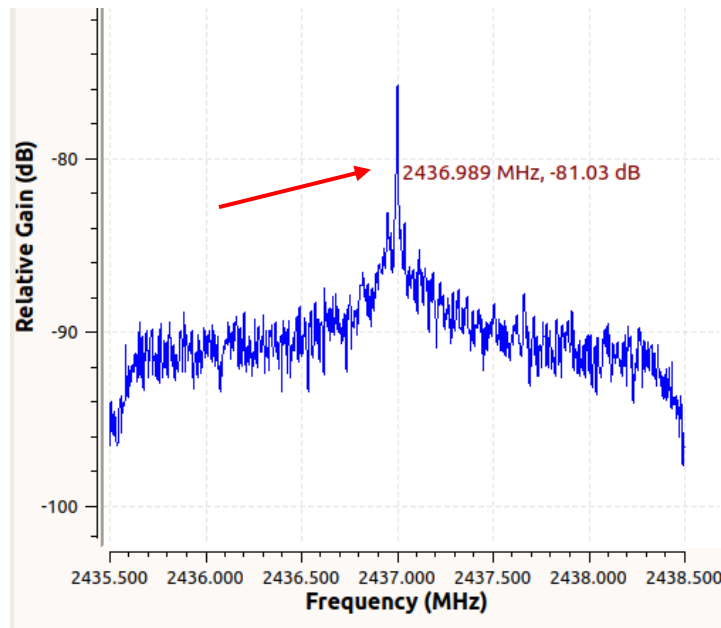
Tomando en cuenta lo mencionado con anterioridad, el ancho de banda que se utiliza en la tecnología LoRa es de 203.125 KHz, lo cual indica que es a penas visible en la gráfica, pero si es apreciable, en ambos casos un pequeño haz creciente a lados del Umbral de Canal Claro, se puede apreciar cada segundo, pues está determinado por el envío de los datos de las estaciones.

En producción

En un ambiente en producción toda la potencia que se puede apreciar referente al ruido generado por el ambiente industrial es imperceptible, pero al lado izquierdo del Umbral de Canal Claro se puede apreciar el haz de potencia, correspondiente al envío de datos y como se puede apreciar se encuentra ubicado en la frecuencia de 2436.989 MHz y posee una potencia de -81.03 dB la cual se muestra en la Figura 75

Figura 75

Potencia de transmisión LoRa existente en ambiente textil con producción



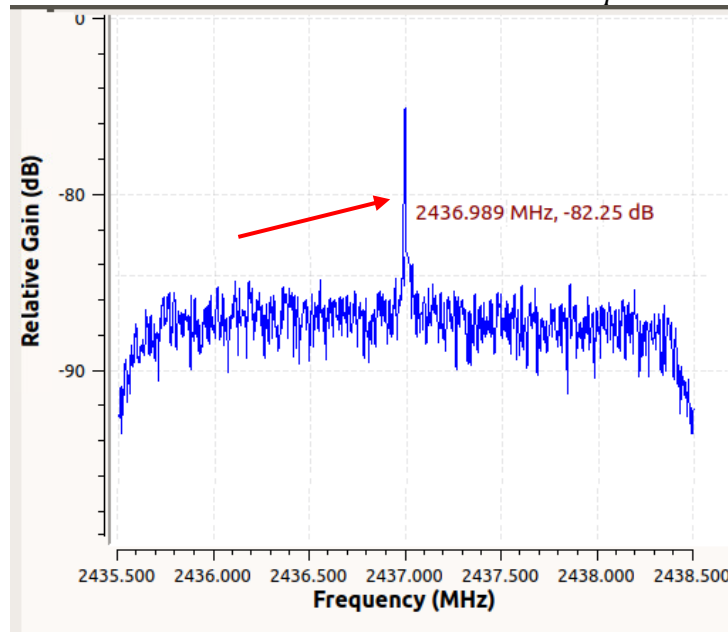
Nota. GNU Radio gráfica de potencia

Sin producción

Por otro lado, en un ambiente sin producción los parámetros son similares a los anteriores, pues no existe algo que haga referencia al ruido industrial. Se puede apreciar de igual forma al lado izquierdo en la frecuencia de 2436.898MHz que posee una potencia de -82.25dB la cual se puede ver en la Figura 76

Figura 76

Potencia de transmisión LoRa existente en ambiente textil sin producción



Nota. GNU Radio gráfica de potencia

Las pruebas realizadas fueron 5, además de fijar la frecuencia en un estado fijo para cuyos resultados se presentan en la Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55, Tabla 56 y Tabla 57:

Tabla 53

Resultado 1 Potencia de transmisión LoRa

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2436.989	-81.03
Sin producción	2436.989	-82.25

Tabla 54

Resultado 2 Potencia de transmisión LoRa

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2436.989	-79.88
Sin producción	2436.989	-80.98

Tabla 55*Resultado 3 Potencia de transmisión LoRa*

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2436.989	-83.02
Sin producción	2436.989	-83.98

Tabla 56*Resultado 4 Potencia de transmisión LoRa*

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2436.989	-81.22
Sin producción	2436.989	-82.88

Tabla 57*Resultado 5 Potencia de transmisión LoRa*

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2436.989	-79.82
Sin producción	2436.989	-80.97

La Tabla 58 muestra la diferencia en la potencia de transmisión promedio en los ambientes con producción y sin producción. En la primera, en frecuencia de 2436.981 MHz se obtuvo una potencia de -89.60 dB; en la segunda, en la frecuencia de 2437.026 MHz dio como resultado -89.28 dB. Esto significa que un ambiente con producción la potencia aumenta para generar la transmisión.

Tabla 58*Resultados de potencia de transmisión promedio en LoRa*

Estado del ambiente	Frecuencia de muestra MHz	Potencia dB
Con producción	2436.989	-80.994
Sin producción	2436.989	-82.212

Nota. Comparativo en ambientes con producción y sin producción

4.4.2.4 Velocidad de transmisión IEEE 802.15.4 LoRa

Para identificar la velocidad de transmisión LoRa no se puede acceder a hacer pruebas de rendimiento mediante el software iperf3 ya que es otra tecnología para lo cual se procede a cuantificar los datos recibidos mediante el puerto de comunicación a Excel.

Mediante el programa Excel, a cuyos archivos de prueba se pueden acceder mediante los enlaces ubicados al final del ANEXO 4 posee un complemento que es capaz de receptor los datos de entrada de los puertos de comunicación desde Silicon Labs CP210x USB to UART Bridge (COM5) se obtuvo que en el envío de 500 paquetes la velocidad de transmisión de “SF7” basado en 88.87 Kbytes los tiempos de en producción de 3.40 min y sin producción de 3.19 min, teniendo una velocidad de transmisión de 1.04 Mbps en producción y 1.3 Mbps sin producción lo cual se recopila en la Tabla 59.

Tabla 59

Velocidad de transmisión en LoRa

Estado del ambiente	Tiempo min	Velocidad de transmisión Mbps
Con producción	3.40	1.04
Sin producción	3.19	1.3

Nota. Comparativo en ambientes con producción y sin producción

4.4.2.5 Bit Rate IEEE 802.15.4 LoRa

Al programarse el nodo central utiliza un modem FLRC el cual utiliza la corrección de errores controlado con codificación convolucional, esto hace que la información sea redundante, haciendo que la carga útil de los paquetes sea resistente a la ráfaga de interferencia de otros servicios de radio en la misma banda o canal, dando como resultado que si un paquete se envía con éxito mantendrá toda la carga útil colocada, es decir mantendrá el máximo permitido de 115.2 Kbytes.

5. CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del estudio “Análisis de rendimiento de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en la banda de frecuencia de 2.4 GHz en un ambiente industrial textil controlado y su impacto para IIoT en dos escenarios” se presentarán en una comparativa entre las tecnologías y como ellas se comportaron en el ambiente hostil generado por el ruido de maquinaria textil, el cual fue desarrollado en la “PLANTA TEXTIL UTN”.

Como se menciona con anterioridad para los resultados se enfocó en los parámetros susceptibles al ambiente hostil, con el fin de mostrar de manera oportuna como es el funcionamiento de cada una.

5.1 Comparación de los resultados de los modelos 802.11ax y LoRa

Tabla 60

Matriz de comparación de redes inalámbricas 802.11ax y LoRa

Factores	802.11ax Valor	Modelos			Cualitativa	Cuantitativa (Variación)
		F	LoRa Valor	F		
1 Umbral de Canal Claro	-69.132 dB	2.436 GHz	-76.166 dB	2.437 GHz		-6.984 dB
2 Sensibilidad de la red	Abarca todo el ancho de banda		Sensibilidad cerca de la frecuencia fundamental		El impacto en el espectro radio eléctrico de LoRa es menor al de 802.11ax	
3 Potencia de transmisión	-70.728 dB	2435. 737 MHz	-80.994 dB	2436. 989M Hz		-10.226 dB
4 Velocidad de transmisión	2.395 Mbps		1.04 Mbps			1.335 Mbps
5 Bit Rate	2885 Kbytes		115.2 Kbytes			2769.8 Kbytes

Respecto al Umbral de Canal Claro es necesario acotar que la frecuencia elegida para las dos redes inalámbricas fue de 2.437 GHz, con las mediciones realizadas con el hardware ADALM -PLUTO SDR mostró en la tecnología de IEEE 802.11 ax una pequeña variación a los 2.436 GHz a diferencia de IEEE 802.15.4 LoRa la cual fue exacta, en este sentido, las medidas de potencia obtenidas fueron de -69.132 para la red inalámbrica de IEEE 802.11 ax, en tanto que, -76.166 para LoRa; dando como resultado una variación de -6.984 dB, esto significa que, la tecnología basada en WiFi6 posee una mayor potencia en el Umbral de Canal Claro, puesto que, esta tecnología está diseñada para abarcar una gran cantidad de estaciones conectadas simultáneamente. Es necesario indicar que, LoRA presenta dicha potencia por su tipo de modulación DSSS.

En cuanto a la sensibilidad de la red las dos tecnologías poseen una notable diferencia una con la otra, pues, la tecnología IEEE 802.11 ax ocupa todo el ancho de banda correspondiente a su canal de 22 MHz haciendo que la sensibilidad sea uniforme a lo largo del todo el canal. Respecto a la sensibilidad de la tecnología IEEE 802.15.4 LoRa se centró únicamente cerca de la frecuencia fundamental, haciendo que, los puntos de sensibilidad sean mayores a la de la otra tecnología. Es importante mencionar que, durante los periodos de prueba no se observó nada relacionado con ruidos industriales, la sensibilidad de estas tecnologías es mayor que los ruidos existentes.

Refiriéndose a la potencia de transmisión se puede manifestar que en la tecnología IEEE 802.11 ax por su naturaleza subdivide el ancho de banda del canal asignado que para este caso en particular es el 6 en sub-canales; según la gráfica obtenido por el hardware ADALM -PLUTO SDR se puede apreciar la existencia de 9 sub canales de los cuales se cogió la medida del que tiene mayor potencia, resultando -70.728 dB en la frecuencia de 2435.737 MHz. Respecto a la tecnología IEEE 802.15.4 LoRa se puede manifestar que, existe un solo canal el cual se encuentra lo más centrado a la frecuencia fundamental escogida, en donde se obtuvo el valor de -80.994 dB en la frecuencia de 2436.989MHz. Esto hace que, mientras la tecnología basada en WiFi6 tenga un alcance menor LoRa puede cubrir distancias superiores.

En lo que respecta a la velocidad de transmisión en la tecnología IEEE 802.11 ax se obtuvo un promedio de 2.395 Mbps, en tanto que, en la tecnología IEEE 802.15.4 LoRa el valor fue de 1.04 Mbps. Es necesario indicar que, la velocidad de transmisión de la primera tecnología es mucho mayor, sin embargo, se procedió a limitar su velocidad para realizar la comparativa en función de la segunda, a pesar de ello se generó una diferencia de velocidades de 1.335 Mbps, mostrando que a pesar de limitar la velocidad de WiFi6 esta sigue siendo superior.

La tasa de transferencia de datos conocida como Bit Rate en la comparativa mostró que, en la tecnología IEEE 802.11ax se obtuvo una transferencia promedio de 2885 Kbytes y en la IEEE 802.15.4 LoRa de 115.2 Kbytes es importante mencionar que para las pruebas se hizo que el payload de los paquetes sea el máximo posible. Esto significa que, la transferencia en Wifi6 es superior a la de LoRa al poseer una mayor tasa en un ambiente hostil, pero esto se debe a su naturaleza, en este sentido, el resultado de variación es de 2769.8 Kbytes.

5.2 Ventajas y desventajas comerciales

Es importante manifestar que, las tecnologías IEEE 802.11ax y IEEE 802.15.4 LoRa poseen diferentes características propias de su naturaleza, por ello, cada una actúa de manera significativa frente a ciertos ambientes, requerimientos y necesidades de la industria.

Es pertinente acotar que las ventajas y desventajas van en función de las actividades relacionadas con las organizaciones. Es el usuario el que adquirirá una tecnología acorde a sus necesidades empresariales, es por ello, que la tecnología escogida debe estar en función de dar valor a su organización e implementar el internet de las cosas en la industria, dando el paso a la conocida época de la industria 4.0

Tabla 61*Ventajas y desventajas 802.11ax IEEE 802.15.4 LoRa*

Parámetro	802.11ax		IEEE 802.15.4 LoRa		IEEE 802.15.4 LoRa		802.11ax	
	Ventaja		Desventaja		Ventaja		Desventaja	
Velocidad	Velocidad 2.4Gbps	máxima	Velocidad Mbps	máxima	1.3	Ninguna		Ninguna
Cobertura	Ninguna		Ninguna			Máxima 900m		Máxima 25m
Modulación	1024-QAM subdivisión de canales		Baja corrección de errores			FEC alta corrección de errores		Un solo canal
Consumo	Ninguna		Ninguna			0.5 Watts bajo consumo		4.5 Watts alto consumo
Conectividad	Gran conectividad de estaciones	de	Conexión punto a punto			Ninguna		Ninguna
Sensibilidad	Ninguna		Ninguna			Alta con relación a la otra tecnología		Baja con relación a otra tecnología

CONCLUSIONES

- Una vez realizado el análisis de rendimiento en las tecnologías inalámbricas IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 en diferentes escenarios en la industria textil en la banda de frecuencia 2.4GHz, la cual se llevó a cabo en la planta textil UTN se concluye que, respecto a la primera tecnología su rendimiento es mejor en cuanto al Umbral de Canal Claro y la potencia de transmisión, pues, muestra en las dos una mayor potencia con relación a la otra tecnología, además en su velocidad de transmisión y Bite Rate también tiene una mayor velocidad en su transmisión de datos. Refiriéndose a la tecnología IEEE 802.15.4, con respecto su sensibilidad su impacto en el espectro radioeléctrico es menor, generando que las interferencias o ruidos existentes no le afecte, es importante mencionar que este tiene una cobertura muy superior, añadido a esto un bajo costo energético. Se deja al criterio del usuario final cuál de ellas se acopla de mejor manera dentro de la industria.
- Se concluye que, los parámetros determinantes para la realización del trabajo se encuentran en la capa física y enlace correspondientes al modelo OSI, por ello, la base teórica de los modelos tanto IEEE 802.11 ax como IEEE 802.15.4 fue muy importante teniendo en cuenta su arquitectura, así como sus protocolos para un adecuado desarrollo del mismo, es bueno acotar que este sustento teórico respetó las correspondientes normas y citas de autor.
- El diseño de las redes inalámbricas se efectuó con una selección del hardware y software apropiadas, de acuerdo a sus características se acoplaron de una forma efectiva a las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 intervinientes en el estudio; estos tuvieron como forma básica un micro controlador, una fuente de energía y un transductor, las fuentes fueron genéricas y proporcionaron una alimentación de 5 voltios con 100 mA variables, para la tecnología IEEE 802.11 ax se utilizó los microcontroladores de Raspberry Pi Compute 4 IO Board y el transductor WiFi 6E AX210NGW DTK con su respectivo driver; para la tecnología IEEE 802.15.4 el microcontrolador ESP32 WROOM y como transductor el SX1280 conectada a una antena genérica. Las dos tecnologías

presentaron casos protectores que sirvieron para poder desplegarles en un ambiente controlado en producción y sin producción.

- Se concluye que, la implementación de las redes inalámbricas en el área industrial permitió la recolección efectiva de los datos referidos al rendimiento de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4. A través de los planos arquitectónicos brindados por la Universidad se seleccionó los puntos efectivos para la ubicación de nodos, a partir de ello, se desarrolló las pruebas técnicas de los parámetros seleccionados que ayudaron a determinar los diez valores expresados en el alcance del estudio, que sirvieron para la determinación de las ventajas y desventajas de las tecnologías mencionadas.
- Es concluyente que, los resultados que arrojaron las diferentes pruebas en relación con la comparativas de las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4 expuestas al ambiente industrial textil fueron: Umbral de Canal Claro. una variación entre ambas tecnologías de -17.01 dB; la Sensibilidad de Red, el impacto en el espectro radio eléctrico de LoRa es menor al de 802.11ax; la variación de potencia de transmisión fue de -19,59 dB; la velocidad de transmisión 1.27 Mbps y el Bit Rate con 166.6 Kbytes de diferencia entre las tecnologías. Para una mejor comprensión relacionada a implementación de estas tecnologías en la industria se presentó un Manual Técnico que sirva de guía.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros investigadores tener en cuenta los aspectos de arquitectura, protocolos y limitantes de las tecnologías estudiadas IEEE 802.11 ax como IEEE 802.15.4 para que sirvan de base en estudios referidos a nuevas tecnologías y poderlas comparar dentro de las capas física y de enlace basadas en el modelo OSI en cualquier tipo de ambiente industrial.
- Es recomendable a la industria la utilización del hardware y software que se usó en el presente estudio debido que cumplen con las características requeridas para la obtención de datos de una manera efectiva en las tecnologías IEEE 802.11 ax e IEEE 802.15.4, ya que, su forma básica fue un micro controlador, una fuente de energía y un transductor y a través de sus cases protectores se puede realizar un despliegue en ambientes controlados que tengan producción o no, siendo de las mejores opciones para la implementación del internet de las cosas en la industria IIoT.
- Se recomienda a la Universidad Técnica del Norte tener en cuenta en caso de realizar una implementación de IIoT, ya que, el presente estudio contiene aspectos muy relevantes en cuanto a que las tecnologías utilizadas no se vieron afectadas por el ruido industrial generado y tampoco su rendimiento fue comprometido. Es necesario entonces que se ubique lugares estratégicos para la colocación de nodos con la finalidad de que cualquiera que sea su uso la transmisión sea óptima, ya que, los parámetros estudiados muestran su efectividad.
- Se recomienda a la industria que se seleccione la tecnología que más se apegue a sus necesidades y requerimientos, debido que, cada una de ellas tiene sus características que la hacen ventajosa o no en relación con diferentes ambientes. Hablando de forma comercial se puede manifestar que IEEE 802.11 ax administra una mayor conectividad con los nodos y posee una mayor velocidad de transmisión, pero, su distancia de cobertura es menor con relación a la otra tecnología. IEEE 802.15.4 por su parte tiene una administración y velocidad limitados, pero es compensada por su gran capacidad de cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

- [ARCOTEL]. (2017). *www.arcotel.gob.ec*. <https://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>
- [IEEE] . (2021). *IEEE Publication Services and Products Board Operations Manual*. Piscataway.
- [UIT]. (2018). *Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones. SERIE V*.
- Acuña, J., y Aponte, J. (2018). *Análisis del Rendimiento en Redes Wlan caso Estudio: Wlan – Universidad Católica de Colombia Sede El Claustro*. SCUCC.
- Bolaños, G. (2017). *www.movilzona.es*. <https://www.movilzona.es/2014/12/15/las-redes-wifi-y-moviles-de-nuevo-senaladas-como-causa-de-enfermedades/>
- Catarina, Udlap. (2018). *WPAN Red inalámbrica de área personal* . Pearson .
- CISCO. (2020). *www.cisco.com*. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wi-fi-6.html#~related-topics>
- Coleman y Westcott. (2018). *Certifiet Wireless Network Administrator. CWNA*.
- Conway, J. (2015). *The Industrial Internet of Things*. RCTA.
- Fernández, D. (2016). *tendencias21.levante-emv.com*. https://tendencias21.levante-emv.com/las-condiciones-meteorologicas-si-afectan-a-las-redes-wifi_a14190.html
- Fernández, S. (2010). *marismas-emtt.blogspot.com*. Canales 802.11: <http://marismas-emtt.blogspot.com/2010/11/canales-80211.html>
- García, A. (2017). *Algoritmo para transmisión confiable de paquetes de datos en estructuras lineales a nivel de la capa de enlace de datos*. Politécnica Nacional .
- Gerometta, O. (2019). *librosnetworking.blogspot.com*. <http://librosnetworking.blogspot.com/2019/01/ieee-80211ax-1.htm>

- Ingeniería de Software. (2022). *ingenieriadesoftware.mex.tl*.
http://ingenieriadesoftware.mex.tl/61885_modelo-v.html
- Jácome, S. (2017). Estándares. *Ciencia de los sensores*, 28.
- Khorov, E., y Kiryanov, A. (2019). A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs. *IEEE Communications Surveys*, 197.
- Lamiño, A. (2021). *Análisis, implementación y evaluación del desempeño del estándar IEEE 802.11 ax en escenarios reales y simulados*. ESPE.
- Lima, A. (2020). *es.acervolima.com*. <https://es.acervolima.com/introduccion-de-la-tecnologia-ieee-802-15-4/>
- Linero, R., Camargo, L., y Medina, B. (2015). Análisis del rendimiento de redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4. *Revista.UIS.Ingenierías*, 3.
- López, V. (2018). El desequilibrio socioeconómico consecuente de la industria de internet de las cosas. *El desequilibrio socioeconómico consecuente*, 146.
- Marianetti, O., Arce, L., y Iglesias, A. (2017). Diseño de un prototipo de procesador soft-core para aplicaciones en nodos de WSN. *Ciencia y tecnología*, 116.
- Martínez. (2006). *Las redes de sensores inalámbricas, arquitectura y aplicaciones*. Pearson.
- Monsalve, J., y Arias, A. (2018). Redes industriales para el control de procesos industriales en tiempo real. *Revista Politécnica ISSN*, 84.
- MsRobotics. (2019). *msrobotics.net*. <http://msrobotics.net/index.php/clases-de-raspberry-pi/247-raspberry-pi-4>
- Otriz, M. (2020). *Desarrollo de una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LoRa para el monitoreo de un sistema*. UPS.
- Parejo, J. (2020). *Implementación de Arquitectura IoT para Modelo de Enfermedades de Plantas*. Sevilla.
- Pérez, J., Urdaneta, E., y Custodio, A. (2014). Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 16.
- Pizarro, J. (2020). *Internet de las cosas IoT con ESP*. Paraninfo.

- Quassure. (2020). *quassure.com*. <https://quassure.com/testing-en-modelo-v/>
- Ramírez, I. (2022). *www.xataka.com*. <https://www.xataka.com/basics/que-wi-fi-6-que-ventajas-tiene-respecto-a-version-anterior>
- Ramírez, J., y Díaz, J. (2017). Las redes inalámbricas, más ventajas que desventajas. *Las redes inalámbricas* , 85.
- Red Hat. (2019). *www.redhat.com*. Qué es el internet de las cosas IoT:
<https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>
- Robert, J. (2021). *IEEE 802.15 Low Power Wide Area Network (LPWAN) PHY Interference Model*. Kansas City. Kansas: MO.
- Romero, L., Artigas, F., y Calderón , C. (2020). Redes de Sensores Inalámbricos Definidas por Software. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones RIELAC*, 41.
- Salazar, J. (22 de Abril de 2016). *www.techpedia.eu*. Redes inalámbricas:
file:///E:/C/Users/Downloads/LM01_F_CZ.pdf
- Sánchez, J., y Días, J. (2018). *Ensayos* . TRS.
- Semle, A. (2016). Protocolos IoT para considerar . *Aadeca Artículo Técnico* , 32.
- Semtech. (2020). *DataSheet SX1280-1281*. Semtech.com.
- Severiche, C., Perea , V., y Sierra, D. (2017). Ruido industrial como riesgo laboral. *Ciencia y Salud*, 33.
- Suárez, W. (2021). *Observatorio de radio comunicaciones para el análisis del espectro radio eléctrico en la zona 1 del Ecuador*. UTN.
- Surbaran, M., y Sanmartin, P. (2017). Efectos de la comunicación en una red AD-HOC. *Innovación e investigación* , 27.
- Tanenbaum, A., y Wetherall, D. (2012). *Redes de computadoras*. Pearson Educación.
- Tolosa, G. (2017). Protocolos y Modelo OSI. *Laboratorio de redes*, 13.
- Torres, I. (2021). *Análisis y simulación del Estándar 802.11AX para evaluar el rendimiento de despliegues WLAN en escenarios con tráfico de red elevado*. UNC.

Vera, C., Barbosa , J., y Pabón , D. (2017). La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física . *Red de Revistas Científicas de América Latina*, 238.

Wireless Lan. (2020). *www.redesinalambricas.es*.

<https://www.redesinalambricas.es/wirelesslan/#:~:text=Entonces%20%80%A6-,%20BFQu%C3%A9%20es%20una%20Wireless%20LAN%3F,una%20oficina%20o%20un%20hogar.>

Zitelia . (2020). *www.zitelia.com*. <https://www.zitelia.com/internet-de-las-cosas-en-la-industria-4-0/>

Anexo 1: Encuesta a encargados de estudio de redes inalámbricas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ENCUESTA A PERSONAS A REALIZAR EL ESTUDIO

El objetivo de la presente encuesta es para obtener información sobre las necesidades que sean necesarias para el correcto desarrollo de un estudio de redes inalámbricas en la “PLANTA TEXTIL UTN”

Desarrollo:

1. ¿Cuánto tiempo cree correspondiente para realizar el estudio de las redes inalámbricas en “Planta Textil UTN”?

- 0 a 2 horas
- 2 a 4 horas
- 4 a 6 horas
- Más de 6 horas

2. Con relación a la energización de los dispositivos. ¿Cree correspondiente utilizar baterías o una fuente continua de energización para todos los dispositivos intervinientes?

- Baterías
- Fuente Continua

3. ¿Para realizar un estudio del rendimiento de tecnologías inalámbricas debe ser lo primordial poder analizar y medir los parámetros físicos (CAPA FÍSICA) de dichas tecnologías?

- SI
- NO

4. ¿Para la visualización y movilidad se requiere un monitor el cual sea capaz de mostrar todo lo necesario en pantalla además de ser capaz de movilizarlo a través del terreno de prueba que abarca la “Planta Textil UTN”?

- SI
- NO

5. ¿Cree conveniente una interfaz de API, desarrollada en GNU Radio para la visualización de graficas relacionadas con la potencia del espectro radioeléctrico?

- SI
- NO

6. ¿Para la visualización y movilidad se requiere un monitor el cual sea capaz de mostrar todo lo necesario en pantalla además de ser capaz de movilizarlo a través del terreno de prueba que abarca la “Planta Textil UTN”?

- SI
- NO

7. Para la manipulación de todas las interfaces. ¿Qué dispositivos de entrada cree conveniente?

- Teclado
- Mouse
- Panel táctil

8. Tomando en cuenta que la movilidad es un eje fundamental del estudio. ¿Cree necesario que cada dispositivo posea un case el cual sea capaz de soportar posibles afecciones físicas sin perder su eficiencia?

- SI
- NO

Anexo 2: Programación de LoRa

Programación librería “Sttings.h”

```
//***** Configuración de los pines del hardware LORA! *****

//These are the pin definitions for one of my own boards, a ESP32 shield base with BBF board shield on
//top. Be sure to change the definitions to match your own setup. Some pins such as DIO2, DIO3, BUZZER
//may not be in used by this sketch so they do not need to be connected and should be included and be
//set to -1.

#define NSS 5 //select pin on LoRa device
#define SCK 18 //SCK on SPI3
#define MISO 19 //MISO on SPI3
#define MOSI 23 //MOSI on SPI3

#define NRESET 27 //reset pin on LoRa device
#define RFBUSY 25 //busy line

#define LED1 -1 //on board LED, high for on
#define DIO1 35 //DIO1 pin on LoRa device, used for RX and TX done
#define DIO2 -1 //DIO2 pin on LoRa device, normally not used so set to -1
#define DIO3 -1 //DIO3 pin on LoRa device, normally not used so set to -1
#define RX_EN -1 //pin for RX enable, used on some SX128X devices, set to -1 if not
used
#define TX_EN -1 //pin for TX enable, used on some SX128X devices, set to -1 if not
used
#define BUZZER -1 //pin for buzzer, set to -1 if not used
#define VCCPOWER 14 //pin controls power to external devices

#define LORA_DEVICE DEVICE_SX1280 //we need to define the device we are using

//***** Configuración de los parámetros de LORA! *****

//LoRa Modem Parameters
const uint32_t Frequency = 2437000000; //frequency of transmissions
const int32_t Offset = 0; //offset frequency for calibration purposes
const uint8_t Bandwidth = LORA_BW_0200; //LoRa bandwidth
const uint8_t SpreadingFactor = LORA_SF7; //LoRa spreading factor
const uint8_t CodeRate = LORA_CR_4_5; //LoRa coding rate
const int8_t TXpower = 12; //LoRa transmit power in dBm
const uint16_t packet_delay = 500; //mS delay between packets
#define RXBUFFER_SIZE 32 //RX buffer size
```

Programación Receptor/Centro

```
#define Program_Version "V1.1" //Versión del programa

#include <SPI.h> //Librería para comunicación SPI
#include <SX128XLT.h> //Librería para el uso del módulo LORA
#include "Settings.h" //Librería de configuraciones del módulo LORA
```

```

SX128XLT LT; //Crear archivo LT del mdoular LORA

uint32_t RXpacketCount; //Variables para el contador de recepción LORA
uint32_t errors; //Variables para los errores de recepción LORA
uint8_t RXBUFFER[RXBUFFER_SIZE]; //Variable para la recepción de LORA
uint8_t RXPacketL; //Variable para la longitud del paquete
int16_t PacketRSSI; //Variable para el RSSI del paquete
int8_t PacketSNR; //Variable para el NSR del paquete

void loop()
{

  RXPacketL = LT.receive(RXBUFFER, RXBUFFER_SIZE, 60000, WAIT_RX); //Tiempo de espera
de 60 segundos para recibir paquete
  digitalWrite(LED1, HIGH); //Encendido del led al inicial programa
  if (BUZZER > 0) //Lectura de los caracteres del paquete
  {
    digitalWrite(BUZZER, HIGH);
  }
  PacketRSSI = LT.readPacketRSSI(); //Leer el valor RSSI recibido
  PacketSNR = LT.readPacketSNR(); //Leer el valor SNR recibido
  if (RXPacketL == 0) //Comparativo para ver el estado del paquete
  {
    packet_is_Error(); //Función si el paquete llega incorrectamente
  }
  else
  {
    packet_is_OK(); //Función si el paquete llega correctamente
  }
  if (BUZZER > 0)
  {
    digitalWrite(BUZZER, LOW); //Buzzer apagado
  }

  digitalWrite(LED1, LOW); //LED apagado
  Serial.println();
}

void packet_is_OK()
{
  uint16_t IRQStatus, localCRC; //Lectura variables IRQ
  IRQStatus = LT.readIrqStatus(); //Lectura variable IRQ recibida
  RXpacketCount++; //Contador de paquetes recibidos
  //printElapsedTime(); //Imprimir periodo de recepción
  Serial.print(__DATE__); //Imprimir fecha
  Serial.print(F(", ")); //Imprimir símbolo separador
  LT.printASCIIPacket(RXBUFFER, RXPacketL); //Lectura de parámetros ASCII
  localCRC = LT.CRCCCITT(RXBUFFER, RXPacketL, 0xFFFF); //Calculo de CRC
  Serial.print(RXpacketCount); //Imprimir cantidad de paquetes recibidos
  Serial.print(", "); //Imprimir símbolo separador
  Serial.print(errors); //Imprimir cantidad de errores
}

```

```

void packet_is_Error()
{
  uint16_t IRQStatus;
  IRQStatus = LT.readIrqStatus();           //Lectura de la IRQ del dispositivo LORA

  //printElapsedTime();                    //Imprimir el fuera de tiempo

  if (IRQStatus & IRQ_RX_TIMEOUT)         //Revisar el fuera de tiempo de recepción
  {
    //Serial.print(F(" RXTimeout"));      //Imprimir el fuera de tiempo
  }
  else
  {
    errors++;                             //Contador de errores
    Serial.print(__DATE__);               //Imprimir fecha
    Serial.print(",");                   //Imprimir símbolo separador
    Serial.print(F(" Error"));           //Imprimir error
    Serial.print(",");                   //Imprimir símbolo separador
    Serial.print(RXpacketCount);         //imprimir contador de paquetes recibidos
    Serial.print(",");                   //Imprimir símbolo separador
    Serial.println(errors);              //imprimir contador de errores
  }
  delay(250);                             //Tiempo de espera
}

void printElapsedTime()
{
  float seconds;                          //Función del tiempo de ratrado de recepción
  seconds = millis() / 1000;
}

void led_Flash(uint16_t flashes, uint16_t delaymS) //Función para encendido de led
{
  uint16_t index;

  for (index = 1; index <= flashes; index++)
  {
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    delay(delaymS);
    digitalWrite(LED1, LOW);
    delay(delaymS);
  }
}

void setup()
{
  pinMode(LED1, OUTPUT);                  //Inicializar el led indicador
  led_Flash(2, 125);                     //Dos encendidos indica el inicio del sistema

  Serial.begin(9600);                    //Inicializar el serial
  Serial.print("FECHA");                  //Imprimir título Fecha
  Serial.print(",");                      //Imprimir símbolo separador
  Serial.print("MENSAJE");                //Imprimir título Mensaje
  Serial.print(",");                      //Imprimir símbolo separador
  Serial.println("ENVIADOS");             //Imprimir título Enviados
}

```



```

if (BUZZER > 0) //Comparador de encendido y apagado de buzzer
{
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER, HIGH);
  delay(50);
  digitalWrite(BUZZER, LOW);
}

SPI.begin();

//Configuraciones del dispositivo LORA
if (LT.begin(NSS, NRESET, RFBUSY, DIO1, DIO2, DIO3, RX_EN, TX_EN, LORA_DEVICE))
{
  led_Flash(2, 125); //Dos parpadeos si el equipo comienza a funcionar
  delay(1000); //Tiempo de reposo entre funciones
}
else
{
  Serial.println(F("No Responde")); //Mensaje de no responde
  while (1)
  {
    led_Flash(50, 50); //Encendido muy rápido del led en fallos
  }
}

//Configuración del dispositivo LORA

LT.setMode(MODE_STDBY_RC); //Establecer modo de transmisión
LT.setRegulatorMode(USE_LDO); //Establecer regulador
LT.setPacketType(PACKET_TYPE_LORA); //Establecer tipo de paquete
LT.setRfFrequency(Frequency, Offset); //Establecer frecuencia y destiempo
LT.setBufferBaseAddress(0, 0); //Establecer dirección
LT.setModulationParams(SpreadingFactor, Bandwidth, CodeRate); //Establecer parámetros de
modulación
LT.setPacketParams(12, LORA_PACKET_VARIABLE_LENGTH, 255, LORA_CRC_ON,
LORA_IQ_NORMAL, 0, 0); //Establecer parámetros de transmisión
LT.setDioIrqParams(IRQ_RADIO_ALL, (IRQ_TX_DONE + IRQ_RX_TX_TIMEOUT), 0, 0);

```

Programación Transmisor

```
#define Program_Version "V1.1" //Versión del programa

#include <SPI.h> //Librería para comunicación SPI
#include <SX128XLT.h> //Librería para el uso del módulo LORA
#include "Settings.h" //Librería de configuraciones del módulo LORA

SX128XLT LT; //Crear archivo LT del módulo LORA

uint8_t TXPacketL; //Variables para configuraciones del módulo LORA
uint32_t TXPacketCount, startmS, endmS; //Variables para configuraciones del módulo LORA
uint8_t buff[] = ("ESTACION 1"); //Variable del paquete de transmisión

void loop()
{
  Serial.print(__DATE__); //Impresión de la Fecha
  Serial.print(","); //Impresión del símbolo separador
  Serial.flush();
  TXPacketL = sizeof(buff); //Longitud del paquete de transmisión
  buff[TXPacketL - 1] = ','; //Símbolo al final del paquete de transmisión
  LT.printASCIIPacket(buff, TXPacketL); //Imprimir paquete de transmisión en ASCII
  digitalWrite(LED1, HIGH); //Encender led al transmitir
  startmS = millis(); //Empieza el tiempo de transmisión
  if (LT.transmit(buff, TXPacketL, 10000, TXpower, WAIT_TX)) //Condiciones de envío
  {
    endmS = millis(); //Tiempo de paquete de transmisión
    TXPacketCount++; //Contador de paquetes de transmisión
    packet_is_OK(); //Función para un envío correcto
  }
  else
  {
    packet_is_Error(); //Función de fallo de transmisión del paquete
  }
}
```

```

    digitalWrite(LED1, LOW);                //Apagar led al transmitir
    delay(packet_delay);                    //Tiempo de retraso entre transmisiones
}

void packet_is_OK()
{
    //Si el paquete se transmitió correctamente, OK
    uint16_t localCRC;                       //Variable de condiciones de transmisión
    localCRC = LT.CRCCCITT(buff, TXPacketL, 0xFFFF); //Condiciones de transmisión
    Serial.println(TXPacketCount);           //Imprimir total de paquetes transmitidos
}

void packet_is_Error()
{
    //Si el paquete de transmisión falló
    uint16_t IRQStatus;                       //Condiciones de transmisión
    IRQStatus = LT.readIrqStatus();           //Revisión del fallo de la transmisión
    Serial.print(__DATE__);                   //Imprimir la fecha
    Serial.print(",");                         //Imprimir simbolo separador
    Serial.print(F(" Error,"));              //Imprimir mensaje de error
    Serial.print(",");                         //Imprimir simbolo separador
    Serial.println(TXPacketCount);           //Imprimir número de transmisiones
}

void led_Flash(uint16_t flashes, uint16_t delaymS) //Función de activación de led (parpadea indicando
la conexión)
{
    uint16_t index;
    for (index = 1; index <= flashes; index++)
    {
        digitalWrite(LED1, HIGH);
        delay(delaymS);
        digitalWrite(LED1, LOW);
        delay(delaymS);
    }
}

void setup()

```

```

{
pinMode(LED1, OUTPUT);           //Inicializar el led indicador
led_Flash(2, 125);              //Dos encendidos indica el inicio del sistema

Serial.begin(9600);             //Inicializar el serial
Serial.print("FECHA");          //Imprimir título Fecha
Serial.print(",");              //Imprimir símbolo separador
Serial.print("MENSAJE");       //Imprimir título Mensaje
Serial.print(",");              //Imprimir símbolo separador
Serial.println("ENVIADOS");     //Imprimir título Enviados
SPI.begin();                    //Inicializar la comunicación SPI

//Configuraciones del dispositivo LORA
if (LT.begin(NSS, NRESET, RFBUSY, DIO1, DIO2, DIO3, RX_EN, TX_EN, LORA_DEVICE))
{
led_Flash(2, 125);              //Dos parpadeos si el equipo comienza a funcionar
delay(1000);                    //Tiempo de reposo entre funciones
}
else
{
Serial.println(F("No Responde")); //Mensaje de no responde
while (1)
{
led_Flash(50, 50);             //Endendido muy rápido del led en fallos
}
}

//Configuraciones del dispositivo LORA
LT.setMode(MODE_STDBY_RC);      //Establecer modo de
transmisión
LT.setRegulatorMode(USE_LDO);   //Establecer regulador
LT.setPacketType(PACKET_TYPE_LORA); //Establecer tipo de
paquete
LT.setRfFrequency(Frequency, Offset); //Establecer frecuencia y
destiempo

```

```
LT.setBufferBaseAddress(0, 0); //Establecer dirección

LT.setModulationParams(SpreadingFactor, Bandwidth, CodeRate); //Establecer
parámetros de modulación

LT.setPacketParams(12, LORA_PACKET_VARIABLE_LENGTH, 255, LORA_CRC_ON,
LORA_IQ_NORMAL, 0, 0); //Establecer parámetros de transmisión

LT.setDioIrqParams(IRQ_RADIO_ALL, (IRQ_TX_DONE + IRQ_RX_TX_TIMEOUT), 0, 0);
```

Anexo 3: Manual Técnico

MANUAL TÉCNICO

A continuación, se presenta el manual técnico enfocado a ambas tecnologías de redes inalámbricas, para su fácil desarrollo y replicabilidad de una manera fácil y rápida. Además, con sus características técnicas comerciales y para un mejor entendimiento de su aplicabilidad al IIoT o industria 4.0.

IEEE 802.11 ax

La tecnología inalámbrica IEEE 802.11 ax o comercialmente conocida como WiFi6 aplicada a la industria presenta las siguientes características para su uso y aplicabilidad.

Costos aproximados de dispositivos

Los costos del se enfocan en los 3 dispositivos específicamente, los cuales son: Router Huawei 3AX, Raspberry Pi Compute 4 IO Board y Antena WiFi 6E AX210NGW DTK

Tabla 1
Costos aproximados de dispositivos (anexo)

Dispositivo	Costo
Raspberry Pi Compute 4 IO Board	\$60.00
Antena WiFi 6E AX210NGW DTK	\$45.00
Huawei 3AX	\$79.99

Nota. Costos de dispositivos

Es decir que, para cada nodo se invertirá un valor de \$105.00 dólares americanos, mientras que para el despliegue de la red tendrá un valor de \$79.99 dólares americanos.

Características técnicas y comerciales

Se presentan las características comerciales del router, y además del nodo ya implementado:

Tabla 2
Características y técnicas comerciales (anexo)

Dispositivo	Características
Router Huawei	Dimensiones y peso 225mm x 159.2mm x 39.7mm 403 g Interfaces WAN: 1 Ethernet 10/100/1000 Mbps LAN: 3 Ethernet 10/100/1000 Mbps Seguridad WPA3, firewall, DMZ, PAP/CHAP Conexiones inalámbricas 802.11 ax/ac/n/a 2x2 y MIMO Frecuencias 2.4GHz y 5GHz Procesador Gigahome Quad-core 1.4GHz Cobertura 20 metros optima
Dispositivo	Características
Nodo/Estación	Puertos HDMI Interfaces Ethernet PoE WLAN 802.11 b/g/n/ac Puertos 2 HDMI, 2 puertos USB2 Soporte Procesador Gigahome Quad-core 1.4GHz Cobertura 20 metros optima

Nota. Router Huawei y Nodo/Estación

Configuraciones realizadas

Las configuraciones realizadas dependen del usuario o destino, pues la única configuración realizable es la instalación de los sistemas operativos RaspberryOS el cual se puede conseguir mediante la página web oficial: [Operating system images – Raspberry Pi](#). Además, de la descarga e instalación del controlador correspondiente para la antena

WiFi E6 AX210NGW DTK la cual se puede descargar del siguiente enlace: [Intel® Wi-Fi 6E AX210](#) perteneciendo a la página web de soporte de INTEL.

Aplicabilidad IIoT

La aplicabilidad de IoT enfocado a la industria depende del tipo de sensores a utilizar, pues el Raspberry Pi Compute 4 IO Board posee una cantidad de 40 pines los cuales pueden ser utilizados para la colocación de sensores analógicos y digitales dependiendo su uso, a continuación, se presenta una imagen en la cual de acuerdo con los requerimientos podrán ser utilizados que podría cada estación albergar más de 10 sensores.

802.15.4 LoRa

La tecnología inalámbrica IEEE 802.15.4 o comercialmente conocida para este caso como LoRa aplicada a la industria presenta las siguientes características para su uso y aplicabilidad.

Costos aproximados de dispositivos

Para los costos aproximados se debe tomar en cuenta que la conformación de estos dispositivos es de, un microcontrolador esp32 wroom, transductor sx1280 y antena genérica 2.4GHz, teniendo eso en cuenta los costos quedarían de la siguiente manera:

Tabla 3
Costos aproximados de dispositivos (anexo)

Dispositivo	Costo
ESP32 Wroom	\$7.00
Modulo SX1280	\$7.00
Antena WiFi 2.4 GHz	\$4.00

Nota. ESP32 Wroom, Modulo SX1280 y Antena WiFi 2.4 GHz

Con ello en cuenta se puede hacer mención que la creación de cada nodo incluso del generador de red es de \$18.00 dólares americanos.

Características técnicas y comerciales

Se presentan las características el nodo, pues tanto el transmisor como receptor manejan el mismo performance:

Tabla 4
Características técnicas y comerciales (anexo)

Dispositivo	Características
Nodo LoRa	Dimensiones 40mm x 105mm x 36mm Interfaces Puerto micro USB RP-SMA IPX IPEX U. FL Conexión inalámbrica LoRa 2.4GHz Cobertura 500 m estable línea de vista Procesador Dual Core Tensilica LX6 Memoria Flash 4MB

Nota. Nodo LoRa

Configuraciones realizadas

Las configuraciones realizadas son basadas únicamente en la programación realizada en ARDUINO IDE, lo cual permitió el desarrollo de un programa adecuado para la transmisión de datos. El script base que se utilizó para el levantamiento de la red y correcto funcionamiento de envío y recepción de datos se encuentra en el ANEXO 2, mientras que si se desea desarrollar aplicaciones enfocadas a IoT más específicas se puede tomar como base el GitHub del desarrollador del transductor sx1280:

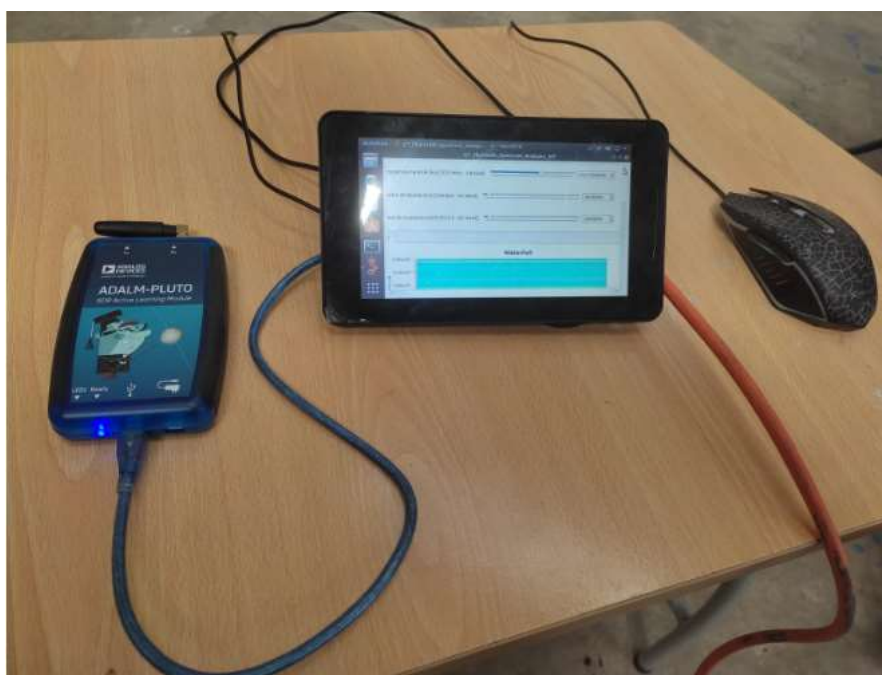
Aplicabilidad IIoT

Los nodos únicamente están diseñados para soportar un máximo de 3 sensores por su capacidad de procesamiento, pero hay que tomar en cuenta que parte de ese procesamiento está destinado al despliegue de red, envío y recepción de datos, cada uno podría albergar un máximo de 2 sensores, mientras, el nodo central solo puede recibir información de 5 nodos, es decir 10 sensores.

Anexo 4: Registro de pruebas



Fotografía: Planta Textil UTN



Fotografía: Análisis de espectro electromagnético

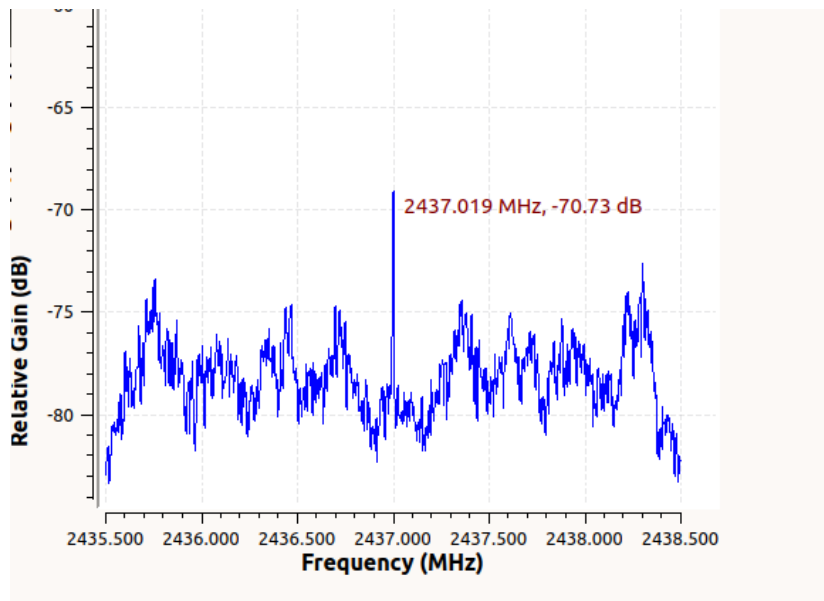


Fotografía: Despliegue de red WiFi6

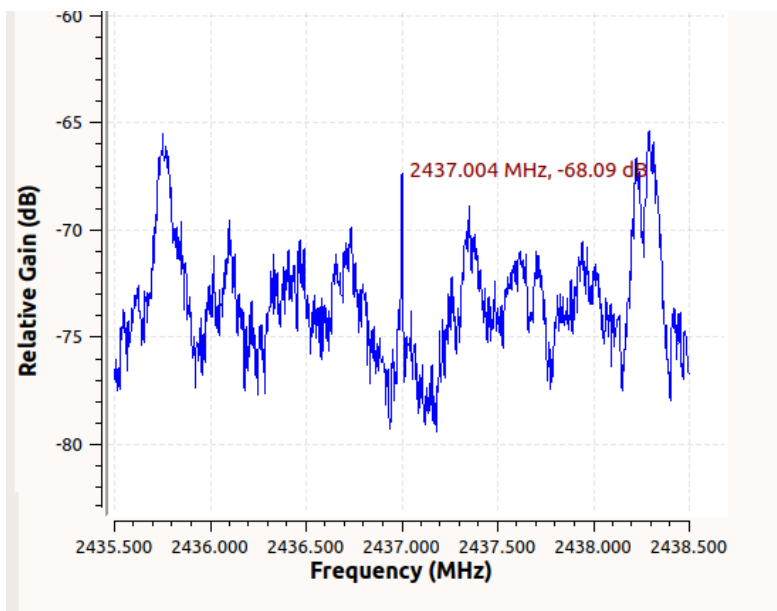


Fotografía: Despliegue de red LoRa

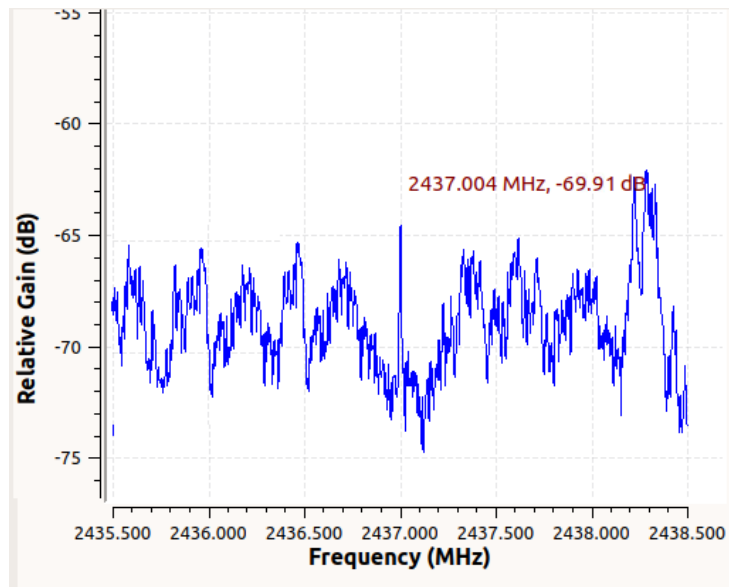
Resultados de Umbral de Canal Claro 802.11 ax con producción y sin producción



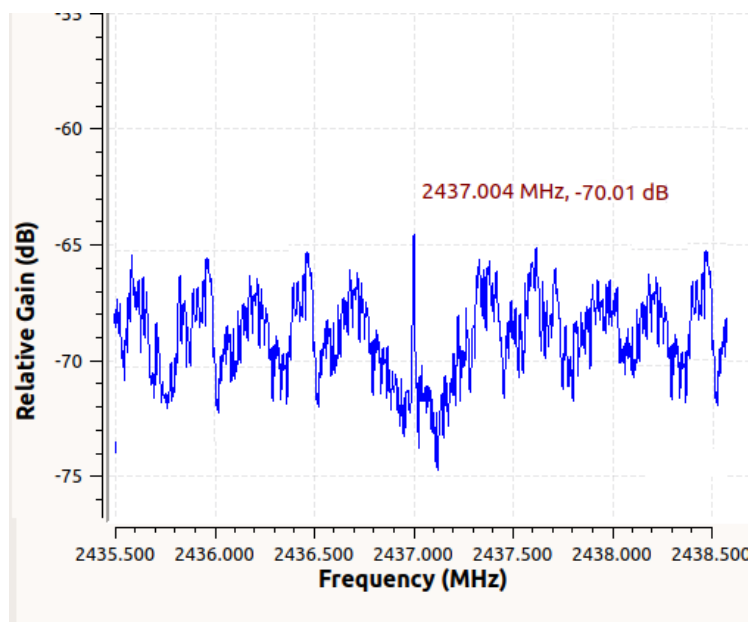
Prueba 1 con producción



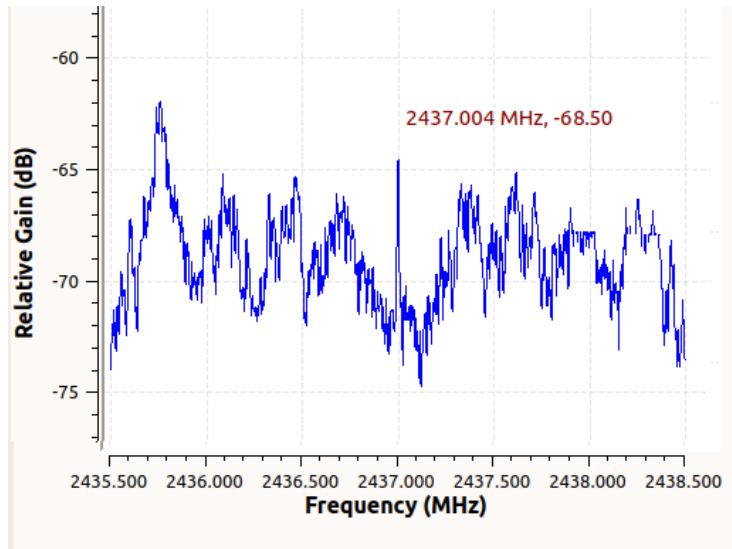
Prueba 1 sin producción



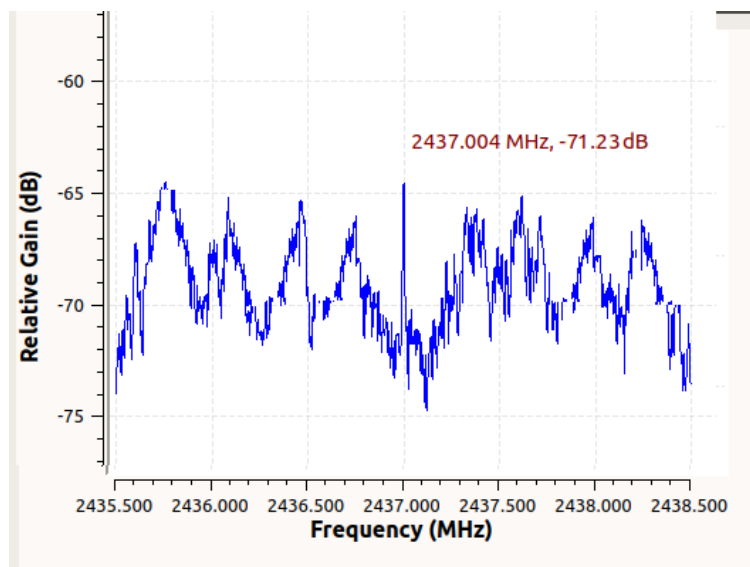
Prueba 2 con producción



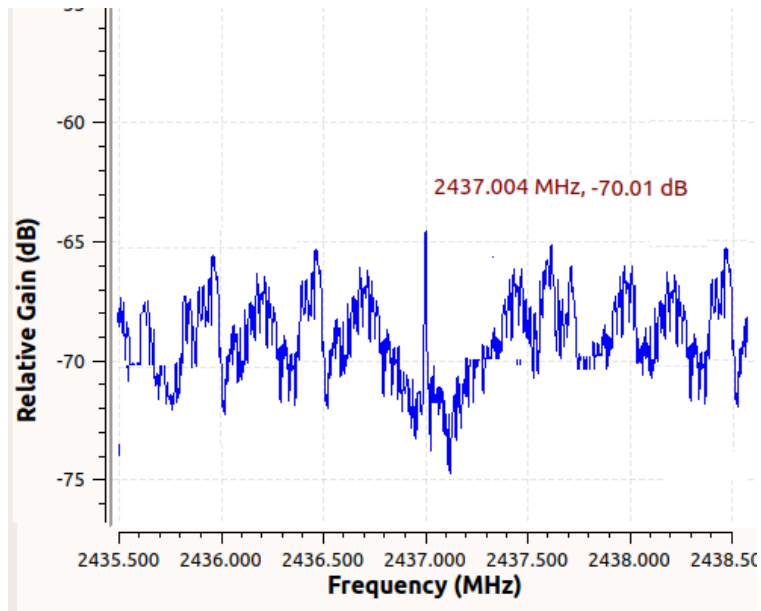
Prueba 2 sin producción



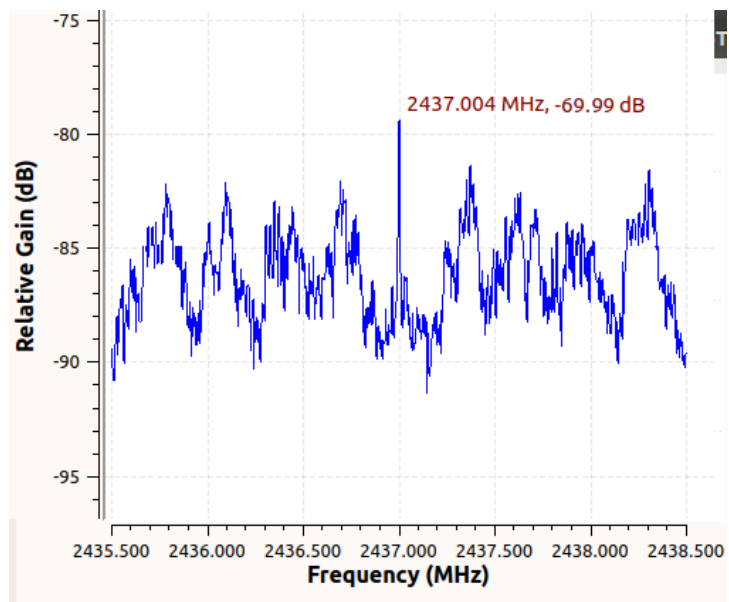
Prueba 3 con producción



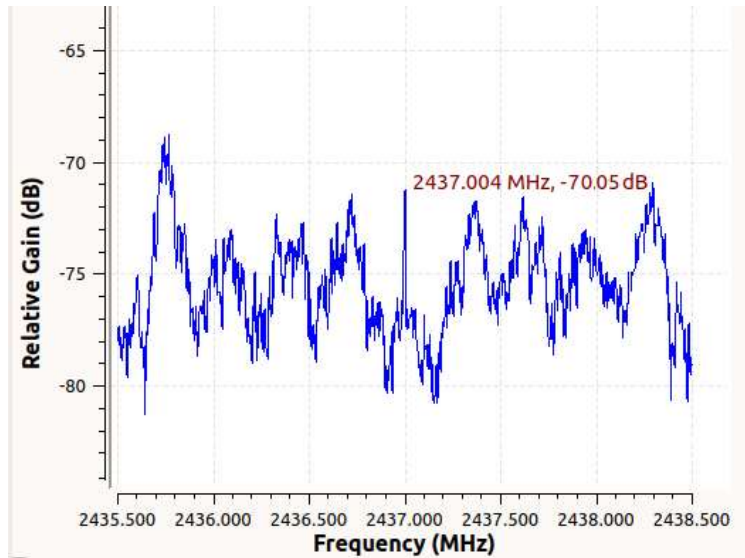
Prueba 3 sin producción



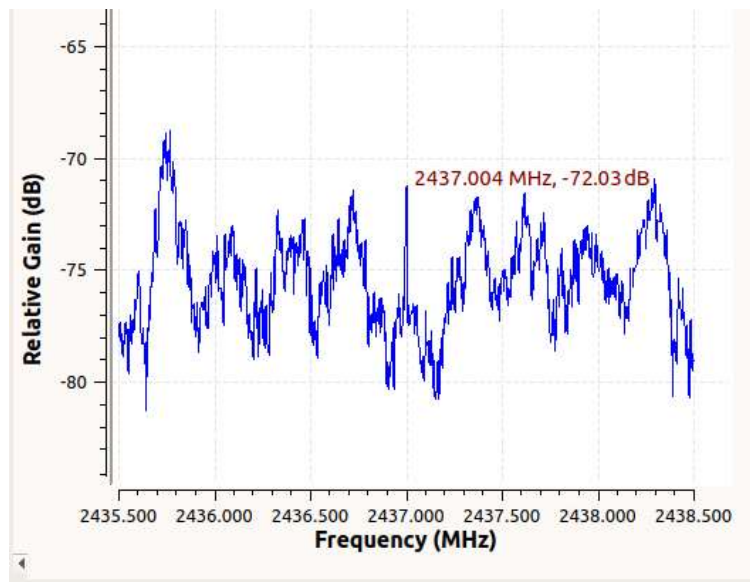
Prueba 4 con producción



Prueba 4 sin producción

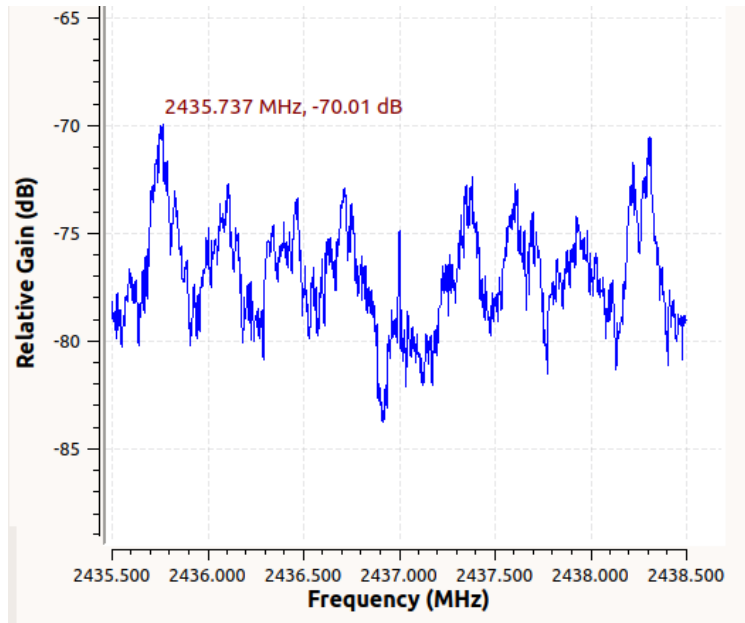


Prueba 5 con producción

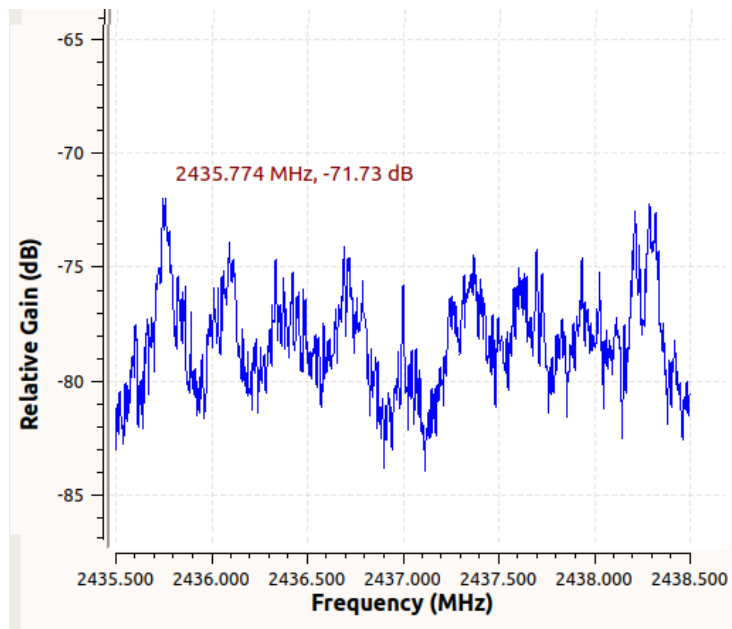


Prueba 5 sin producción

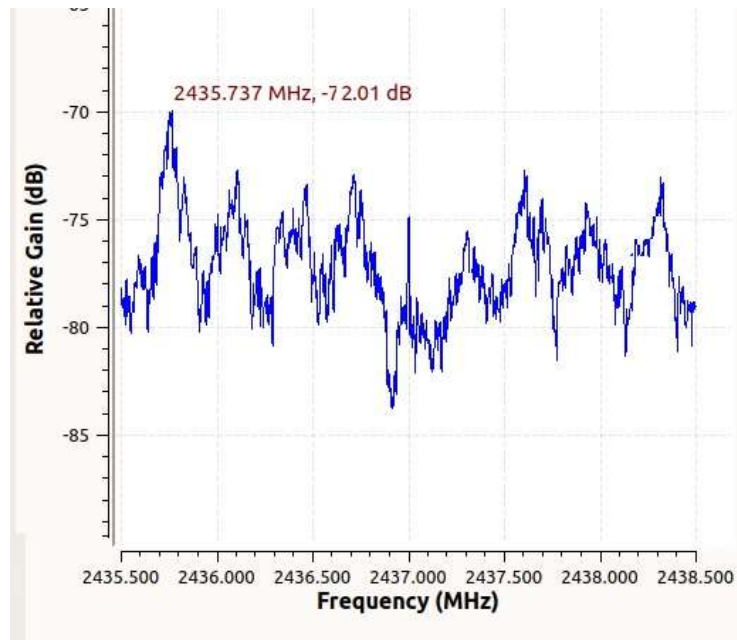
Potencia de transmisión 802.11 ax con producción y sin producción



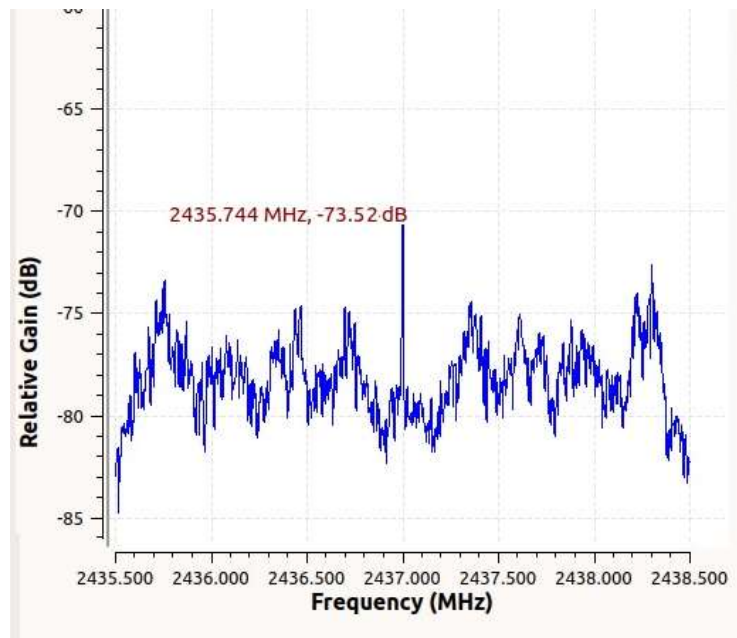
Prueba 1 con producción



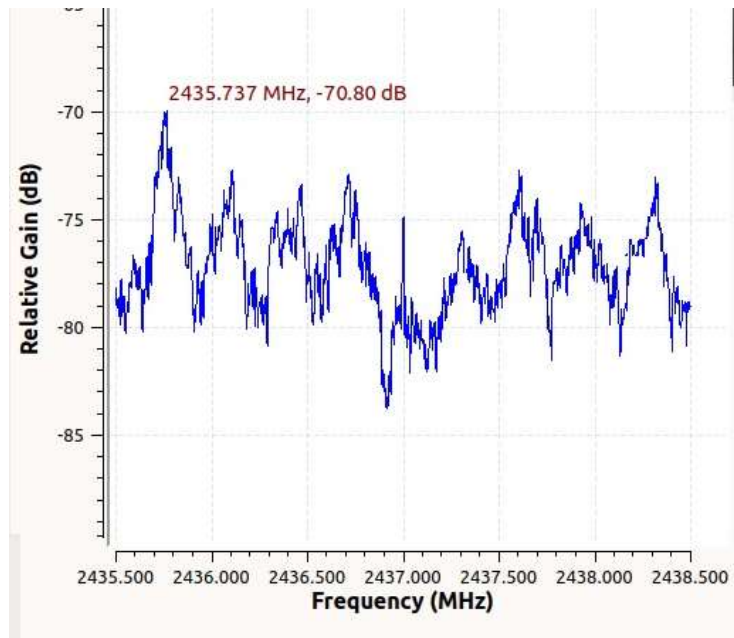
Prueba 1 sin producción



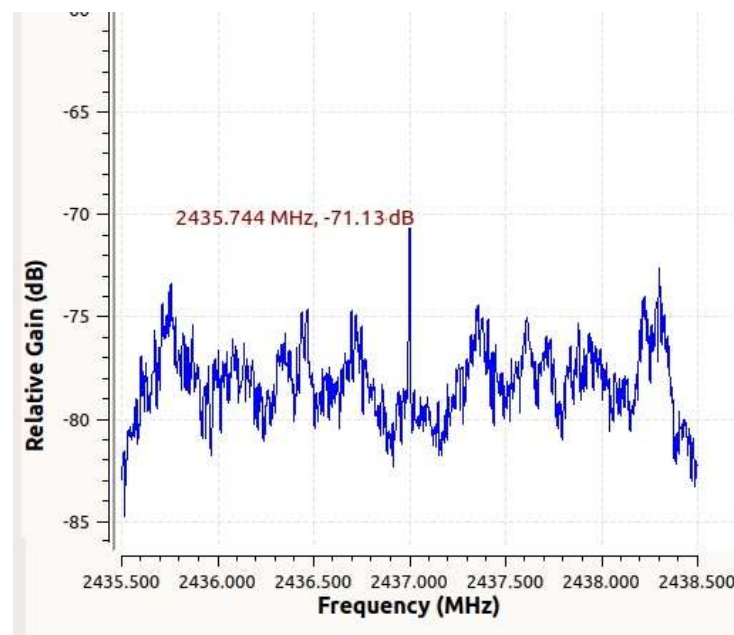
Prueba 2 con producción



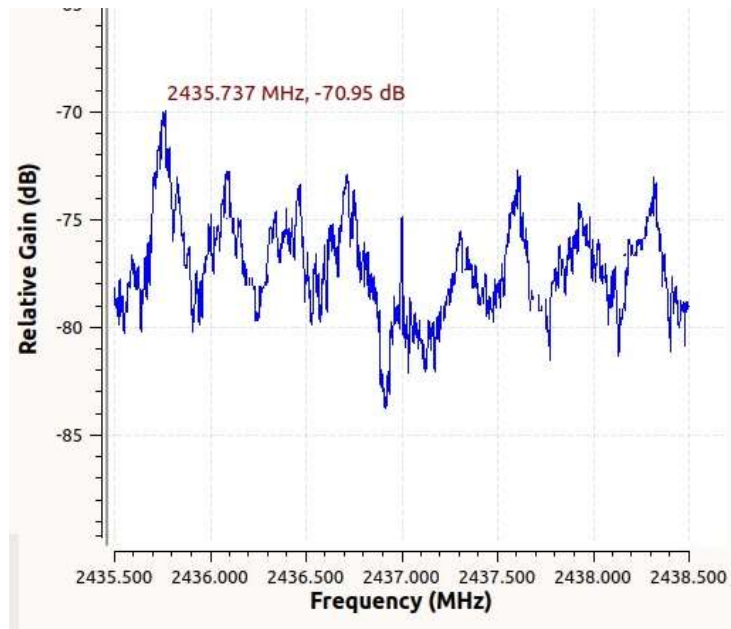
Prueba 2 sin producción



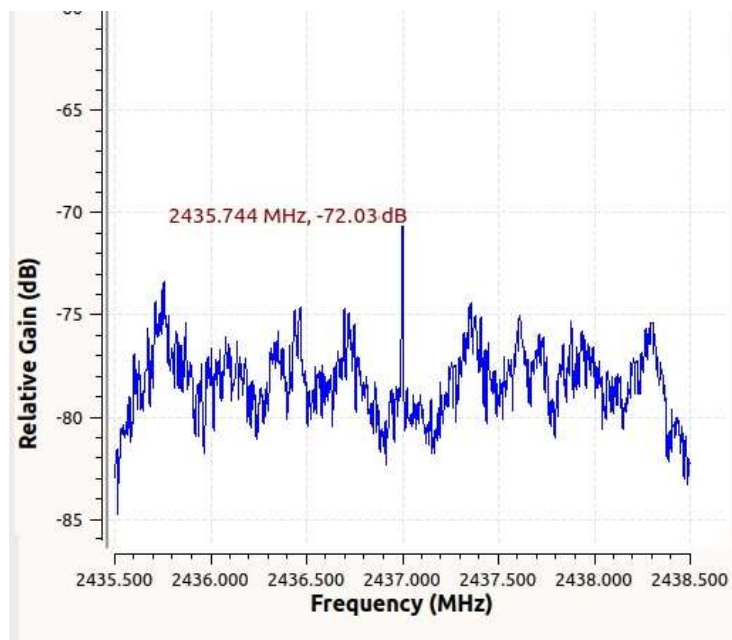
Prueba 3 con producción



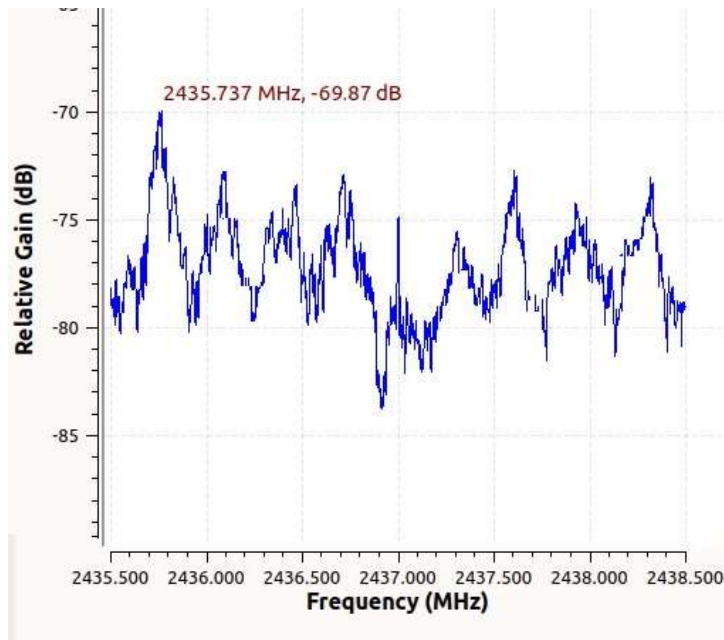
Prueba 3 sin producción



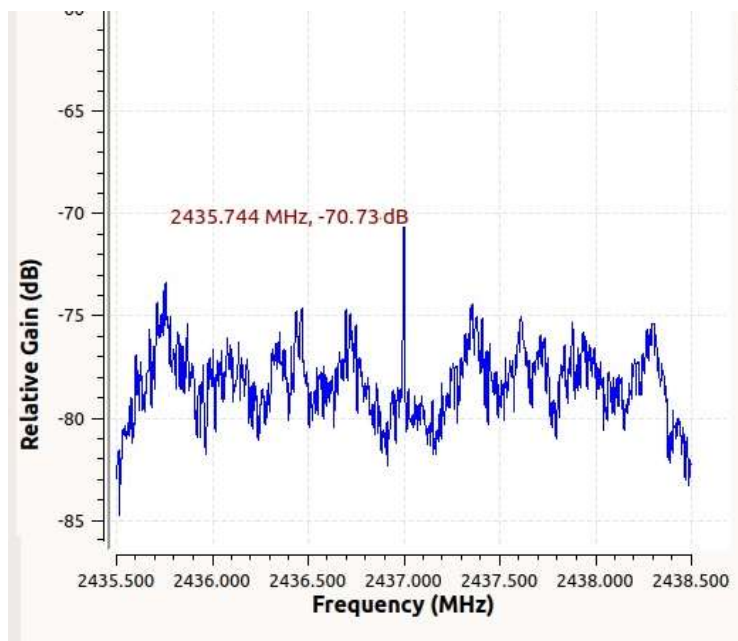
Prueba 4 con producción



Prueba 4 sin producción

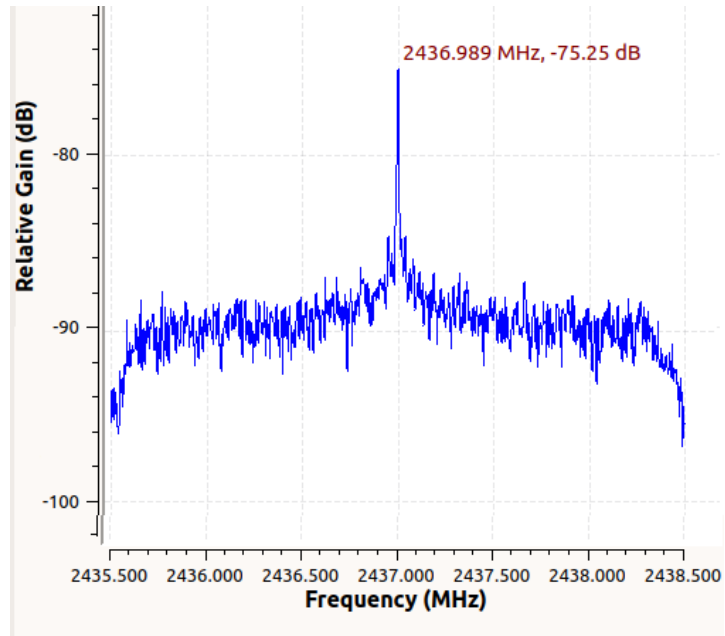


Prueba 5 con producción

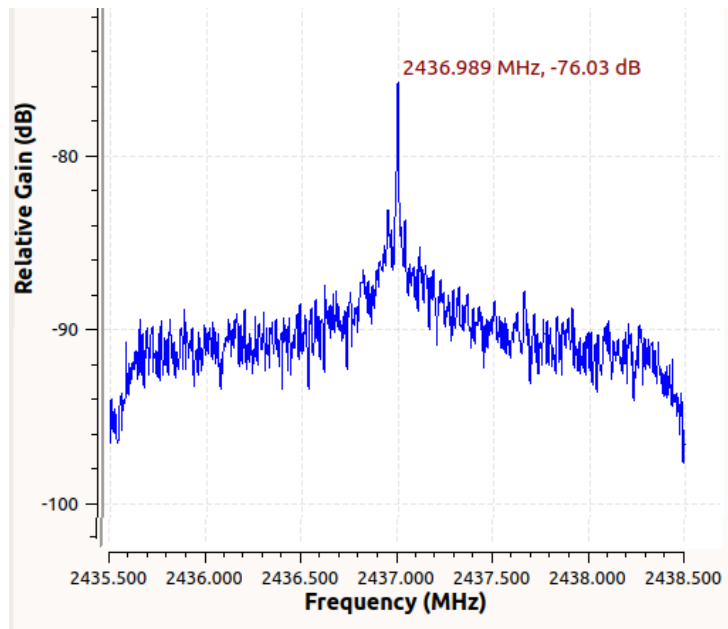


Prueba 5 sin producción

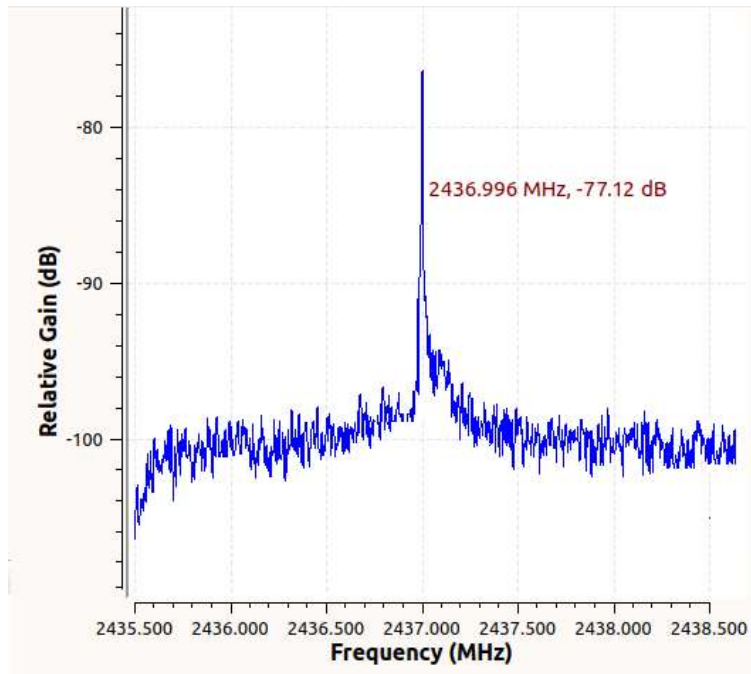
Umbral de Canal Claro 802.15.4 LoRa con producción y sin producción



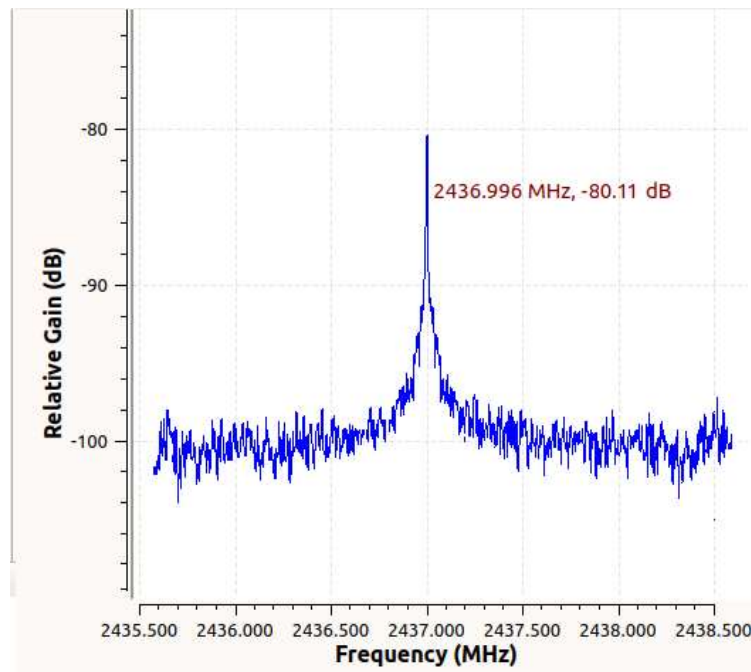
Prueba 1 con producción



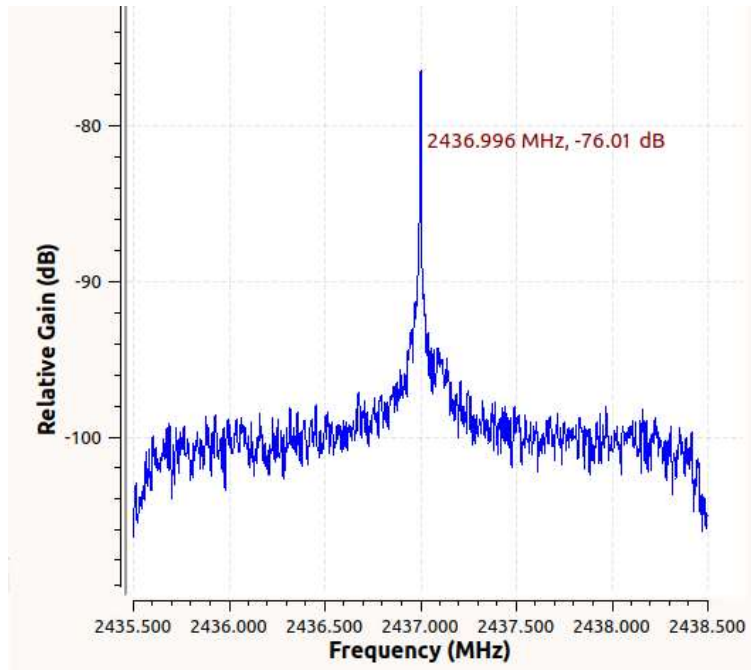
Prueba 1 sin producción



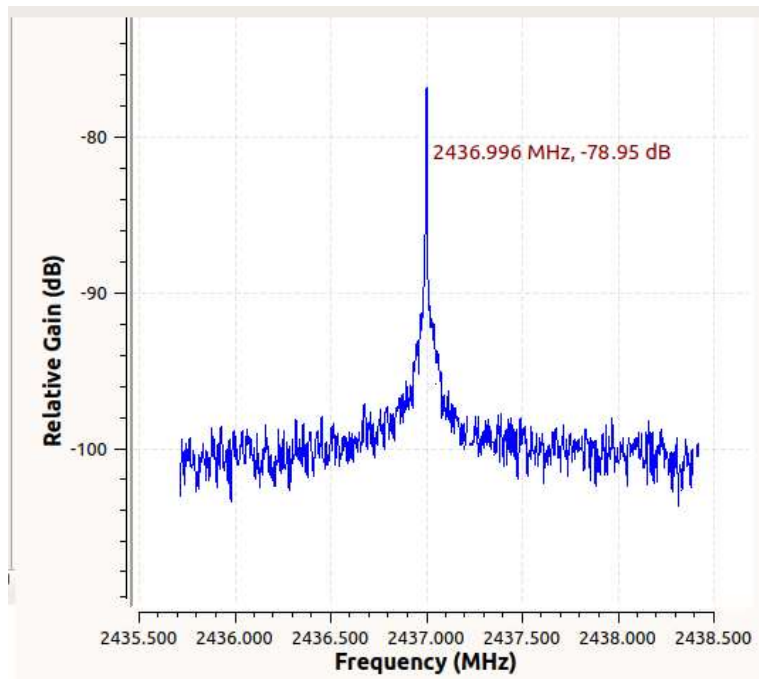
Prueba 2 con producción



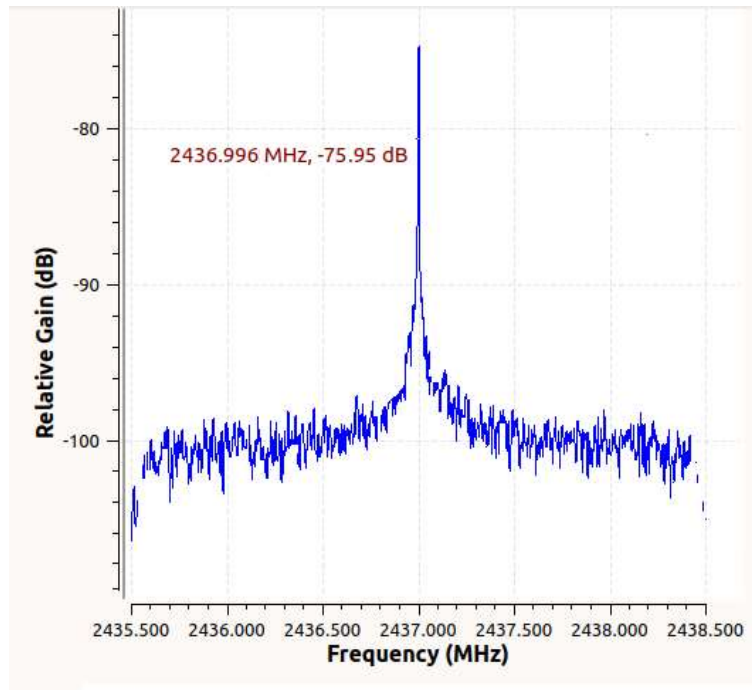
Prueba 2 sin producción



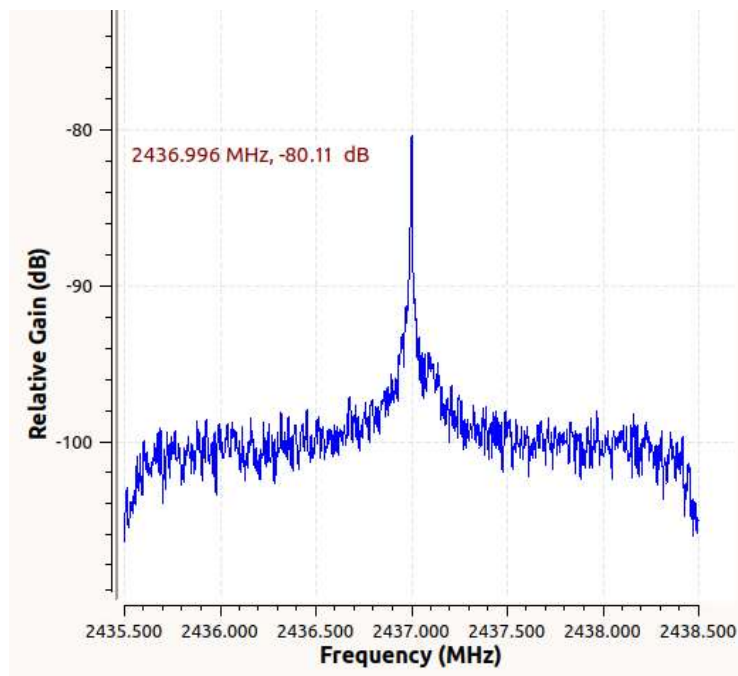
Prueba 3 con producción



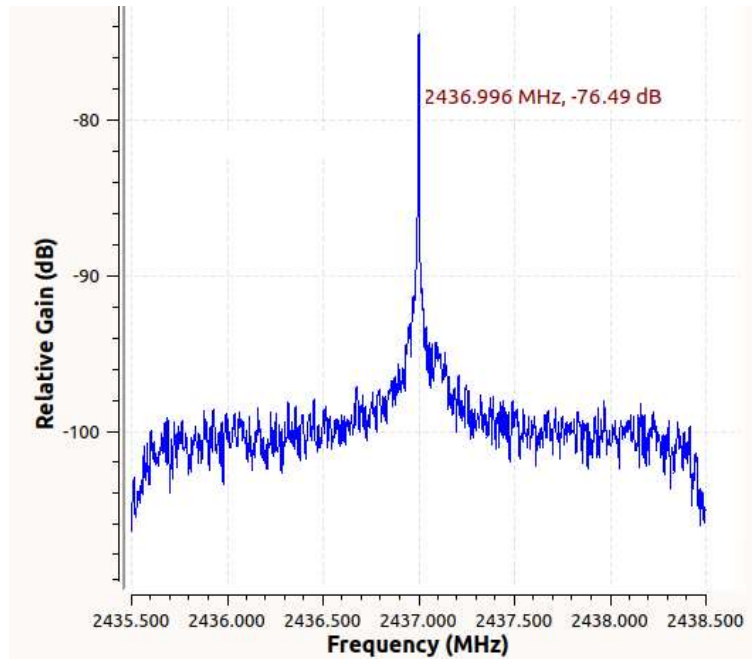
Prueba 3 sin producción



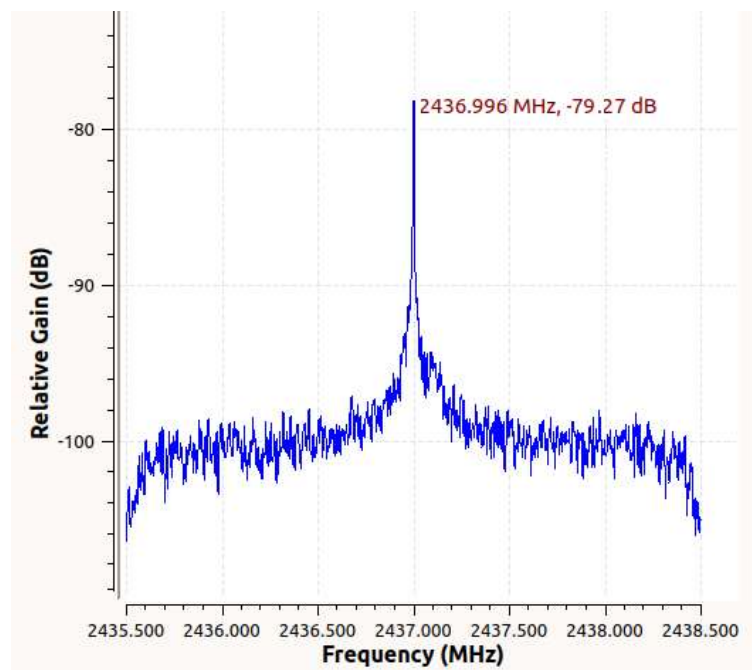
Prueba 4 con producción



Prueba 4 sin producción

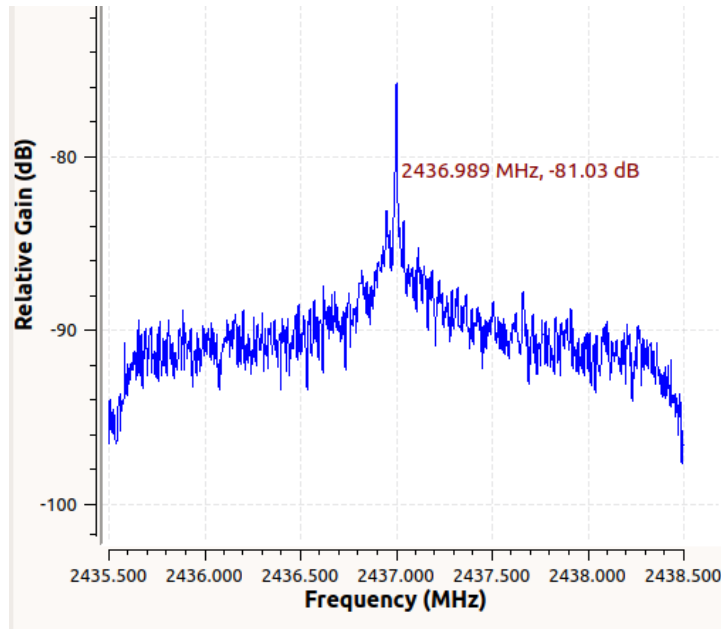


Prueba 5 con producción

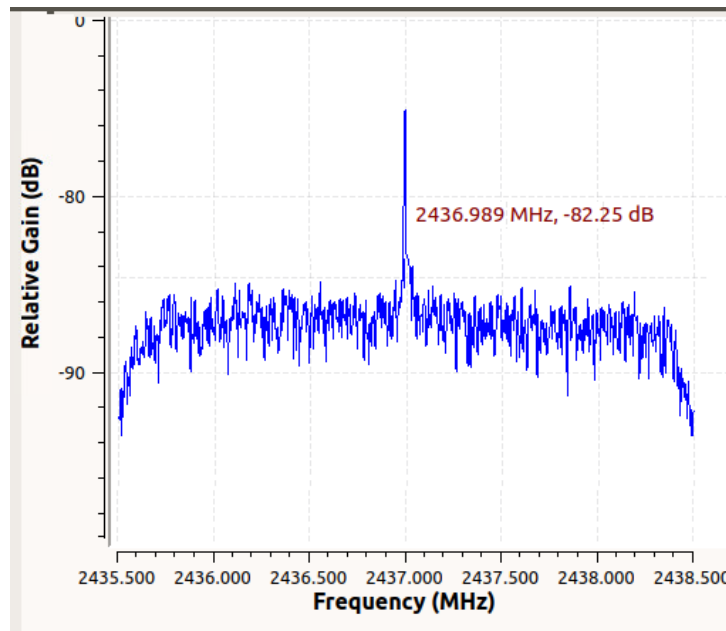


Prueba 5 sin producción

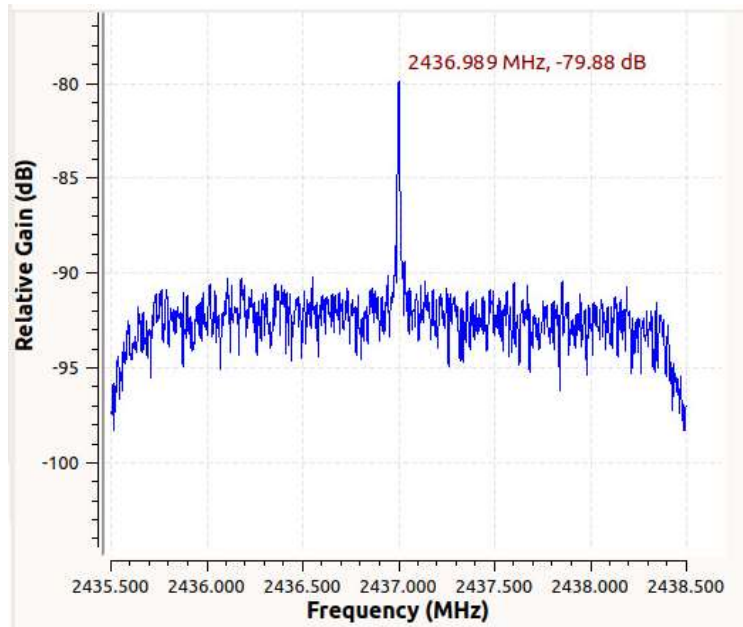
Potencia de transmisión 802.15.4 LoRa con producción y sin producción



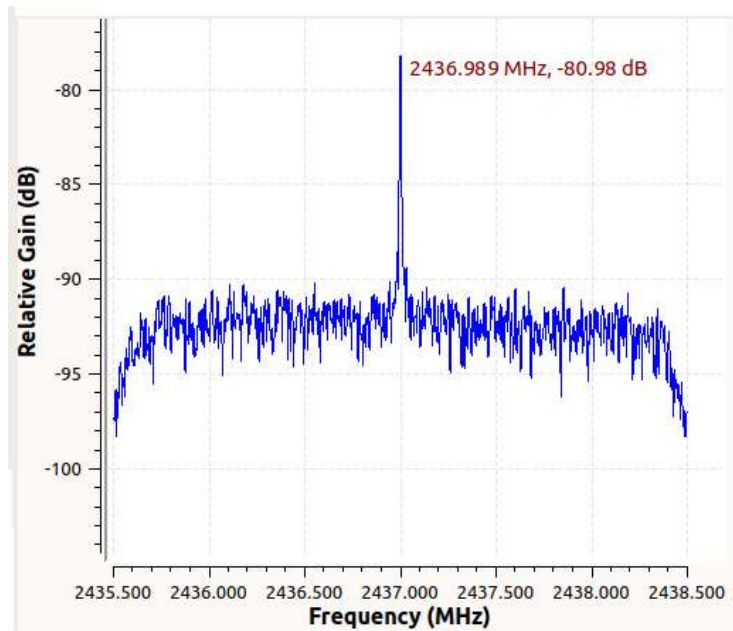
Prueba 1 con producción



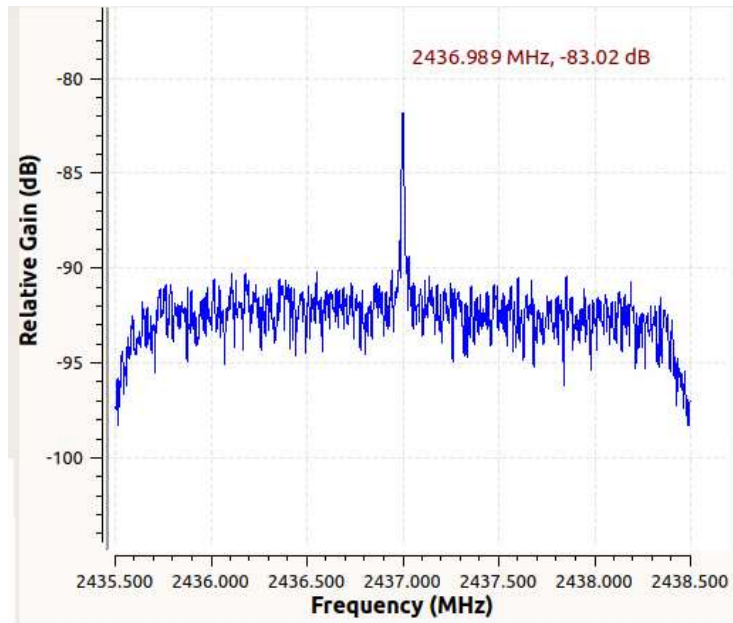
Prueba 1 sin producción



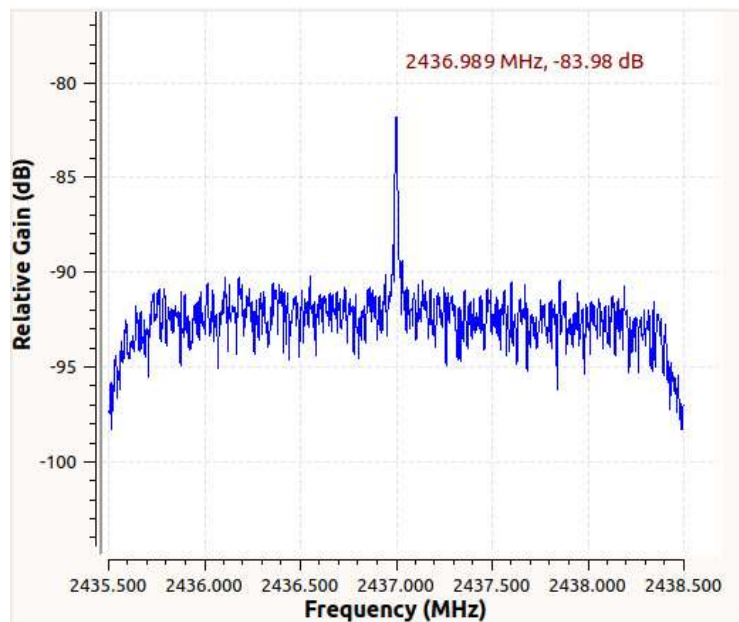
Prueba 2 con producción



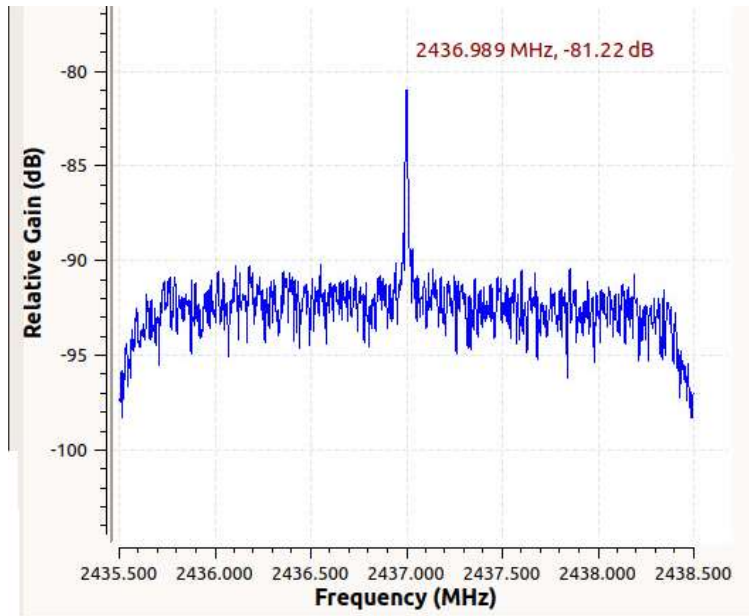
Prueba 2 sin producción



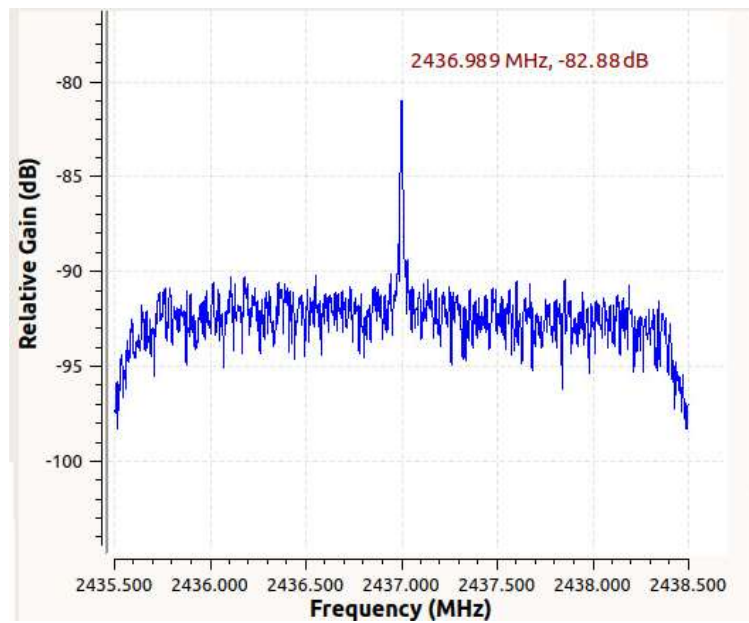
Prueba 3 con producción



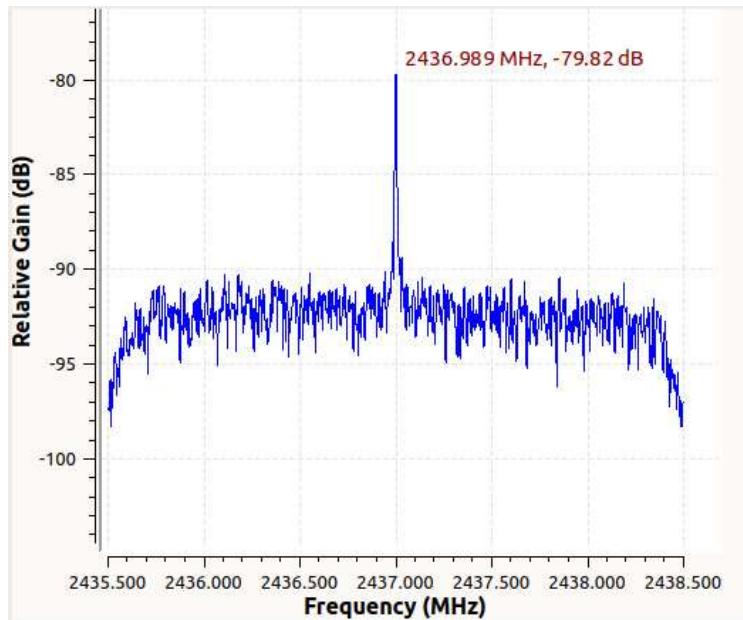
Prueba 3 sin producción



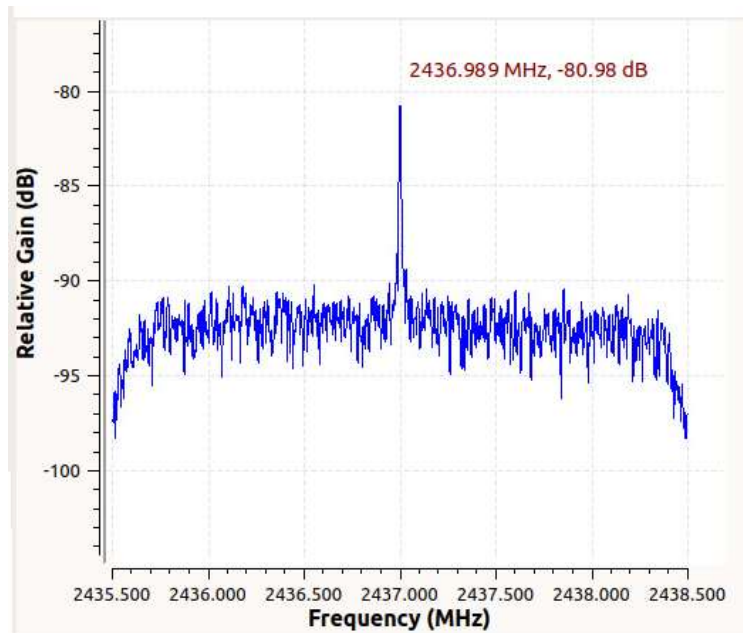
Prueba 4 con producción



Prueba 4 sin producción



Prueba 5 con producción



Prueba 5 sin producción

Enlaces de verificación de transmisión de datos LoRa

Producción

https://utneduec-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/bvmayam_utn_edu_ec/ESpTZdsxGcxHgjRB4gqIVRMBvZzcjvHoMXIy0rJ8VKqDXw?rttime=LmiypJ7u2kg

Sin Producción

https://utneduec-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/bvmayam_utn_edu_ec/ESpTZdsxGcxHgjRB4gqIVRMBvZzcjvHoMXIy0rJ8VKqDXw?e=rLxYhe