



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Estudio y Análisis del protocolo IEEE 802.11ah para el desarrollo del Internet  
de las cosas (IoT) en el sector industrial.**

AUTOR:

Crespo Nath, Eloy Fabricio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Ing. Romero Rosero, Carlos Bolívar

Guayaquil, Ecuador

2 de Marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Crespo Nath, Eloy Fabricio** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.**

TUTOR

---

Ing. Romero Rosero, Carlos Bolívar

DIRECTOR DE CARRERA

---

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 2 de marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Crespo Nath, Eloy Fabricio**

#### **DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación: “**Estudio y Análisis del protocolo IEEE 802.11ah para el desarrollo del Internet de las cosas (IoT) en el sector industrial**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 2 de marzo del 2020

EL AUTOR

---

CRESPO NATH, ELOY FABRICIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Crespo Nath, Eloy Fabricio**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Estudio y Análisis del protocolo IEEE 802.11ah para el desarrollo del Internet de las cosas (IoT) en el sector industrial.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 2 de marzo del 2020

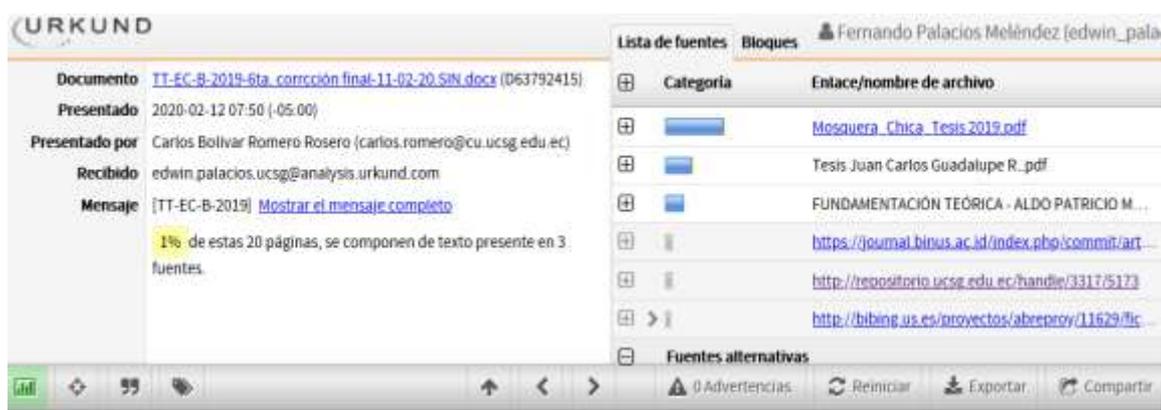
EL AUTOR

---

CRESPO NATH, ELOY FABRICIO

## REPORTE URKUND

Informe del Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, con 1 % de coincidencias perteneciente al estudiante, **CRESPO NATH, ELOY FABRICIO**.



The screenshot shows the URKUND interface. On the left, document details are displayed: Document ID TT-EC-B-2019-6ta\_corrección final-11-02-20\_SIN.docx (D63792415), presented on 2020-02-12 07:50 (-05:00) by Carlos Bolívar Romero Rosero (carlos.romero@cu.ucsg.edu.ec) to edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com. The message content indicates that 1% of the 20 pages consist of text present in 3 sources. On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is shown with columns for 'Categoria' and 'Enlace/nombre de archivo'. The sources listed include 'Mosquera Chica Tesis 2019.pdf', 'Tesis Juan Carlos Guadalupe R..pdf', 'FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA - ALDO PATRICIO M...', and three URLs from BINGUS and BINGUS repositories. At the bottom, there are navigation icons and a status bar showing '0 Advertencias' and options to 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Estudio y Análisis del protocolo IEEE 802.11ah para el desarrollo del Internet de las cosas (IoT) en el sector industrial.

AUTOR: Crespo Nath, Eloy Fabricio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Ing. Carlos Romero Rosero

Guayaquil, Ecuador

2 de Marzo del 2020 CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Atte.

Ing. Carlos Romero Rosero.

Profesor Titular Principal – Tutor.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar de manera muy especial la culminación de esta etapa de mi vida, a mis queridos padres, me han ayudado a seguir por el buen camino y han sabido sobrellevar en los buenos y malos momentos, que con mucho esfuerzo y dedicación dieron todo para mi bienestar y mi futuro, construyendo con valores y trabajo mi carácter, me formaron con honestidad y responsabilidad los cuales han sido un pilar muy importante.

Especialmente, dedico mi logro, a todas las personas que estuvieron a mi lado, que sin esperar nada a cambio compartieron sus esfuerzos, apoyo y alegrías.

EL AUTOR

---

CRESPO NATH, ELOY FABRICIO

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios, por guiarme por buen camino y la fortaleza para afrontar las adversidades que se me presentaron en el trayecto de mi proceso de convertirme en profesional.

A mis padres por depositar su confianza en mí y darme apoyo desde el inicio de mi carrera universitaria.

A mis amigos y a mis compañeros del Club Leo por brindarme su colaboración y consejos.

Agradecer a mi tutor del trabajo de titulación al Ing. Carlos Romero, por desempeñar con excelencia su labor como docente, llegando a compartir sus enseñanzas y consejos en la etapa de esta carrera.

EL AUTOR

---

CRESPO NATH ELOY FABRICIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
COORDINADOR DEL ÁREA

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. RUILOVA AGUIRRE, MARÍA LUZMILA**  
OPONENTE

## Índice General

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Antecedentes. ....	3
1.3 Definición del Problema.....	4
1.4 Justificación del Problema.....	4
1.5 Objetivos del Problema de Investigación.....	5
1.5.1 Objetivo General.....	5
1.5.2 Objetivos Específicos. ....	5
1.6 Hipótesis. ....	5
1.7 Metodología de Investigación.....	5
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1 Introducción al estándar 802.11 .....	6
2.2 Topología .....	6
2.3 Evolución del estándar IEEE 802.11 .....	8
2.3.1 IEEE 802.11b .....	8
2.3.2 IEEE 802.11a .....	9
2.3.3 IEEE 802.11g .....	11
2.3.4 IEEE 802.11n .....	11
2.3.5 IEEE 802.11ac.....	12
2.4 IEEE 802.11ah: Wi-Fi HaLow .....	13
2.4.1 Wi-Fi HaLow .....	14
2.4.2 Características.....	15
2.4.3 Capa PHY.....	15
2.4.4 Canalización .....	15
2.4.5 Modos de Transmisión.....	17
2.4.6 Capa MAC .....	18
2.4.7 Soporte a un gran número de estaciones .....	19
2.4.8 Ahorro de Energía .....	19
2.4.9 Canal de Acceso.....	19

2.4.10	Target Wake Time .....	20
2.4.11	Reutilización Espacial (BSS Coloring). .....	20
2.5	Internet de las Cosas (IoT) .....	21
2.5.1	Definición.....	22
2.5.2	Componentes IoT. ....	24
2.5.3	Características IoT.....	25
2.5.4	Evolución del IoT .....	27
2.5.5	Estructura de aplicaciones.....	28
2.5.6	Fase de recopilación de datos. ....	30
2.5.7	Fase de transmisión de datos.....	30
2.5.8	Fase de procesamiento, gestión y utilización.....	31
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....		32
3.1	Revisión bibliográficas del protocolo IEEE 802.11ah.....	32
3.1.1	Características del 802.11ah .....	32
3.1.2	Aplicaciones del estándar IEEE 802.11ah .....	33
3.1.3	Pruebas de ancho de banda según Yongho Seok .....	33
3.1.4	Evaluación de desempeño de los sistemas IEEE 802.11ah.....	34
3.2	Descripción de las aplicaciones de las IoT. ....	34
3.2.1	Aplicaciones de las IoT.....	35
3.2.2	Internet de las Cosas Industrial.....	36
3.2.3	Desafío de las IIoT.....	36
3.3	Wi-Fi HaLow impulsando el desarrollo de IoT. ....	36
3.3.1	Inconvenientes en el desarrollo de los dispositivos IoT.....	37
3.3.2	Funciones del Wi-Fi HaLow para el desarrollo de IoT en el sector industrial. ....	37
3.3.3	Características del Wi-Fi Halow .....	38
3.3.4	Distancia.....	38
3.3.5	Batería.....	38
3.3.6	Alcance y Seguridad.....	39
3.3.7	Capacidad .....	40

3.4	Procesamiento de información en sitio, tomando referencia una bodega ubicada en el sector industrial en la ciudad de Guayaquil. ....	40
3.4.1	Descripción de la Bodega Panatel del Ecuador S.A.....	40
3.4.2	Ubicación geográfica .....	41
3.4.3	Cuarto de Equipos.....	42
3.4.4	Estudio de la implementación en bodegaje para inventariado.....	43
3.4.5	Red.....	43
3.4.6	Procedimiento de la distribución de equipos .....	44
3.4.7	Caso de aplicación de un proceso de rotación de artículos en un almacén.....	46
CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		47
4.1	Conclusiones.....	47
4.2	Recomendaciones.....	48
REFERENCIAS BIBLOGRAFIAS .....		49
Glosario de Términos .....		52

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

Figura 2. 1: Arquitectura IEEE 802.11.....	6
Figura 2. 2: Los estándares IEEE 802.11 .....	7
Figura 2. 3: Tecnología SISO.....	9
Figura 2. 4: Espectro Disperso.....	9
Figura 2. 5: Modulación OFDM.....	10
Figura 2. 6: Tecnología MIMO .....	11
Figura 2. 7: Características de Wi-Fi HaLow.....	14
Figura 2. 8: Espectro en la Canalización IEEE 802.11ah.....	16
Figura 2. 9: Canalización IEEE 802.11ah en Estados Unidos.....	16
Figura 2. 10: BSS Coloring. ....	20
Figura 2. 11: Internet of Things .....	22
Figura 2. 12: Modelo del Internet de las Cosas.....	23
Figura 2. 13: Bloques de construcción IoT .....	24
Figura 2. 14: Características claves de IoT.....	27
Figura 2. 15: Relación entre IoT y M2M. ....	28
Figura 2. 16: Enfoque de aplicación IoT.....	29
Figura 2. 17: Diagrama de flujo de datos en el entorno IoT.....	29
Figura 2. 18: Tecnología de corto alcance .....	30
Figura 2. 19: Fase de procesamiento de datos .....	31

### Capítulo 3

Figura 3. 1: El uso de IEEE 802.11ah para Internet de las cosas. ....	33
Figura 3. 2: Modo de ancho de banda .....	34
Figura 3. 3: Campos tecnológicos del IIoT.....	36
Figura 3. 4: Funcionamiento del Wi-Fi HaLow .....	37
Figura 3. 5: Funcionamiento TWT para el ahorro de batería.....	39
Figura 3. 6: Panatel del Ecuador S.A.....	40
Figura 3. 7: Distribuidora Panatel del Ecuador S.A. ....	41
Figura 3. 8: Vista panorámica de la bodega Panatel.....	41
Figura 3. 9: Diagrama frontal de la bodega Panatel .....	42
Figura 3. 10: Cuarto de equipos.....	42

Figura 3. 11: Red 802.11ah .....	43
Figura 3. 12: Distribución de componentes de la red 802.11ah.....	45
Figura 3. 13: Diagrama de flujo aplicación de 802.11ah para las IoT industrial.....	46

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

Tabla 2. 1: Evolución de la familia 802.11 .....	8
Tabla 2. 2: Tabla comparativa de los estándares IEEE 802.11 .....	12
Tabla 2. 3: Tabla Comparativa entre IEEE 802.11ac y 802.11ah.....	13
Tabla 2. 4: Tabla de bandas de frecuencias para IEEE 802.11ah.....	16
Tabla 2. 5: Características de la batería .....	19
Tabla 2. 6: Componentes del IoT.....	25
Tabla 2. 7: Relación entre IoT y M2M. ....	28
Tabla 2. 8: Tecnologías en el entorno de las IoT .....	31

### Capítulo 3

Tabla 3. 1: Dominio de aplicaciones de IoT. ....	35
Tabla 3. 2: Características del 802.11ah para aplicaciones IoT. ....	38

## Resumen

El avance de las telecomunicaciones ha ayudado a la innovación de las tecnologías. En la actualidad los cambios que se ha llevado a cabo en la Internet hace necesario diseñar sistemas de comunicaciones que operen en diferentes espectros inalámbricos como alternativa a los sistemas de acceso inalámbrico, considerando algunas especificaciones como; contar con una tecnología inalámbrica de bajo consumo de energía, confiable y disponible. Las redes inalámbricas han evolucionado de conexiones lentas a una tecnología proporcionando una conectividad increíblemente versátil y juega un papel integral en la vida de cientos de millones de personas, así como uso de aplicaciones. EL IEEE ha desarrollado modificaciones al estándar original IEEE 802.11 para lograr mayores prestaciones y utilidades expuestas en las redes WLAN introdujo el nuevo estándar 802.11ah. En el presente proyecto se recopila, procesa y sistematiza la información referente al 802.11ah (Wi-Fi HaLow), detallando características propias de la capa PHY y capa MAC, agregando mecanismos como BSS Color y TWT que permitirán al Wi-Fi HaLow ayudar a los dispositivos del Internet de las cosas IoT en su rendimiento. Finalmente se realiza un diagrama para implementar una red 802.11ah en una bodega del sector industrial en la ciudad de Guayaquil, presentando las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente proyecto.

**Palabras claves:** IoT, IEEE, PHY, TWT, WLAN, MAC

## **Abstract**

The advance of telecommunications has helped the innovation of technologies. Currently, the changes that have been made on the Internet make it necessary to design communications systems that operate in different wireless spectra as an alternative to wireless access systems, considering some specifications such as; have a wireless technology of low power consumption, reliable and available. Wireless networks have evolved from slow connections to a technology providing incredibly versatile connectivity and plays an integral role in the lives of hundreds of millions of people, as well as application usage. The IEEE has developed modifications to the original IEEE 802.11 standard to achieve higher performance and utilities exposed in WLAN networks introduced the new 802.11ah standard. In this project, the information regarding 802.11ah (Wi-Fi HaLow) is collected, processed and systematized, detailing characteristics of the PHY layer and MAC layer, adding mechanisms such as BSS Color and Target Wake Time that will allow Wi-Fi to help to the Internet of things IoT devices in their performance. Finally, a diagram is made for an 802.11ah network implementation in a warehouse in the industrial sector in the city of Guayaquil, presenting the conclusions and recommendations obtained in the development of this project.

**Keywords:** IoT, IEEE, PHY, TWT, WLAN, MAC

# **CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **1.1 Introducción.**

El avance continuo de la internet y la demanda de usuarios en todo el mundo, se ha visto impulsado en el sector de las telecomunicaciones para mejorar sus servicios, y permite que el cliente tenga una mejor experiencia, además brindar soluciones tanto a empresas como residencias.

En la actualidad, la internet ha proporcionado conexiones globales que han hecho posible la existencia de la navegación web, las redes sociales y los dispositivos móviles inteligentes. La digitalización conlleva a la creación de nuevos servicios como mensajes de texto y acceso a datos con conmutación de circuitos. Sin embargo, su baja velocidad de transferencia de datos no satisfacía la demanda para acceder a la internet.

El desarrollo de dispositivos inteligentes inalámbricos está aumentando y se espera que este tipo de dispositivos siga creciendo en el mercado, actualmente tiene un desafío importante de encontrar tecnologías apropiadas y de bajo costo, así mismo poder tener acceso a servicios de banda ancha ya no solo en las zonas urbanas sino zonas rurales.

El Internet de las Cosas (IoT) ha ido avanzando con gran impacto sobre la sociedad y los negocios. Más de mil millones de usuarios de todo el mundo utilizan Internet tanto en su vida laboral como en la social, debido a eso la tecnología inalámbrica ha llegado a ampliarse de posibilidades al interactuar con la red a cualquier lugar en cualquier momento.

A finales de 1997, se da la implementación de protocolos de la familia 802.11 de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) para sustituir la infraestructura de Ethernet en las oficinas. El Grupo de Estudio IEEE realizó algunas mejoras de los mismos: 1999: 802.11a y b, 2003: 802.11g, 2009: 802.11n, 2014: los derivados del 802.11a.

Debido a la demanda y la aparición de nuevos servicios e implementación de dispositivos inteligentes, la Wi-Fi Alliance introdujo el nuevo estándar 802.11ah (Wi-

Fi Halow), el cual está disponible para realizar mejoras, brindar soluciones sencillas y superar los límites de los sistemas actuales de IoT. Por otro parte, Wi-Fi HaLow tiene diversas características que lo harán óptimo para cubrir lugares densos con alta demanda de tráfico, y brindar soluciones sencillas y económicas en áreas locales.

## **1.2 Antecedentes.**

El avance de las Tecnologías de la Información y Comunicación, se ha permitido realizar el intercambio de información, tanto como para el uso de los servicios de televisión, internet, telefonía, mensajería entre otros, siendo parte de una red de comunicaciones.

La tecnología Wi-Fi ha ido evolucionando en funciones para así llegar a proporcionar conexiones inalámbricas basada en el estándar de comunicación inalámbrica 802.11, establecido por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), ha llegado a mejorar continuamente en cada generación brindando una mayor velocidad, menor latencia y diversas experiencias en el entorno con una variedad de dispositivos.

La Wi-Fi Alliance ha ido actualizando las normas IEEE 802.11, que realizan funcionamientos en redes inalámbricas, los cuales incorpora la tecnología IEEE 802.11ah también llamado Wi-Fi HaLow, el cual opera en bandas de frecuencia por debajo de las de 1 GHz, debido a las características de propagación puede proporcionar mayor rango de transmisión a diferencias de los convencionales 802.11 WLAN que operan a 2,4 GHz y 5 GHz.

En el 2009, Kevin Ashton, uso la expresión “Internet of Things”, durante una conferencia de manera pública, resaltando la posibilidad de conectar una variedad de dispositivos por medio de una red inalámbrica.

Actualmente, ya se beneficiaba de esta tecnología el sector industrial, pero aún se tienen inconvenientes a los cuales se deben mejorar la seguridad, en realizar los análisis, la automatización de los dispositivos, etc.

### **1.3 Definición del Problema.**

El principal problema en la actualidad el desarrollo de la tecnología del Internet de las cosas (IoT) en sector industrial ha sido restringido por limitaciones prácticas en la conectividad y en el diseño de los dispositivos.

#### **¿Cómo afecta la falta de actualización de los estándares tecnológicos para el desarrollo de IoT en el sector industrial?**

En las empresas industriales ya han estado utilizando las tecnologías de Internet de las cosas durante años, sin embargo, aún existen muchas tecnologías, las cuales no todas son adecuadas para este tipo de sistemas ya que se intenta siempre realizar un sistema eficiente el cual consuma menos cantidad de energía y genere los datos de manera correcta con calidad de información.

### **1.4 Justificación del Problema.**

La mayoría de las empresas buscan obtener un servicio de calidad donde puedan hacer uso de aplicaciones del Internet de las Cosas, la cual se está teniendo un impacto negativo en cuanto el tiempo de las baterías, la conectividad y el continuo manejo de información, resulta de especial interés conocer cuáles son los tipos de mejoras que se pueden implementar, así surge la necesidad de generar nuevas maneras de conectividad a la internet y el uso de las tecnologías.

Toda mejora continua que se realice genera un impacto social y académico, tanto para las empresas como los usuarios. Esto es, debido que se debe realizar una actualización de acuerdo con los avances tecnológicos del mercado, de tal manera que detallaran como mejorar el servicio, para el impacto académico; debido a las recurrentes mejoras continuas en los dispositivos de IoT, se analiza la posibilidad de uso de nuevas tecnologías existentes tomando como referencia el nuevo protocolo IEEE 802.11ah, que constituye una mejora al estándar tecnológico en el entorno de la red. Así mismo, presenta la oportunidad de mejorar la cobertura, con un ancho de banda bajo y la oferta comercial, reduciendo costos.

## **1.5 Objetivos del Problema de Investigación.**

### **1.5.1 Objetivo General.**

- Estudiar y analizar el protocolo IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow) y sus funciones para aplicaciones del Internet de las Cosas industrial.

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

1. Revisar bibliografías del protocolo IEEE 802.11ah.
2. Analizar y describir las aplicaciones del IoT.
3. Caracterizar el Wi-Fi HaLow en el desarrollo del Internet de las cosas (IoT) para aplicaciones industriales.
4. Procesar información del sitio, para realizar un diagrama tomando como referencia el sector industrial la empresa Panatel del Ecuador S.A. en la ciudad de Guayaquil.

## **1.6 Hipótesis.**

En el presente trabajo de titulación, se realizará un estudio de las nuevas características del protocolo IEEE 802.11ah, las cuales darán soluciones de conectividad, mejorando el servicio y mayor cobertura, debido a que este estándar permite mayor tasa de transmisión. Además, se brindará un mejor rendimiento, lo cual favorece en una variedad de casos para el uso de diferentes dispositivos IoT.

## **1.7 Metodología de Investigación.**

El presente trabajo de titulación, se utiliza la metodología de tipo descriptiva, ya que se va a proceder a realizar un análisis de varios autores e informes técnicos, explicando las características del Wi-Fi HaLow aplicadas a las IoT industrial. También va a ser del tipo teórica, ya que se va a realizar un estudio basado en la tecnología Wi-Fi HaLow que aportarán al desarrollo del internet de las cosas.

## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 Introducción al estándar 802.11

A principios de la década de 1990, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), estaba dando forma a un estándar define y aplica las características de una WLAN (Wireless Local Area Network), actualmente operan en el rango de frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz, y utiliza como interfaz la conexión del cliente y una estación base o entre dos clientes inalámbricos.

El estándar IEEE 802.11, tiene como función permitir la interconexión entre varias estaciones, utilizando como medio de transmisión a el aire; el cual permite que los estándares, obtenga un mayor alcance en la evolución de las tecnologías de interconexión en las áreas locales.

### 2.2 Topología

Tiene como arquitectura un sistema que se divide en celdas, cada celda se denomina BSS (Basic Service Set) y esta es controlada por una estación base llamada AP (Access Point) la mayor parte de las instalaciones están compuestas por un conjunto de celdas formadas por una red con los puntos de acceso, lo cual este conjunto se denomina DS (Distribution System). El estándar tiene como soporte las siguientes topologías:

- Redes IBSS (Independent Basic Service Set)
- Redes ESS (Extended Service Set)

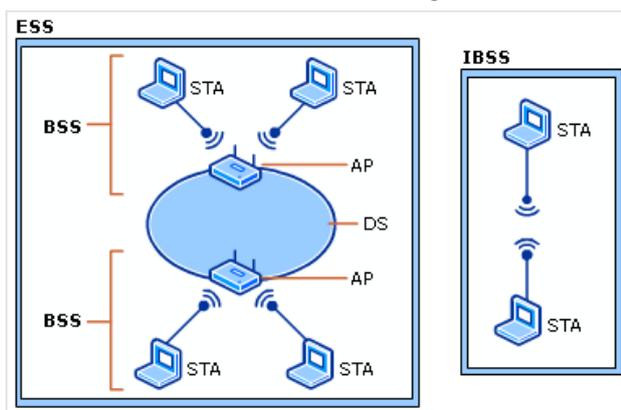


Figura 2. 1: Arquitectura IEEE 802.11.

Fuente: (Luis, 2016)

Para las redes de IBSS, cada estación puede llegar a comunicarse con otra estación directamente. Para las redes ESS, se forma por varias BSS que se interconectan a través de una DS, lo cual permite tener una conexión cableada o inalámbrica, este conjunto completo de elementos específicos que conforma una red única 802.11, tal como se muestra en la figura 2.1.

La versión original del estándar 802.11 define una PHY (capa física), una MAC (capa de control de acceso al medio), configuración de seguridades, los modos de funcionamiento.

El capa PHY, es responsable de que las AP puedan conectarse de forma inalámbrica, y permite utilizar multiplexación TDD (dúplex por división de tiempo), debido a esto, comparte el enlace ascendente y descendente de un mismo canal de radiofrecuencia utilizando DBPSK (Modulación por desplazamiento de fase binaria diferencial) o DQPSK (Modulación por desplazamiento de fase cuadratura diferencial). (Mosquera, 2019)

La capa MAC, está encargada de procesar las señales de la capa PHY, lo cual permite utilizar como acceso a los medios el protocolo CSMA/CA (Acceso múltiple con prevención portadoras y colisiones), lo cual realiza diferentes funciones: la autenticación, sincronización, la administración de la energía, etc. (Mosquera, 2019)

Este grupo de trabajo el cual se enfocó en el estándar IEEE 802.11, después de la norma inicial que se aprobó en 1977, se establecieron cambios, debido a que no cumplían funciones adecuadas para los implementadores, luego se procedió con varios grupos de tareas con la responsabilidad de desarrollar diferentes extensiones para el estándar 802.11, en la figura 2.2 muestra los estándares más prometedores en la actualidad los cuales incluyen 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n y las variante del IEEE 802.11a. (Sharma, Chaurasiya, & Saxena, 2013)



**Figura 2. 2:** Los estándares IEEE 802.11

**Fuente:** (Tellas, 2018)

## 2.3 Evolución del estándar IEEE 802.11

El grupo de Trabajo de la IEEE, se encarga de investigar y desarrollar diversas extensiones para el estándar 802.11. En 1990, se implementó la primera resolución, donde nacieron las dos primeras extensiones del estándar original IEEE 802.11.

El estándar original 802.11 permitía la conectividad entre equipos de comunicación que usen cada una de estas tecnologías inalámbricas, debido a esto, muchos estándares han llegado a tener la tarea dentro de los estándares del IEEE 802.11, el cual tiene diferentes velocidades, se ilustra en la tabla 2.1.

**Tabla 2. 1:** *Evolución de la familia 802.11*

Descripción	Nombre
Redes inalámbricas en la banda de los 2.4 GHz velocidades de 11 Mbps	IEEE 802.11b
Redes inalámbricas en la banda de los 5 GHz velocidades de 54 Mbps	IEEE 802.11a
Redes inalámbricas en la banda de los 2.4 GHz velocidades de 54 Mbps	IEEE 802.11g
Redes inalámbricas en la banda de los 2.4 GHz y 5 GHz velocidades de 600 Mbps	IEEE 802.11n
Redes inalámbricas en la banda de los 5 GHz velocidades de 1.3 Gbps	IEEE 802.11ac
Redes inalámbricas en la banda de los 2.4 GHz y 5 GHz velocidades de 347 Mbps	IEEE 802.11ah

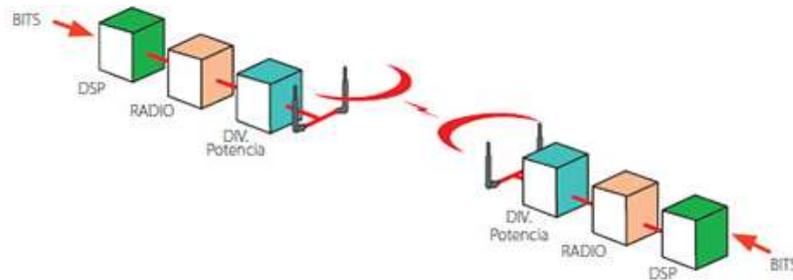
**Fuente:** *El Autor*

### 2.3.1 IEEE 802.11b

IEEE 802.11b es una extensión original del 802.11, definida en 1999 por el grupo de trabajo IEEE, opera en la banda de 2.4 GHz, tiene una velocidad máxima de 11 Mbps de transmisión, con un repliegue de 5.5, 2 y 1 Mbps, utilizando la tecnología de antenas de única entrada y única salida, también llamada antenas tipo SISO, y también los sistemas de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS). (Mosquera, 2019)

Además, las antenas de única entrada y única salida (SISO), tienen un diseño sencillo y robusto, aunque puede llegar a tener una sensibilidad a las interferencias de todas direcciones, su potencia de salida es limitada a un solo amplificador y su potencia es dividida en varias antenas, como se puede observar en la figura 2.3.

Sin embargo, el 802.11b tiene como limitación al presentar interferencia en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, llegando a tener interferencia entre la base AP y el dispositivo, debido a eso, se vio la necesidad de rediseñar el estándar. (Mosquera, 2019)



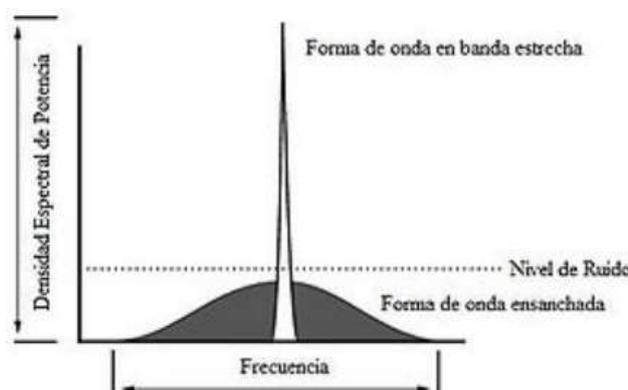
**Figura 2. 3:** *Tecnología SISO*

**Fuente:** (Sharma, Chaurasiya, & Saxena, 2013)

### 2.3.2 IEEE 802.11a

Al mismo tiempo que el Grupo de trabajo IEEE estaba realizando el diseño de la primera extensión del 802.11b, se tenía la preparación de otro estándar inalámbrico el cual se denominaba 802.11a.

IEEE 802.11a su lanzamiento fue al mismo con el 802.11b, opera en la banda de frecuencia de 5 GHz, tiene una velocidad máxima de 54 Mbps de transmisión, con un repliegue de 48, 36, 24, 18, 12 y 6 Mbps, utiliza la tecnología SS (Espectro Expandido), así como una OFDM (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal), además la utilización de esta banda también tiene su desventaja, debido que sus ondas son fácilmente absorbidas, así que deben estar en línea de vista. (Mosquera, 2019)



**Figura 2. 4:** *Espectro Disperso*

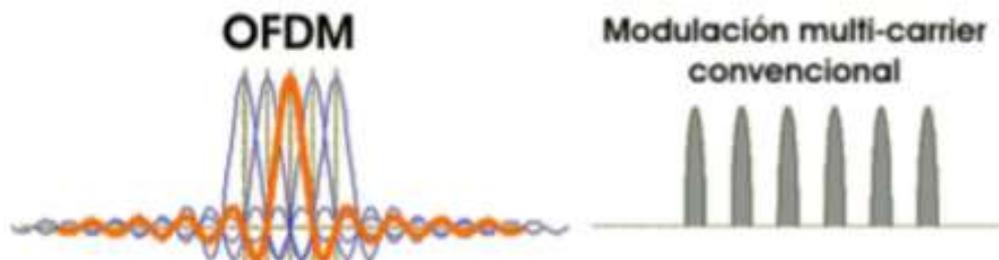
**Fuente:** *El Autor*

Las señales del 802.11a tienen una longitud de onda pequeña, debido a esto, pueden ser fácilmente obstruidas por objetos sólidos, debido a esto, no puedes tener un mayor alcance como las señales de 802.11b. (Salazar, 2012)

La tecnología SS, es una técnica de transmisión de datos digitales y por radiofrecuencia que realiza la transformación reversible de una señal, por lo que su energía se dispersa entre una banda de frecuencia más alta que la original. La figura 2.4., muestra cómo se relaciona la forma de onda en banda estrecha y onda ensanchada.

ODFM, es una técnica de modulación digital que tiene la función de codificar una transmisión en múltiples subportadoras ortogonales, debido a esto, realiza un procedimiento que consiste en seleccionar un canal y dividirlo en canales más pequeños, subcanales conocidos, cada subcanal debe controlar la información en paralelo segmentos y pueden llegar a ser modulados de manera diferente, también realiza de manera especial la modulación multiportadora, como muestra la figura 2.5, lo que considera servicios de radiofrecuencia de alta velocidad para uso personal y corporativo.

La técnica de espectro disperso ODFM realiza la distribución de datos en un gran número de operadores que están separados en varias frecuencias precisas, se considera que es una modulación ortogonal, ya que permite reducir, eliminar interferencias, así como la modulación de información diferente. (Serrano Rubio, 2008)



**Figura 2. 5:** *Modulación OFDM*

**Fuente:** *(Serrano Rubio, 2008)*

### 2.3.3 IEEE 802.11g

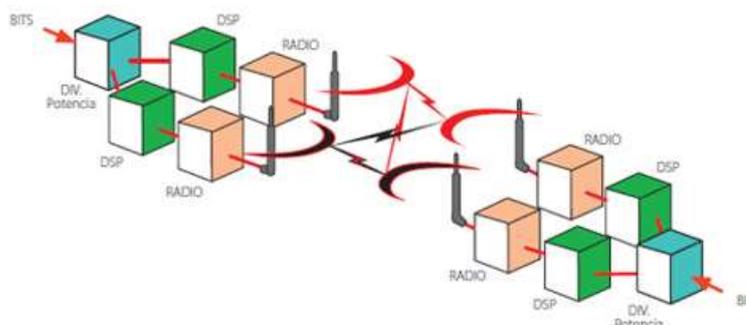
En el año 2000, el Grupo de Trabajo IEEE se le asignó la tarea de introducción de la OFDM en la banda de 2.4 GHz, la cual fue aprobada y podría beneficiar mucho a las comunicaciones inalámbricas futuras, la idea de la IEEE era realizar un estándar nuevo que sea totalmente compatible con el 802.11b.

IEEE 802.11g es la evolución del 802.11b, opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, tiene una velocidad máxima de 54 Mbps de transmisión, con un repliegue de 48, 36, 24, 18, 11, 5.5, 2, y 1Mbps, adicional el 802.11g también es compatible con el 802.11b, debido que puede operar a la misma velocidad y se le asignó la modulación OFDM utilizada así como en el 802.11a, tiene como principal observación y permite tener velocidades superiores en la banda de 2.4 GHz. (Mosquera, 2019)

Sin embargo, los dispositivos del 802.11g proporcionarían velocidad más alta que los dispositivos del 802.11b disponibles en la actualidad, todavía sufre problemas de interferencia con otros dispositivos que operan en la misma banda, principalmente los dispositivos Bluetooth. (Salazar, 2012)

### 2.3.4 IEEE 802.11n

Con el avance de la tecnología, así como la accesibilidad de los dispositivos inteligentes, a finales del 2009 el Grupo de trabajo IEEE asignó la tarea de aumentar el rendimiento de las redes WLAN, el cual se realizó un nuevo estándar 802.11n también llamado (Wi-Fi 4), debería ser capaz de operar en las bandas de 2.4 GHz como en 5 GHz. (Mosquera, 2019)



**Figura 2. 6:** Tecnología MIMO

**Fuente:** (Sharma, Chaurasiya, & Saxena, 2013)

IEEE 802.11n es la última extensión en fase del desarrollo para el estándar 802.11, cuyo objetivo principal fue incrementar la tasa de velocidad (Data Rate), con relación a los estándares 802.11a y 802.11g, lo que permitió tener un aumento en la tasa de transmisión máxima a 600 Mbps, utilizando la tecnología MIMO (Multiple Input – Multiple Output). Este estándar trabaja en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz o 5 GHz. (Salazar, 2012)

Las antenas de múltiples entrada y múltiples salida (MIMO), la cual permite a los AP del 802.11n proporcionar un mejor servicio inalámbrico que permita tener más conexiones concurrentes. Esta tecnología puede tener un mayor número de amplificadores disponibles, un aumento en el rendimiento y la multiplexación de cada paquete de datos en varias radios, así como muestra la figura 2.6.

### 2.3.5 IEEE 802.11ac

IEEE 802.11ac, es considerada una actualización del estándar IEEE 802.11n, se encontraba en fase de normalización a finales del 2012. También denominado por la Wi-Fi Alliance como Wi-Fi Gigabit, este estándar ofrece un alcance similar, pero aumenta la velocidad de transmisión debido a sus nuevas características. (Mosquera, 2019)

**Tabla 2. 2:** *Tabla comparativa de los estándares IEEE 802.11*

Estándar	Año	Banda de Frecuencia	Max. Data Rate	Alcance
802.11	1997		2 Mbps	
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbps	10 metros
802.11b	1999	2.4 GHz	11 Mbps	140 metros
802.11g	2003	2.4 GHz	54 Mbps	140 metros
802.11n	2009	2.4 / 5 GHz	600 Mbps	250 metros
802.11ac	2014	5 GHz	1.3 Gbps	300 metros
802.11ah	2016	900 MHz	2 Mbps / 15 Mbps	1000 metros

**Fuente:** *El Autor*

Este estándar funciona en la banda de frecuencia de 5 GHz tiene velocidad de transmisión de datos de 293 Mbps, se le añade ancho de banda de 80 MHz y 160 MHz, usa la tecnología MIMO hasta ocho antenas como multiusuario, su modulación es más densa ya que utiliza la 256 QAM (Modulación de amplitud de cuadratura). (Salazar, 2012)

QAM, es una técnica de modulación digital, la información tiene contenido tanto en la fase como en la amplitud de la portadora que transmite, por eso usa 256 QAM ayudando que tenga más que un rango más corto donde 64 QAM siendo confiable y tiene una velocidad máxima directamente por el proporcional al número de flujos espaciales, el cual requieren más antenas, y conectores de RF en el transmisor y receptor. (Ruiz Castillo, 2016). En la tabla 2.2, muestra la tabla comparativa de los estándares IEEE 802.11 y sus variantes.

## 2.4 IEEE 802.11ah: Wi-Fi HaLow

Debido a los inconvenientes encontrados por las redes WLAN IEEE 802.11 actuales y la creciente demanda de acceso inalámbrico, el grupo de trabajo IEEE 802.11 ha dado lugar a un nuevo proyecto, llamado IEEE 802.11ah, que intenta promulgar un estándar 802.11 con bandas menor de 1 GHz para redes inalámbricas rentables y a gran escala.

IEEE 802.11ah tiene como características de propagación, que permite tener un espectro de baja frecuencia, puede proporcionar una transmisión de largo alcance en comparación con las redes que operan a 2,4 GHz y 5 GHz, también puede llegar a utilizarse para varias aplicaciones; redes de sensores y puntos de acceso.

**Tabla 2. 3:** *Tabla Comparativa entre IEEE 802.11ac y 802.11ah*

Características	802.11ac Wi-Fi AC	802.11ah Wi-Fi HaLow
Banda de Frecuencia	5 GHz (compatibilidad con 2,4 GHz)	900 MHz (compatibilidad con 2,4 y 5 GHz)
Velocidades Máximas	7 Gbps	2Mbps / 15 Mbps
Cobertura	30 metros	1000 metros
Aplicaciones	Conexión dispositivos multimedia e Internet en todas las habitaciones del hogar, vídeo streaming.	Internet de las cosas, conexión de sensores y equipos de domóticas.

**Fuente:** *El Autor.*

Por otro lado, los dispositivos de destino en las redes de sensores son propensos a ser dispositivos alimentados por batería, y por lo tanto, las características de ahorro de energía se vuelven mucho más críticas para el funcionamiento del sistema 802.11ah.

IEEE 802.11ah uno de los objetivos era mejorar el rendimiento del sistema, llegó a diseñar una nueva capa PHY basada en IEEE 802.11ac, que es una extensión del 802.11 creado para WLAN para mostrar un alto rendimiento. Además, se realizaron mejoras en la capa MAC para tener un aumento en el rendimiento del sistema, así como el ahorro de energía de los dispositivos. (Weiping Sun, M. C., 2013). De acuerdo con la tabla 2.3 se especifica una comparación entre los protocolos 802.11ac y 802.11ah.

### 2.4.1 Wi-Fi HaLow

Basado en IEEE 802.11ah, la Wi-Fi Alliance lo certifica como Wi-Fi HaLow, el cual opera en la banda de 900 MHz donde la mayoría de las redes Wi-Fi viven a 2.4GHz o 5GHz. Con Wi-Fi HaLow funcionando en bandas de frecuencia por debajo de 1 GHz, ofrece un alcance mucho más largo y una conectividad de menor potencia a los productos Wi-Fi, también ofrece el beneficio de un menor consumo de energía. Las ondas de radio de baja frecuencia se propagan mejor a distancia y son mejores para viajar a través de obstáculos como puertas, paredes y otras obstrucciones, puede llegar a un alcance de hasta los 1000 metros. En la figura 2.7., muestra las características que representan al Wi-Fi HaLow.



Figura 2. 7: Características de Wi-Fi HaLow

Fuente (Tabbane, 2018)

## **2.4.2 Características**

Las características de 802.11ah lo hacen atractivo para diversos fines. Las categorías generales de los casos de uso incluyen las redes de sensores, redes Wi-Fi de alcance extendido. Cada vez más empresas de servicios públicos comienzan a desplegar un gran número de sensores inalámbricos alrededor de sus infraestructuras de servicios públicos. (Vegt, 2011)

Dichas redes se denominan redes inteligentes, cuyas funciones son supervisar el estado en tiempo real de varios servicios públicos e informar a la empresa y los usuarios finales de su estado de uso, por ejemplo, gas, agua y consumos de energía. El número de dispositivos que participan en la red inteligente es mucho más alta que en las redes tradicionales WLAN 802.11, y el rango de transmisión requerida de los dispositivos involucrados

## **2.4.3 Capa PHY**

De acuerdo con esta capa tiene como características, que se basan en el funcionamiento sincronizado del estándar IEEE 802.11ac; la cual se compone por su canalización y varios tipos de modo de transmisión. EL estándar 802.11n logro obtener mayores velocidades de datos que el IEEE 802.11ac al ofrecer 80 MHz, 160 MHz en el ancho de banda de canal, además 20 MHz y 40 MHz en el ancho de banda de canal del IEEE 802.11n. (Guadalupe, 2017)

En cuanto el IEEE 802.11ah tiene un ancho de banda para canales 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz, y 16 MHz, además del canal de 1 MHz con el propósito de brindar una cobertura extensa. (Weiping Sun, M. C., 2013).

## **2.4.4 Canalización**

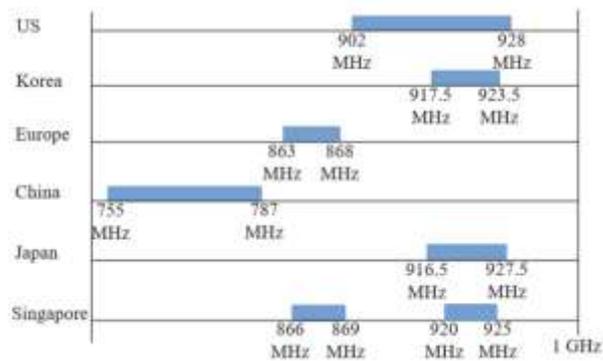
En las bandas menores a 1 GHz disponibles se puede diferenciar dependiendo a la administración de cada país, debido a esto, el 802.11ah ha llegado a definir la canalización en base a los espectros inalámbricos disponibles en varios países, los cuales están representados en los Estados Unidos, Corea, Europa, China, Japón y Singapur.. En la figura 2.8, observa la banda de frecuencia de acuerdo con los espectros en la canalización IEEE 802.11ah.

En la operación de esta tecnología usando la banda de frecuencia de 900 MHz, tiene reconocidas regulaciones, así como se muestra en la tabla 2.4, la banda de frecuencia de cada país.

**Tabla 2. 4:** *Tabla de bandas de frecuencias para IEEE 802.11ah*

Banda de Frecuencia (MHz)	País
614-787 MHz -- 779-787 MHz	China
863 MHz – 868 MHz	Europa
916.5 MHz – 927.5 MHz	Japón
902 - 928 MHz	Estados Unidos

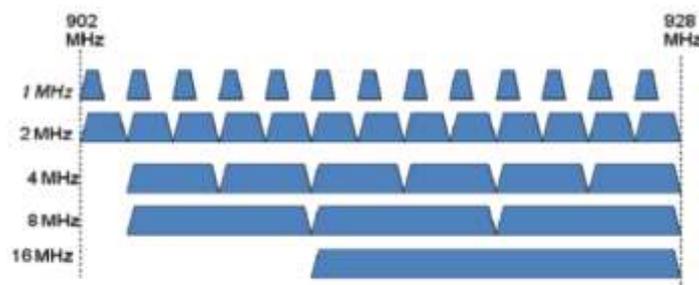
**Fuente:** *El Autor.*



**Figura 2. 8:** *Espectro en la Canalización IEEE 802.11ah*

**Fuente:** *(Weiping Sun, M. C., 2013)*

La canalización en los Estados Unidos ha sido considerado para el IEEE 802.11ah. Esto se debe que en el país permite un máximo de ancho de banda de 16 MHz entre 902 MHz y 928 MHz. La Fig. 2.9 representa el ancho de banda de EE.UU. propuesto, incluyendo 1, 2, 4, 8, y 16MHz.



**Figura 2. 9:** *Canalización IEEE 802.11ah en Estados Unidos.*

**Fuente:** *(S. Aust, 2012)*

## 2.4.5 Modos de Transmisión

En 802.11ah los canales de 1 MHz y 2 MHz han sido adoptados como anchos de banda de canal común de tal manera que las estaciones de 802.11ah tienen que soportar las recepciones de ellos. El diseño de la capa PHY se puede clasificar en 2 categorías. La primera categoría es el modo de transmisión para un ancho de banda de canal igual o mayor a 2 MHz y la segunda categoría de transmisión para un ancho de banda de canal de 1 MHz. (Guadalupe, 2017)

- **Ancho de banda del canal de 1 MHz:** este modo de operación está dirigido principalmente a aquellas aplicaciones que requieren un rango extendido. El ancho de banda más estrecho y las velocidades de datos más lentas permiten acomodar señales con potencias de señal más bajas. Por lo general, estas aplicaciones pueden estar destinadas a aplicaciones IoT, en las que se pueden requerir ráfagas cortas de datos, normalmente a una velocidad de datos baja.

En el modo de ancho de banda de 1 MHz, 802.11ah usa el mismo espacio de sub-portadora que en el modo de velocidad de datos más alta, es decir, 31.25 kHz. El número de sub-portadoras de datos por símbolo OFDM es 24. Esto en realidad es menos de la mitad del número de sub-portadoras de datos en el canal de 2 MHz, ya que utiliza el ancho de banda que se habría requerido para la banda de guarda entre los dos canales de 1 MHz.

- **Anchos de banda de 2 MHz y más:** este modo utiliza anchos de banda de 2, 4, 8 o 16 MHz. Nuevamente usa OFDM y un diseño basado en una décima velocidad de reloj de 802.11ac, es decir, una longitud de símbolo diez veces mayor que en 802.11ac. MIMO también se usa dentro de 802.11ah también en este modo.

Para el primer modo de transmisión siendo mayor o igual a 2, 4, 8, y 16 MHz, la capa PHY tiene un diseño parecido al IEEE 802.11ac, usando las técnicas de OFDM y MIMO, lo cual son empleadas por el sistema 802.11ah.

## 2.4.6 Capa MAC

La Capa MAC tiene como diseño para el estándar 802.11ah, considerando diversas características en comparación al IEEE 802.11, como el modo de ahorro de energía, el acceso al medio, soporte a cantidades grandes de estaciones. (Guadalupe, 2017)

El Control de acceso al medio o la capa MAC presenta una serie de elementos mejorados para proporcionar soporte para un gran número de estaciones, ahorro de energía y similares.

- **Soporte para una gran cantidad de estaciones:** El punto de acceso 802.11 asigna identificadores, llamados AI (*Identificadores de Asociación*), a las estaciones que se asocian con el AP. Para los sistemas que no son 802.11ah, el número máximo de identificadores que se pueden asignar es 2007, pero con el uso de 802.11ah para posiblemente aplicaciones IoT (*Internet of Things*) o M2M (*Machine to Machine*), este número podría excederse. Para superar este problema, se ha introducido una estructura jerárquica de AID.
- **Ahorro de energía:** El ahorro de energía es un problema creciente, especialmente para IEEE 802.11ah que se utilizará para muchas aplicaciones IoT y M2M. Muchos de los nodos remotos necesitarán funcionar con baterías y estos deben poder funcionar durante semanas o incluso años sin reemplazo.
- **Estaciones TIM:** Estas estaciones permanecen despiertas todo el tiempo y monitorean continuamente las tramas de baliza que se envían. Puede recibir datos tan pronto como esté listo para enviar.
- **Estaciones que no son TIM:** Las estaciones que no son Time 802.11ah tienen un estado de reposo. Cuando están en este estado, no pueden recibir datos y esto está listo para cuando estén activos nuevamente.

## 2.4.7 Soporte a un gran número de estaciones

Está compuesto por un punto de acceso (AP), al cual se agrega un AID (Identificador único), a cada estación durante la etapa de asociación. (Guadalupe, 2017)

Para administrar la energía de cada estación, donde se utiliza un indicador de tráfico (TIM), así como el elemento de información (IE), donde se puede considerar que un AP este asociándose a varias estaciones utilizando el estándar IEEE 802.11, debido a esto el IEEE 802.11ah realizo un aumento en el número estaciones. (Guadalupe, 2017)

## 2.4.8 Ahorro de Energía

IEEE 802.11ah especifica varios modos de suspensión nuevos que permiten que los dispositivos permanezcan en estados de muy baja potencia durante períodos prolongados de tiempo, conservando la energía de la batería. La capa MAC 11ah está optimizada para una batería de larga duración y una gran cantidad de STA con las siguientes características, que se muestran en la siguiente tabla 2.5:

**Tabla 2. 5:** *Características de la batería*

Características	Descripción
Escalabilidad hasta 8.191 dispositivos por AP	Operación de ventana de acceso restringido (RAW) y estructura de mapa jerárquico de indicación de tráfico (TIM),
Reducción del consumo de energía	Funcionamiento sin TIM, mecanismo de tiempo de activación objetivo (TWT), intervalo extendido de sueño y escucha.
Operación de relé	Red de múltiples saltos basada en árbol.

Fuente: *El Autor*

## 2.4.9 Canal de Acceso

802.11ah se le introdujo nuevos mecanismos para el canal de acceso para las estaciones TIM y las estaciones no TIM, debido a esto, para las estaciones no TIM, el AP puede despertarse en cualquier momento así como puede permitirle que transmitir el tráfico de espera del enlace descendente como el ascendente (Guadalupe, 2017)

Se realizan revisiones, debido a que la acumulación de mucho tráfico en estas estaciones no TIM, pueden llegar a tener degradaciones en el rendimiento de la red, se puede tomar como ejemplo: Cuando un gran número de estaciones realizan la función de despertarse al mismo tiempo, puede llegar a tener un retraso en los resultados obtenidos.

#### 2.4.10 Target Wake Time

Target Wake Time (TWT), es una función que permite que un AP defina un tiempo específico o un conjunto de horas para que estaciones individuales accedan al medio.

El STA (cliente) y el AP intercambian información que incluye una duración de actividad esperada para permitir que el AP controle la cantidad de contención y superposición entre los STA competidores. El AP puede proteger la duración esperada de la actividad con varios mecanismos de protección. El uso de TWT se negocia entre un AP y un STA. El tiempo de activación objetivo puede usarse para reducir el consumo de energía de la red, ya que las estaciones que lo usan pueden entrar en estado de reposo hasta que llegue su TWT.

#### 2.4.11 Reutilización Espacial (BSS Coloring).

Este mecanismo fue introducido en 802.11ah para identificar diferentes BSS mediante la definición de un "bit de color" para cada BSS- esto permite que los puntos de acceso y clientes para identificar el tráfico diferentes BSS. Nuevo, reglas de comportamiento de acceso de múltiples canales se han aplicado ya en base a la 'bits de color' detectado, como se muestra en la figura 2.10.

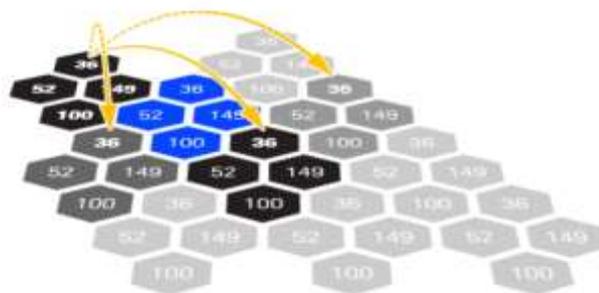


Figura 2. 10: BSS Coloring.

Fuente: (Seok, 2016)

## 2.5 Internet de las Cosas (IoT)

Después de la aparición de la red WWW (World Wide Web) y de la Internet móvil, estamos inmersos en una tercera fase y potencialmente, el llamado IoT (Internet de las Cosas). IoT se refiere a un mundo conectado al último extremo, donde los objetos y los seres físicos interactúan con entornos de datos virtuales en el mismo espacio y tiempo.

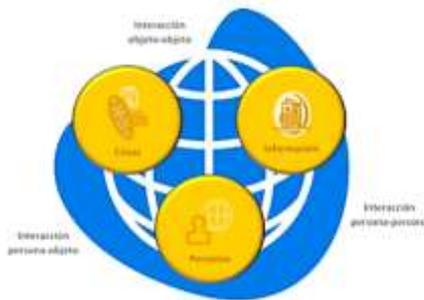
Las IoT están transformando casi por completo sectores clave de la sociedad y seguirán innovando el futuro. Se espera que miles de millones de dispositivos conectados avancen globalmente en las próximas décadas, generando valor económico multimillonario en muchos mercados que forman la base de un mundo totalmente interconectado, o Internet.

Lo que sí parece claro es que todos los sectores económicos se van a ver afectados de una u otra manera por este fenómeno y que el Internet de las cosas va a monetizarse claramente, ofreciendo servicios que en principio pueden mejorar la calidad de vida de los usuarios, para aquellos que estarían dispuestos a pagar.

Imagina una ciudad del futuro. Una ciudad inteligente donde los teléfonos móviles abren puertas, los sensores detectan fugas en las tuberías y las vallas publicitarias cambian sus anuncios de acuerdo con el perfil de consumidor de las personas que pasan por esa calle. Pequeños sensores que permiten medir la temperatura de una habitación o el tráfico de taxis por las calles o cámaras de seguridad que garantizan la seguridad en los edificios.

Esto es todo el Internet de las cosas de IoT. Se trata literalmente de cosas que tienen una conexión a Internet en cualquier momento y en cualquier lugar. En un sentido más técnico, lo que resulta en IoT es la integración de sensores y dispositivos en objetos cotidianos que están conectados a Internet a través de redes fijas e inalámbricas.





**Figura 2. 12:** *Modelo del Internet de las Cosas*

**Fuente:** (Network, 2019)

Demostrando en la figura 2.12, se explica algo más sobre el Internet de las cosas o Internet of Things (IoT), definido como “un nuevo Internet” que permite la interacción entre personas, entre objetos y entre personas con objetos en referencia a la interconexión en red de los objetos cotidianos que a menudo están equipados con inteligencia ubicua. (Network, 2019), Para definir el término de las IoT, se puede llegar a considerar varios puntos:

Según la ISO/IEC "Es una infraestructura de objetos, personas, sistemas y recursos de información interconectados junto con servicios inteligentes que les permiten procesar información del mundo físico y virtual y reaccionar". (Instituto de Normalización, 2018)

Según la UIT-T Y.2060 "Una infraestructura global para la sociedad de la información, que permite servicios avanzados mediante la interconexión de cosas (físicas y virtuales) basadas en tecnologías de información y comunicación interoperables existentes y en evolución". (Instituto de Normalización, 2018)

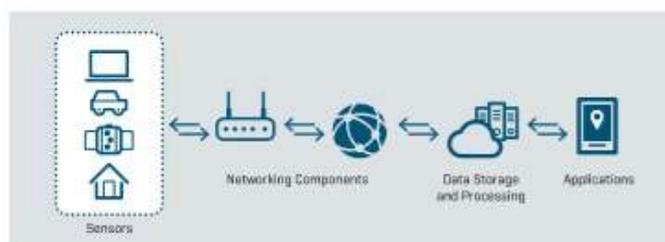
Según la IEEE “Internet de las cosas (IoT) es un marco en el que todas las cosas tienen representación y presencia en Internet. Más específicamente, Internet de las cosas tiene como objetivo ofrecer nuevas aplicaciones y servicios que unan los mundos físico y virtual, en los que las comunicaciones de máquina a máquina (M2M) representan la comunicación de línea de base que permite las interacciones entre las cosas y las aplicaciones en la nube”. (Instituto de Normalización, 2018)

## 2.5.2 Componentes IoT.

Hoy en día, los seres humanos están rodeados de dispositivos electrónicos, dispositivos inteligentes, etc. Estos dispositivos tienen un software que le permite procesar funciones y proporcionar servicios específicos. Así mismo, pueden comunicarse a través de las redes actuales. Con la expansión de Internet y el desarrollo de diferentes redes inalámbricas, se introdujo el concepto de IoT para que estos dispositivos puedan intercambiar información ilimitadamente desde cualquier lugar del mundo.

Debido a esto la Internet actúa como medio de comunicación para varios dispositivos físicos, cada uno de ellos tiene un número de identificación único (por ejemplo, IP). La información generada por millones de dispositivos se envía a través de las redes para ser almacenada y procesada de acuerdo con los requisitos de las aplicaciones.

En la figura 2.13 se puede observar este proceso donde varios dispositivos electrónicos como: celulares, relojes inteligentes, vehículos, laptops, sensores, etc., permite generar información, la cual es enviada a través de internet y procesada por grandes centros de datos que se encargan de analizarla y entregarla a diferentes aplicaciones para su respectiva interpretación.



**Figura 2. 13:** *Bloques de construcción IoT*

**Fuente:** *(Instituto de Normalización, 2018)*

El IoT comprende diferentes componentes como se muestra en la Tabla 2.6. Los objetos o dispositivos físicos (también llamados cosas), que pueden detectar afectar el entorno físico por medio de actuadores. Humanos involucrados en las interacciones, por ejemplo en domótica; Puede controlar el entorno a través de aplicaciones móviles. Las plataformas se utilizan para conectar componentes de IoT, como un middleware entre entidades físicas e IoT.

**Tabla 2. 6: Componentes del IoT**

Componentes IoT	Descripción
Objetos físicos	Materiales
Objetos virtuales	Boletos electrónicos, libros, billeteras
Sensores	Sentir el entorno físico
Actuadores	Afecta el ambiente físico
Humano	Se pueden llegar a controlar el medio ambiente a través de aplicaciones móviles.
Componentes de red	Los componentes están conectados entre sí mediante redes, utilizando diversas tecnologías, estándares y protocolos inalámbricos y alámbricos para proporcionar conectividad
Plataformas	El middleware utilizado para conectar componentes como objetos físicos, humanos y servicios al IoT las funciones como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso a dispositivos</li> <li>• Asegurar la instalación / comportamiento del dispositivo</li> <li>• Conexión interoperable a la red local, nube u otros dispositivos</li> </ul>
Almacenamiento y procesamiento de datos.	Los servicios en la nube son un ejemplo de almacenamiento de datos y tecnología de procesamiento que se puede utilizar para: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesar grandes datos y convertirlos en información valiosa</li> <li>• Crear y ejecutar aplicaciones innovadoras</li> <li>• Optimizar los procesos comerciales mediante la integración de datos del dispositivo</li> </ul>
Aplicaciones	Aplicaciones del IoT

**Fuente:** *El Autor*

### 2.5.3 Características IoT.

El Internet de las cosas es un sistema complejo con una variedad de características que lo hacen único. Estas se pueden definir desde cualquier perspectiva; ya sea por sus componentes o por los servicios y usabilidad que

pueden prestar. Sin embargo, se mencionarán algunas de las características generales que la destacan.

- **Interconectividad:** Con respecto a la IoT, cualquier cosa puede ser interconectado con la infraestructura global ya sea de información y comunicación, por medio de diferentes tecnologías.
- **Servicios cosas relacionadas:** La IoT puede proporcionar servicios relacionados con la cosas dentro de las limitaciones de cosas, tales como protección de la privacidad entre las cosas físicas y dispositivos. Con el fin de proporcionar servicios relacionados dentro de las limitaciones de las cosas, tanto las tecnologías en el mundo físico y el mundo de información cambiará.
- **Heterogeneidad:** Los dispositivos de la IoT son heterogéneos como basados en diferentes plataformas de hardware y redes. Pueden interactuar con otros dispositivos o plataformas de servicios a través de diferentes redes.
- **Escala enorme:** La cantidad de dispositivos que deben administrarse y que se comunican entre sí será al menos un orden de magnitud mayor que los dispositivos conectados a internet actual. Aún más crítico será la gestión de los datos generados y su interpretación para fines de aplicación.
- **Cambios dinámicos:** Permite que el estado de los dispositivos puedan tener un cambio de manera dinámica, por ejemplo, el sueño y el despertar, conectado y / o desconectado, así como el contexto de los dispositivos incluyendo la ubicación y la velocidad. Por otra parte, el número de dispositivos puede cambiar dinámicamente.
- **La seguridad:** Al obtener los beneficios de la IoT, no hay que olvidarse de la seguridad. Ya que tanto los creadores y receptores de la IoT, hay que diseñar para la seguridad. Esto incluye la seguridad de los datos personales así como la del bienestar físico.
- **Conectividad:** Este componente permite la conectividad, accesibilidad y compatibilidad de los dispositivos conectados a una red, así como permitiendo verificar el consumo de datos.



**Figura 2. 14:** *Características claves de IoT.*

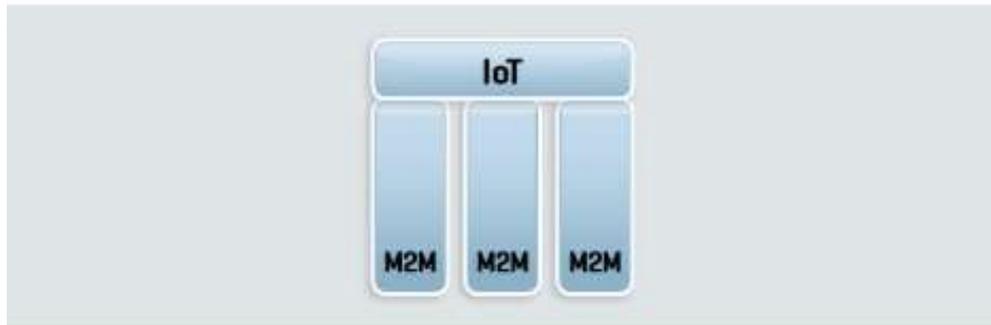
**Fuente:** *(Keyur K. Patel, 2016)*

## 2.5.4 Evolución del IoT

El avance tecnológico que ha mostrado las IoT con el pasar de los años, desde que el término fue mencionado por Kevin Ashton, realizando referencia a un sistema estándar global para la identificación por radiofrecuencia RFID y la creación de otros sensores, los cuales ayudaron en su evolución, donde se desarrollan aplicando a diferentes tecnologías.

- **Wi-Fi**, Es una tecnología de redes inalámbricas de área local (WLAN), que proviene de la IEEE 802.11 y sus variantes (a/b/g/n/ac), permitiendo que los dispositivos IoT lleguen a utilizarse en aplicaciones como; la automatización del hogares, fabricas, edificios inteligentes, etc., mientras que las redes inalámbricas móviles son utilizadas por IoT para la conectividad M2M.
- **RFID (*Radio Frequency Identification*)**: Son códigos de barras inteligentes o también conocido como dispositivos pequeños capaces de comunicarse con un sistema en red para así poder rastrear los objetos.
- **NFC, (*Near Field Communication*)**, Es una tecnología de comunicación que permite que los dispositivos compartan información de manera inalámbrica al ponerlos en contacto o acercarlos entre sí.

- **M2M (Machine to Machine)**, Las comunicaciones M2M está relacionado con el crecimiento de IoT, también es utilizado para realizar monitoreo remoto, los componentes clave de un sistema M2M incluyen sensores, RFID, NFC, Bluetooth, Wi-Fi y la comunicación celular. La Figura 2.15 y la tabla 2.7 muestra la relación entre M2M e IoT.



**Figura 2. 15:** *Relación entre IoT y M2M.*

**Fuente:** *(Instituto de Normalización, 2018)*

**Tabla 2. 7:** *Relación entre IoT y M2M.*

IoT	M2M
Comunicación múltiple utilizando redes IP que incorporan diferentes protocolos de comunicación.	Comunicación punto a punto usualmente integrada en el hardware.
La entrega de datos se basa en una capa intermedia alojada en la nube	Las redes celulares o cableadas se utilizan para la comunicación principal.
Se necesita una conexión a Internet activa en la mayoría de los casos "	Los dispositivos no dependen necesariamente de una conexión a internet
Opciones de integración ilimitadas.	Opciones de integración limitadas

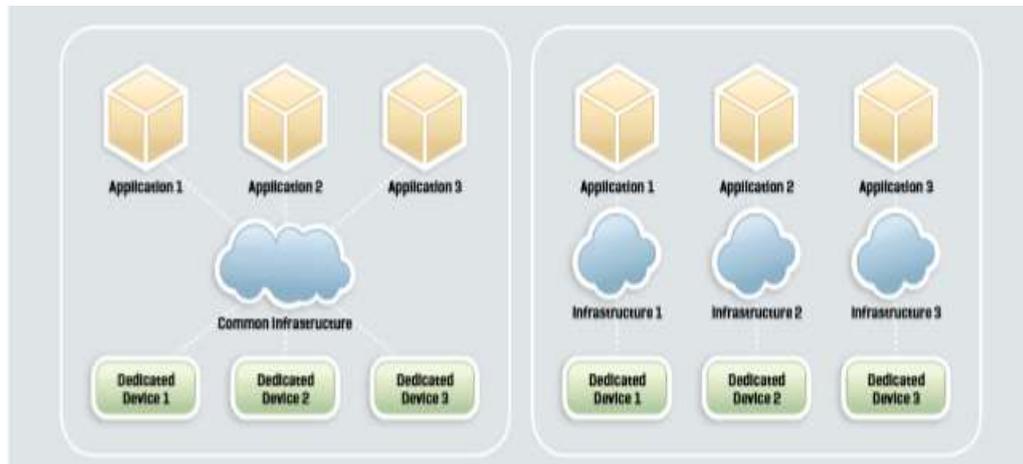
**Fuente:** *El Autor*

### 2.5.5 Estructura de aplicaciones

La estructura para diversas aplicaciones IoT se basa en gran medida en las infraestructuras TIC existentes. En la figura 2.16 se puede observar dos tipos de estructuras: una dedicada para cada aplicación y otra compartida.

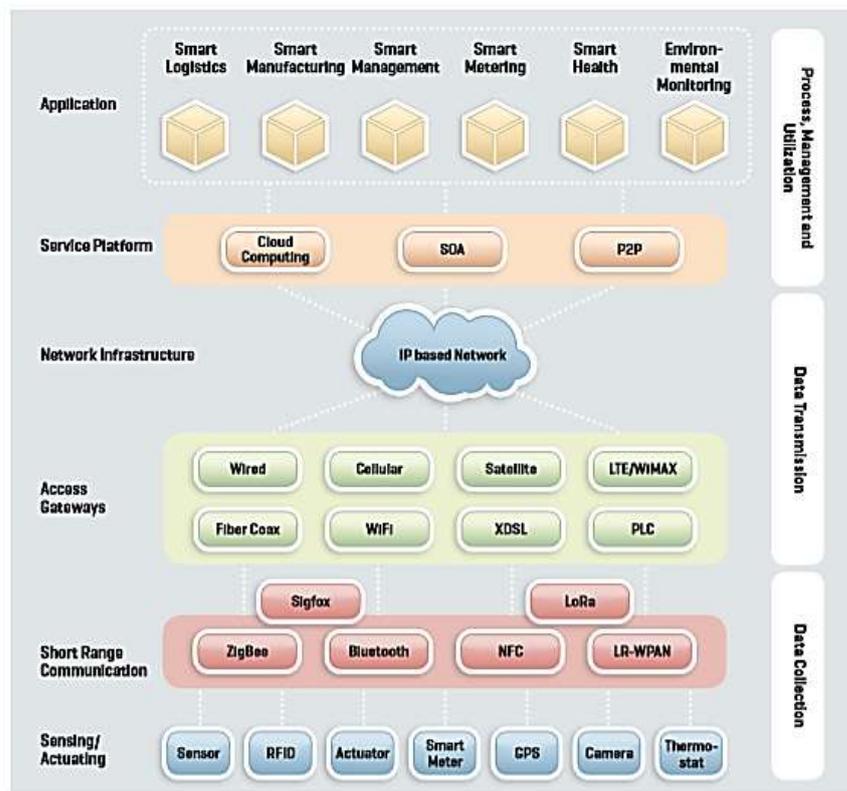
La estructura dedica se basa en que cada aplicación tenga su propia infraestructura TIC patentada con sus dispositivos dedicados y servicios de gestión, lo que resulta en redundancia innecesaria y un aumento de los costos.

Mientras que, la estructura compartida es más flexible, donde las aplicaciones ya no funcionarán de manera aislada, sino que compartirán la infraestructura, entorno y elementos de red, y una plataforma de infraestructura común administrará la red y las aplicaciones. Sin embargo, la plataforma común tendrá el apoyo de varios sistemas para que cada aplicación funcione correctamente.



**Figura 2. 16:** *Enfoque de aplicación IoT*

**Fuente:** *(Instituto de Normalización, 2018)*



**Figura 2. 17:** *Diagrama de flujo de datos en el entorno IoT*

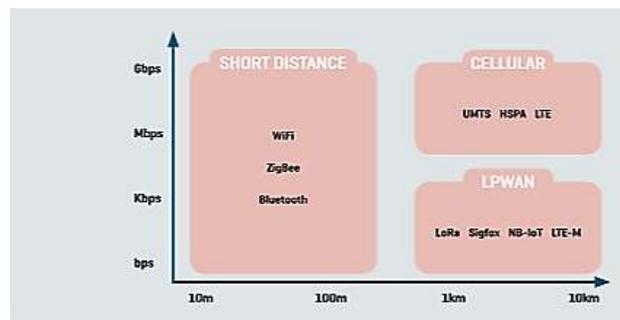
**Fuente:** *(Instituto de Normalización, 2018)*

El desarrollo del IoT se debe en gran medida a la evolución de las diferentes tecnologías que la soportan como se muestra en la figura 2.17. Estas tecnologías forman una parte esencial del entorno IoT, y se podrían clasificar en tres grupos o fases que manejan los datos generados por los dispositivos IoT.

- Fase de recopilación de datos.
- Fase de transmisión de datos.
- Fase de aplicación (procesamiento de datos, gestión y utilización).

### 2.5.6 Fase de recopilación de datos.

Esta fase corresponde a los procedimientos para detectar el entorno físico y recopilar datos físicos en tiempo real. El primer paso en el entorno de IoT es la recopilación de información (o datos) del entorno físico (cosas), en la figura 2.18 se muestra una variedad de tecnologías de corto y largo alcance.



**Figura 2. 18:** Tecnología de corto alcance

**Fuente:** (Instituto de Normalización, 2018)

### 2.5.7 Fase de transmisión de datos.

En esta fase, los datos recopilados a través de la detección deben transmitirse a la plataforma de servicio a través de la red para que las aplicaciones puedan acceder a los datos. Las tecnologías de comunicación existentes utilizadas para el acceso a la red, en la tabla 2.8, se muestra la aplicación de las tecnologías en el entorno de las IoT.

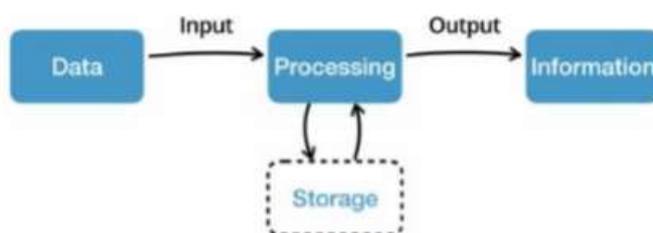
**Tabla 2. 8:** Tecnologías en el entorno de las IoT

Tecnología	Estándar	Medio de Transmisión	Banda de Frecuencia	Data Rate	Distancia Máxima
Ethernet	IEEE 802.3	Cable par trenzado, cable coaxial, fibra óptica		10 Mbps hasta 100 Gbps	Conexión física 100 m
Wi-Fi	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac	Inalámbrico	2.4 GHz o 5 GHz	Mayor a 600 Mbps	Mayor a 100 m
WiMAX	IEEE 802.16 a/d/e/m	Inalámbrico	2 - 66 GHz	Mayor a 70 Mbps	Hasta 50-80 Km
Celular	GSM, GPRS, UMTS, HSPA+, LTE	Inalámbrico	900-1800 MHz 2100-1900 MHz 800-2600 MHz	9.6 Kbps, 56114 Kbps, 56 Mbps (d) 22 Mbps (u), 300 Mbps (d) 75 Mbps (u)	macro / micro / pico (10 m a 100 km)
Satelital	BSM, DVB-S		4-8 GHz (Banda C), 10-18 GHz (Banda Ku), 1831 GHz (Banda Ka)	16 Kbps hasta 155 Mbps	GEO: 35,786 km, MEO: 50015,000 km, LEO: 200-3000 km

Fuente: El Autor

### 2.5.8 Fase de procesamiento, gestión y utilización.

Esta fase tiene como función que la información sea procesa y luego sea enviada a las aplicaciones, esta fase tiene función de convertir todas las características de los objetos, las redes y los servicios, luego ofrecer un acoplamiento flexible de componentes, incluido el descubrimiento y la composición del servicio. En la figura 2.19 muestra como es el proceso de los datos.



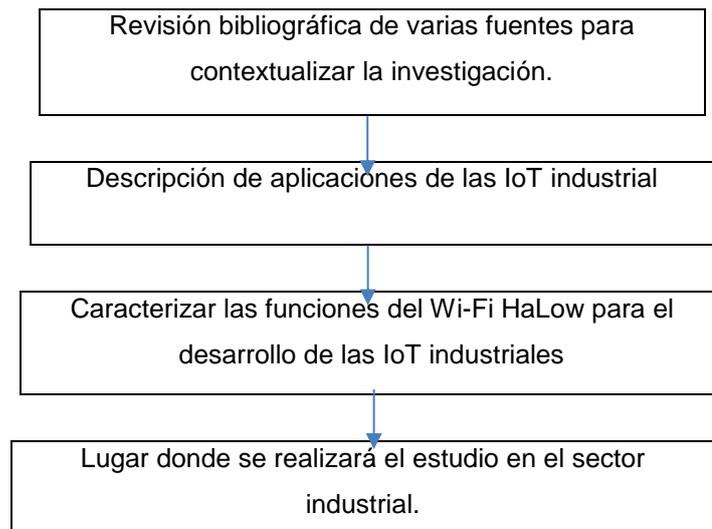
**Figura 2. 19:** Fase de procesamiento de datos

Fuente: (Instituto de Normalización, 2018)

## CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

El problema de la investigación nos muestra el inconveniente que presentan la mayoría de los dispositivos IoT en el sector industrial, por tal motivo se propone estudiar las funciones del protocolo 802.11ah Wi-Fi HaLow para las IoT.

El presente capítulo se basa en la obtención de los objetivos específicos descritos en el capítulo 1, por lo que se procederá de la siguiente manera:



### 3.1 Revisión bibliográficas del protocolo IEEE 802.11ah.

El primer objetivo específico, se lo desarrolló basándose en revistas y documentos de varios autores sobre el tema planteado, el concepto, características del protocolo IEEE 802.11ah.

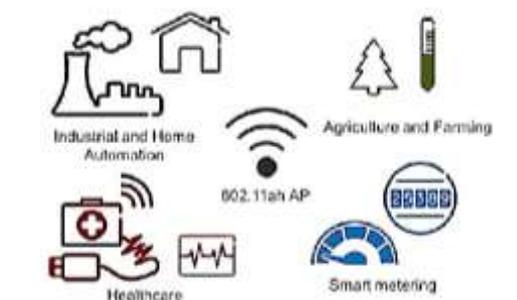
#### 3.1.1 Características del 802.11ah

Según el documento de (Sun, Choi, & Choi, 2014) Afirman: Las características de 802.11ah lo hacen atractivo para varios propósitos, además de tener una propagación favorable de un espectro de frecuencia tan baja, proporcionando un rango de transmisión para redes de retorno para sensores y medidores, y Wi-Fi de rango extendido. (pág. 87)

### 3.1.2 Aplicaciones del estándar IEEE 802.11ah

Según el documento de (Oktaviana, Perdana, & Negara , 2018) afirma: Los principales casos del uso de IEEE 802.11ah están en la industria, domótica, medición inteligente, plantación y agricultura, y la salud como se ilustra en la Figura 3.1 la aplicación, en su mayoría utilizan sensores inalámbricos mediante la supervisión y el trabajo conjunto para pasar los datos recopilados a la red. IEEE 802.11ah introduce métodos eficientes de programación para proporcionar escalabilidad para miles de estaciones.

Esto solo es compatible con el modo de infraestructura y envía datos a alta velocidad en diferentes condiciones. Mientras tanto, se propone un mejor mecanismo de ahorro de energía para abordar el alto consumo de energía en la tecnología Wi-Fi convencional. (Oktaviana, Perdana, & Negara , 2018)

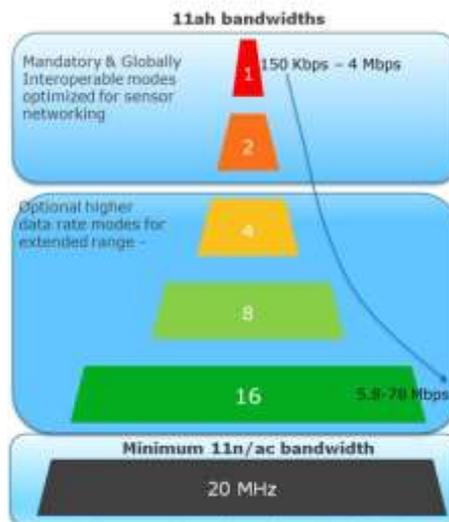


**Figura 3. 1:** El uso de IEEE 802.11ah para Internet de las cosas.

**Fuente:** (Oktaviana, Perdana, & Negara , 2018)

### 3.1.3 Pruebas de ancho de banda según Yongho Seok

Según el documento de (Seok, 2016) afirma: Una capa física usando OFDM de banda estrecha, siendo 16 MHz Una capa física de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de banda estrecha, es decir, 16 MHz que operan en las bandas de licencia menores a 1 GHz que permite una WLAN con una pérdida de propagación significativamente menor a través del espacio libre, obstrucciones, llevando a un aumento en la banda de 2.4 GHz muy congestionada y las bandas de 5 GHz de corto alcance.



**Figura 3. 2:** Modo de ancho de banda

**Fuente:** (Seok, 2016)

La figura 3.2, muestra dos categorías de los modos de ancho de banda 802.11ah. Los anchos de banda de 1 / 2MHz son modos obligatorios de todas las STA (estaciones) 802.11ah y se utilizarán como modos interoperables a nivel mundial para la conexión en red de sensores. (Seok, 2016)

### 3.1.4 Evaluación de desempeño de los sistemas IEEE 802.11ah

Se considera una comparación de rendimiento entre los sistemas IEEE 802.11ah y (BLE) Bluetooth de baja energía, siendo tecnologías que se aplican para el desarrollo de las aplicaciones de IoT, obteniendo como resultado que la tecnología BLE, llega a necesitar más puntos de acceso para lograr tener una misma cobertura que el 802.11ah, así como el rango de transmisión para varios esquemas de modulación y los niveles de potencia de transmisión.

### 3.2 Descripción de las aplicaciones de las IoT.

Para alcanzar el objetivo específico dos, primero se especificará una breve descripción de las aplicaciones del IoT, así como el enfoque en el IoT, los cuales se tomarán en cuenta en los desafíos, avances aplicados en el IoT industrial.

### 3.2.1 Aplicaciones de las IoT

El IoT tiene un enorme potencial para desarrollar nuevas aplicaciones inteligentes en casi todos los dominios, como aspectos personales, sociales, sociales, médicos, ambientales y logísticos.

Las aplicaciones potenciales de la IoT son numerosas y diversas, que ponen en prácticamente todas las áreas de la vida cotidiana de los individuos, las empresas y la sociedad en su conjunto. A continuación se presentan algunas de las aplicaciones de la IoT: dominio de ciudad inteligente, dominio industrial y dominio de salud y bienestar como muestra la tabla 3.1

**Tabla 3. 1: Dominio de aplicaciones de IoT.**

Dominio	Sub-dominio	Ejemplos
Ciudades inteligentes	Casa inteligente/ Edificios inteligentes	Sistema de seguridad para el hogar, video vigilancia, gestión de acceso, protección infantil
	Movilidad inteligente	Sistemas inteligentes de transporte (ITS) – Gestión del tráfico vehicular. Monitoreo del estado de la carretera. Sistema de estacionamiento.
	Utilidades	Red inteligente: generación, distribución y gestión de energía. Medidor inteligente, gestión inteligente del agua. Movilidad sostenible, servicios de almacenamiento.
	Servicios públicos, seguridad y ambiente supervisión	Servicios públicos. Rescate de emergencia, seguimiento personal, Video / radar / vigilancia satelital. Monitoreo ambiental y territorial.
Servicios industriales	Logística	Fabricación inteligente. Identificación y Seguimiento del producto. Almacén y gestión de inventario. Operaciones de compra y pago rápido.
	Agricultura	Seguimiento de animales, certificación, control Gestión de registro de finca. Riego, monitoreo de producción agrícola
	Procesos industriales	Diagnóstico del vehículo en tiempo real, proceso de ensamblaje, conducción asistida. Manejo de equipaje, operaciones de embarque, Monitoreo de plantas industriales.
Salud, Bienestar	Médico y Cuidado de la salud	Seguimiento de equipos médicos, seguridad. Servicios hospitalarios inteligentes. Monitorización remota de parámetros médicos, diagnósticos.
	Vida independiente	Asistencia personal a domicilio. Bienestar individual.

**Fuente:** (Instituto de Normalización, 2018)

### 3.2.2 Internet de las Cosas Industrial

El IoT incluye todo, desde hogares inteligentes, dispositivos de salud móviles y juguetes conectados hasta el IloT (Internet de las Cosas Industrial) con agricultura inteligente, ciudades inteligentes, fábricas inteligentes y la red inteligente. IloT se puede caracterizar como una vasta cantidad de sistemas industriales conectados que se comunican y coordinan sus análisis de datos y sus acciones para mejorar el desempeño industrial y beneficiar a la sociedad en su totalidad. Los sistemas industriales que conectan el mundo digital con el físico a través de sensores y actuadores que resuelven problemas de control complejos se conocen comúnmente como sistemas físico-cibernéticos.

En la figura 3.3 muestra como la IloT están conectadas entre sí con cada uno de los campos tecnológicos.



**Figura 3. 3:** Campos tecnológicos del IloT.

**Fuente:** El Autor.

### 3.2.3 Desafío de las IloT.

Se necesita la conexión de dispositivos y sistemas en todo el mundo, debido a esto el internet de las cosas industrial agrega requisitos de manera estricta a las redes locales donde se aplica en puntos importantes como latencia, y ancho de banda.

### 3.3 Wi-Fi HaLow impulsando el desarrollo de IoT.

Para obtener el objetivo específico número tres, se procede a realizar la descripción del funcionamiento del Wi-Fi HaLow para el desarrollo de dispositivos IoT en la industria.

### 3.3.1 Inconvenientes en el desarrollo de los dispositivos IoT.

Las principales debilidades de la Wi-Fi IoT tradicional se pueden resumir en obstrucción de señal, potencia alta y corto alcance. Por lo tanto, el 802.11ah también denominado como Wi-Fi HaLow, llegado a considerarse como el estándar Wi-Fi para IoT. Funciona en la banda sub-GHz (750-950MHz) y tiene las capas MAC y PHY para dar nuevos conceptos para abordar las debilidades de Wi-Fi en la comunicación IoT (industrial), manteniendo todos los beneficios del sistema global de conexión ecológica Wi-Fi.

Un beneficio clave de 802.11ah es su rango extendido que lo hace útil para las comunicaciones rurales y para descargar el tráfico de la torre de teléfonos celulares. En términos de distancia escalable, su conexión Wi-Fi moderna actual puede abarcar aproximadamente la longitud de un campo de fútbol sin ser obstruida. Wi-Fi HaLow abarca la mayor parte de una milla.

### 3.3.2 Funciones del Wi-Fi HaLow para el desarrollo de IoT en el sector industrial.

El funcionamiento de HaLow en la banda de 900 MHz está haciendo un mejor trabajo al traspasar paredes, pisos y otros obstáculos en contraste con la banda Bluetooth de 2.4 GHz. Wi-Fi El alcance de HaLow es casi el doble que el Wi-Fi de hoy en día, y no solo será capaz de transmitir más señales, sino que también proporcionará una conexión más robusta, por supuesto, a menor velocidad, en la figura 3.4 se demuestra el funcionamiento que da aporte el Wi-Fi HaLow para las IoT.

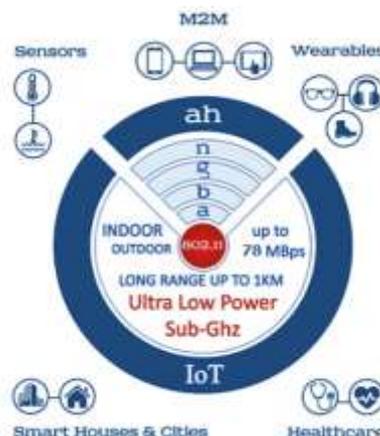


Figura 3. 4: Funcionamiento del Wi-Fi HaLow

Fuente: (Methods2Business, 2017)

### 3.3.3 Características del Wi-Fi Halow

En la tabla 3.2 resume las características de la enmienda 802.11ah para aplicaciones IoT.

**Tabla 3. 2:** Características del 802.11ah para aplicaciones IoT.

Banda de Frecuencia	Bandas de licencia por debajo de 1 GHz: 750 – 950 MHz
Ancho de Banda	1 / 2 / 4 / 8 / 16 MHz
Rango	Hasta 1Km (outdoor)
Velocidad de datos de subida	150 Kbps ~ 346.666 Mbps
Velocidad de datos de bajada	150 Kbps ~ 346.666 Mbps
Dispositivos por Access Point	8,191 dispositivos
Topología	Estrella, Árbol

**Fuente:** *El Autor.*

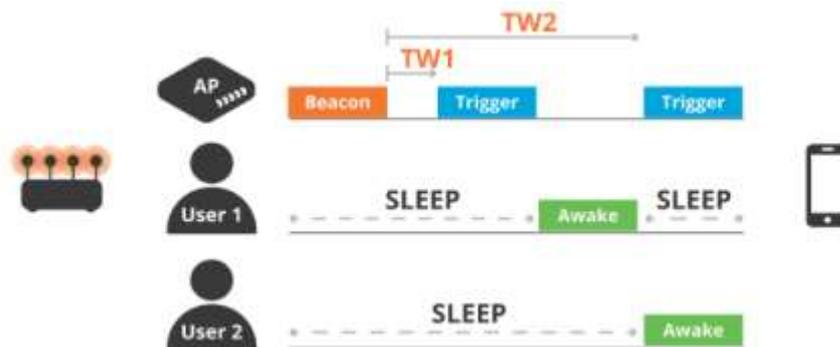
### 3.3.4 Distancia

Las frecuencias más bajas de menos de 1 GHz y los canales de RF de banda más estrecha, lo cual proporcionan 10 veces el alcance de la conexión usando la banda de 2.4GHz, a los mismos niveles de potencia del transmisor. Un AP HaLow puede cubrir 100 veces el área y 1000 veces el volumen de los puntos de acceso Wi-Fi tradicionales.

### 3.3.5 Batería

Su bajo consumo de energía se debe a su transmisión intermitente de datos que permiten que los sensores de los dispositivos IoT se enciendan solo por un corto período de tiempo, conservando así la energía y produciendo una batería de larga duración. Wi-Fi HaLow tiene el potencial de ofrecer muchos de los beneficios que los consumidores esperan de Wi-Fi hoy en día a medida que la tecnología inalámbrica y el IoT continúan creciendo.

El TWT tiene como función permitir a los dispositivos tener una negociación con el AP, en cuanto y cuando el dispositivo despierte permita enviar o recibir los datos. El aumento de tiempo de sueño de un dispositivo de mejora sustancialmente la vida de la batería. Además de reducir el consumo de energía mediante la identificación explícitamente los tiempos cuando una estación debe estar despierto, el funcionamiento programado de TWT adicionalmente permite reducir la sobrecarga e intervenciones en la conexión. En la figura 3.5 permite demostrar el funcionamiento del TWT para el ahorro de batería en los dispositivos IoT.



**Figura 3. 5:** *Funcionamiento TWT para el ahorro de batería.*

**Fuente:** (Seok, 2016)

### 3.3.6 Alcance y Seguridad

Las frecuencias más bajas utilizadas por Wi-Fi HaLow pueden traspasar a través de varios materiales de construcción mejor que 2.4GHz y 5GHz, mientras consumen menos energía.

Wi-Fi HaLow utiliza la modulación OFDM para corregir reflejos y entornos de múltiples rutas. Los fabricantes de dispositivos pueden estar seguros de una conexión sólida HaLow al AP. La protección de los paquetes de datos que controlan las operaciones de fábrica es de suma importancia. Los productos Wi-Fi HaLow se prueban y certifican de acuerdo con el nuevo estándar WPA3, cumpliendo con las pautas de seguridad más estrictas. Esto proporciona la base para la autenticación de dispositivos que se conectan al AP y el cifrado de datos sólidos a través de las ondas aéreas. HaLow es tan seguro como la última generación de Wi-Fi.

Debido a que Wi-Fi HaLow permite actualizaciones rápidas de firmware y tiene las velocidades de datos para hacerlo, se puede actualizar continuamente por seguridad, a diferencia de las tecnologías de baja velocidad de datos.

### **3.3.7 Capacidad**

Wi-Fi HaLow incluye una capacidad MAC completa, mayor ancho de banda de datos y protocolos de seguridad de autenticación / cifrado más fuertes. El estándar admite 8.191 nodos por punto de acceso, con una topología de red en estrella que garantiza una baja congestión de red y baja latencia, debido a esto, no sufre los problemas de capacidad de las redes en malla.

### **3.4 Procesamiento de información en sitio, tomando referencia una bodega ubicada en el sector industrial en la ciudad de Guayaquil.**

Para alcanzar el objetivo específico número cuatro, primero se hará una breve descripción de la bodega en el sector industrial, así como su ubicación geográfica, luego se procederá a realizar un diagrama, lo cual se analizará con detalle para conocer el procedimiento

#### **3.4.1 Descripción de la Bodega Panatel del Ecuador S.A.**

La empresa PANATEL COMMUNICATIONS fue fundada en el año 2014 bajo la razón social de Panatel del Ecuador S.A. Es una empresa con la finalidad de proveer una variedad de productos tecnológicos y servicios innovadores, prestadora de servicio de empaquetado en el área de telecomunicaciones, así como brindar construcción y mantenimiento a redes HFC (*Híbridas de Fibra y Coaxial*), en la figura 3.6 muestra donde se encuentra sus instalaciones.



**Figura 3. 6:** *Panatel del Ecuador S.A.*

**Fuente:** *El Autor.*

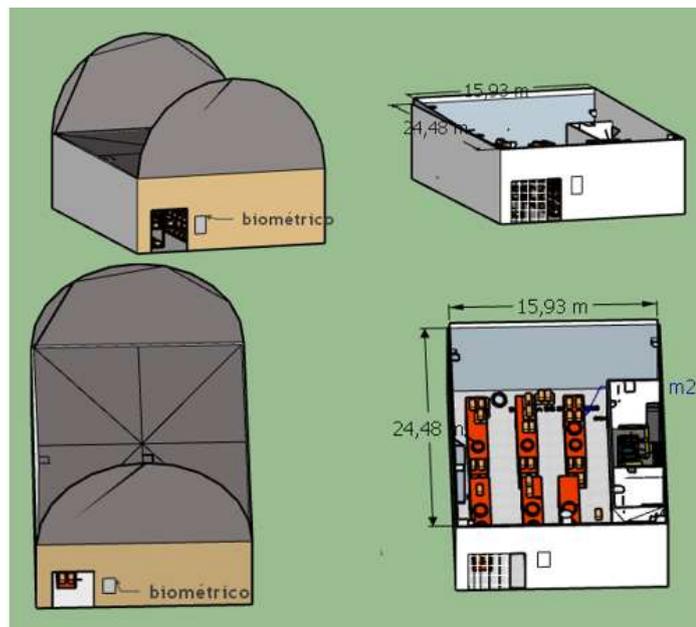
### 3.4.2 Ubicación geográfica

Se encuentra ubicada en el sector industrial de la ciudad Guayaquil a la altura del km 8.5 de la vía a Daule. Como se puede observar en la figura 3.7. La Bodega de Panatel del Ecuador S.A, cuenta con su propia subestación eléctrica, la bodega se encuentra dentro del galpón de una planta; tiene como dimensiones; 120 metros cuadrados, los cuales 24,48 metros de largo y 15,93 metros de ancho y cuenta con un sistema de seguridad por medio de circuito cerrado de cámara de seguridad y sensores que permiten llevar el control de acceso a la bodega.



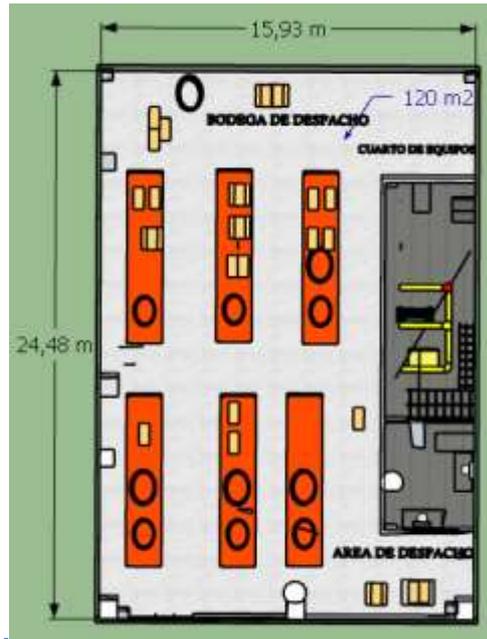
**Figura 3. 7:** Distribuidora Panatel del Ecuador S.A.

**Fuente:** El Autor.



**Figura 3. 8:** Vista panorámica de la bodega Panatel

**Fuente:** El Autor



**Figura 3. 9:** *Diagrama frontal de la bodega Panatel*

**Fuente:** *El Autor*

En la bodega se almacenan los elementos pasivos, activos que conforma una red HFC como (herrajes, taps, amplificadores, hebillas, cajas de aluminio, mini postes), tal como se muestra en la figura 3.8 y 3.9 un diagrama interno de la bodega.

### **3.4.3 Cuarto de Equipos.**

Actualmente la empresa tiene un cuarto de equipos, en el cual se encuentran ubicados los servidores centrales, se procederá a realizar la colocación de la unidad de control de sensor, se ubicará en el rack en el cuarto de comunicación, tal como se muestra la figura 3.10.



**Figura 3. 10:** *Cuarto de equipos.*

**Fuente:** *El Autor.*

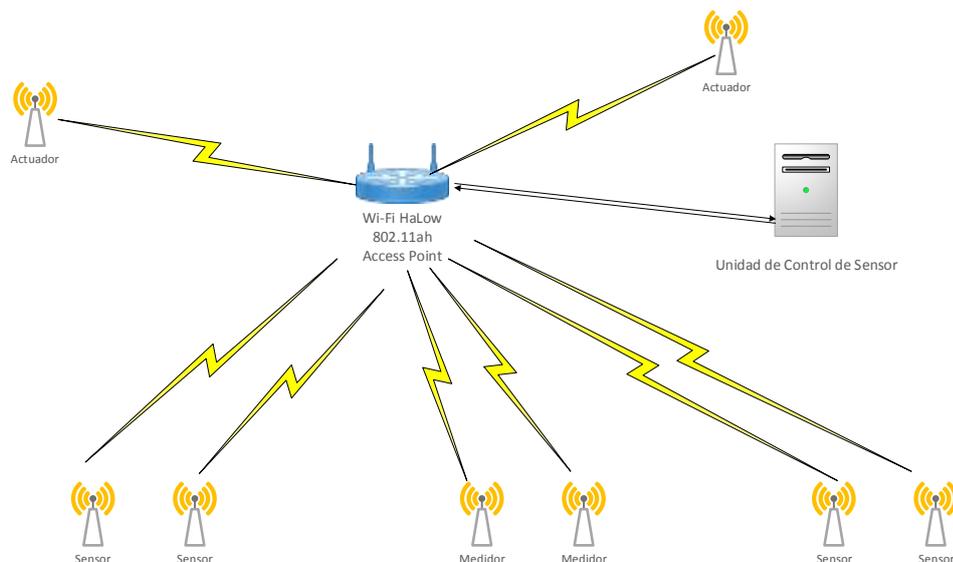
### 3.4.4 Estudio de la implementación en bodega para inventariado.

Los sistemas de IoT pueden diseñarse para analizar la información sobre el de inventario y el uso de diferentes productos y materiales. Con esta información, la empresa puede llegar a identificar el contenido de su bodega y administrar su inventario de manera más eficiente. Puede llegar a monitorizar el inventario de manera mucho más eficiente, realizando la instalación de sensores de IoT, los cuales permiten verificar sus niveles en cualquier momento y recibir alertas cuando el stock escasea.

### 3.4.5 Red

Actualmente la bodega usa un sistema de automatización tradicional compuesta por detectores de humo, movimiento y cámaras de seguridad. Se realiza un diseño implementando dispositivos IoT, el cual se aplicará con la tecnología IEEE 802.11ah o Wi-Fi HaLow.

El siguiente esquema está compuesto por un AP 802.11ah Wi-Fi HaLow que permitirá enlazarse con varios dispositivos como medidores, actuadores y sensores que serán ubicados en la bodega, donde se encuentra los productos, tal como lo muestra la figura 3.11. Cada componente de la red se detallará en los siguientes enunciados.



**Figura 3. 11: Red 802.11ah**

**Fuente: El Autor.**

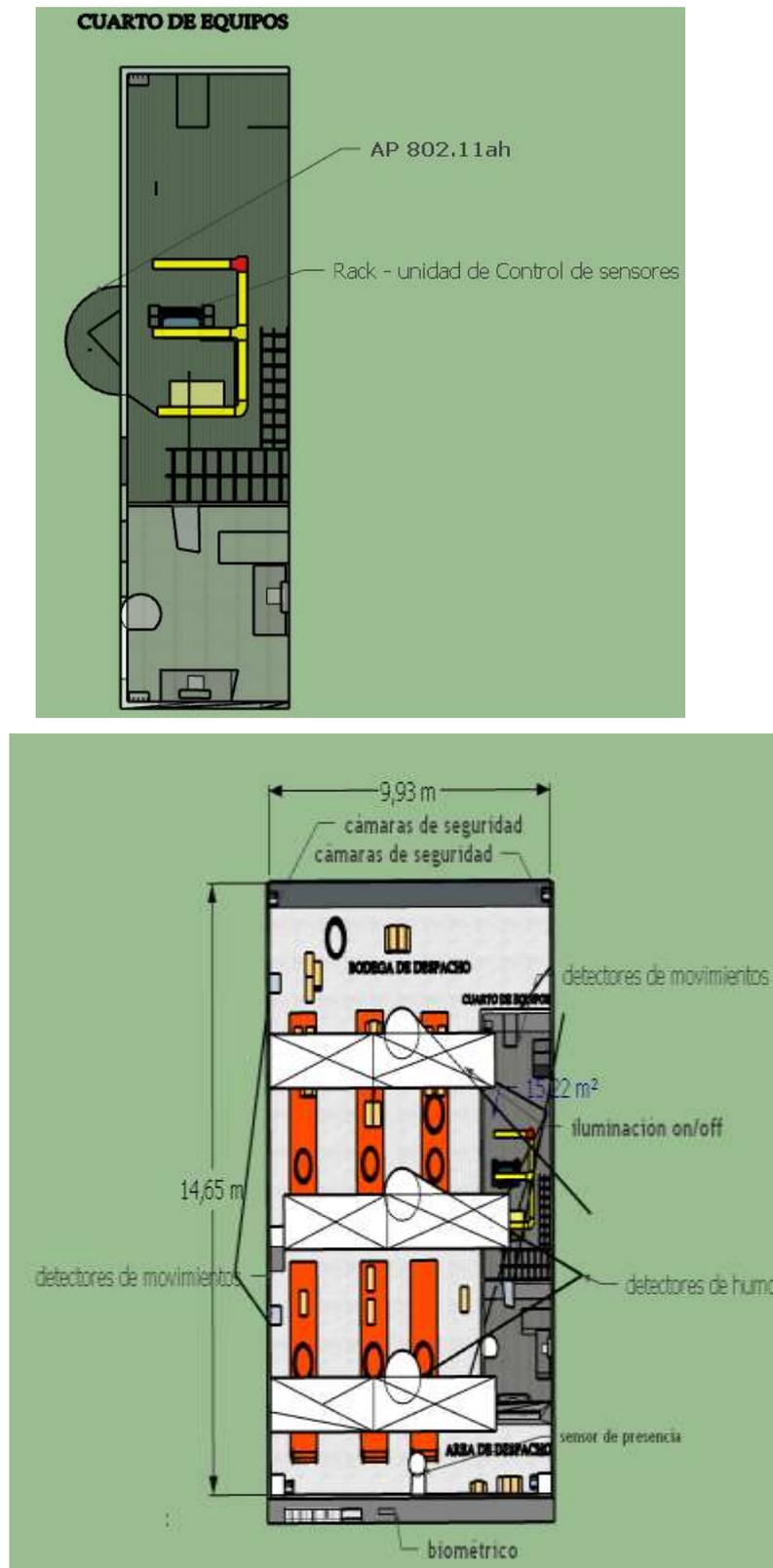
### 3.4.6 Procedimiento de la distribución de equipos

Tal como se mostró en la figura 3.11, Se realiza un diseño de una red inalámbrica para la red de sensores y actuadores en una bodega; el cual permitirá llevar el control de registros de la mercadería así como el monitoreo, en el cual consiste en colocar un AP 802.11ah en el aire libre con banda de frecuencia de 900 MHz y un ancho de banda de 16 MHz y se interconectan con cada una de las estaciones tales como; sensores de movimiento, de temperatura, sistema biométrico, actuadores, lectores de RFID y cámaras de seguridad, se encuentran desplegados en el interior de la bodega. Los dispositivos aumentan la automatización distribuida, lo cual se registrarán los datos en el servidor donde está el sistema de control.

El sistema de control de sensores, recibe la información del entorno, el cual realizar algún tipo de acción por medio de sensores, esa información aporta datos para que el controlador indique que acción debe realizar, luego esa acción se lleva a cabo por un actuador que tiene la capacidad de activarse.

- Una de las funciones del AP 802.11ah permitirá configurar el tiempo de reposo de los dispositivos para el ahorro de energía usando la tecnología TWT.
- Se procederá a instalar sensores de temperatura, humo y de movimiento en las partes laterales de la bodega para tener un control de cada sector.
- Los sensores de movimiento permitirán la habilitación de la iluminación.
- Sensores que permitan almacenar datos, con respecto a registro de la mercancía.
- Se colocaran cámaras de seguridad en los extremos de la bodega para tener un control de cada área.
- En la entrada principal, se colocara un sensor de presencia, así como un lector biométrico, para tener un control del personal que ingrese a la bodega.
- Para el despacho de equipos y recepción de los equipos o cajas se utilizará un lector con la tecnología RFID, así permitiendo un mejor control del inventario.
- En el rack ubicado en el cuarto de equipos se realizará la colocación de la unidad de control de sensores y en un punto estratégico se colocara el AP 802.11ah.
- Además, puede emplear un controlador que cumpla función de un servidor para administrar la seguridad. La densidad máxima de clientes que pueden ser atendidos de esta manera generalmente se mide en términos de cientos de

clientes por AP, bastante baja. En la figura 2.11 indica la distribución de los componentes de la red 802.11ah.



**Figura 3. 12:** Distribución de componentes de la red 802.11ah

**Fuente:** El Autor.

### 3.4.7 Caso de aplicación de un proceso de rotación de artículos en un almacén

Para realizar el proceso de rotación de artículos el usuario activa los sensores para habilitar el proceso de recepción y salida de la carga:

- Se procede con el análisis de la disponibilidad del producto en el almacén, y verificación de la sección de productos, luego procede a revisar en el percha de reserva y procede al fraccionamiento de carga y consulta la verificación del carga y si no hay en stock se realiza el proceso de la solicitud de carga, para siguiente acción en realizar la recepción de pedido.
- Realiza la verifica luego verifica la carga e inicia el proceso de sección del producto y realiza la manipulación del mismo, empieza la preparación del pedido y pasa por el control de calidad y embalaje para así realizar la salida del producto, de ahí procede a aplicarse la función del AP 802.11ah, luego de todos los procesos pone a modo ahorro de batería hasta realizarse nuevamente el verificación de la carga.

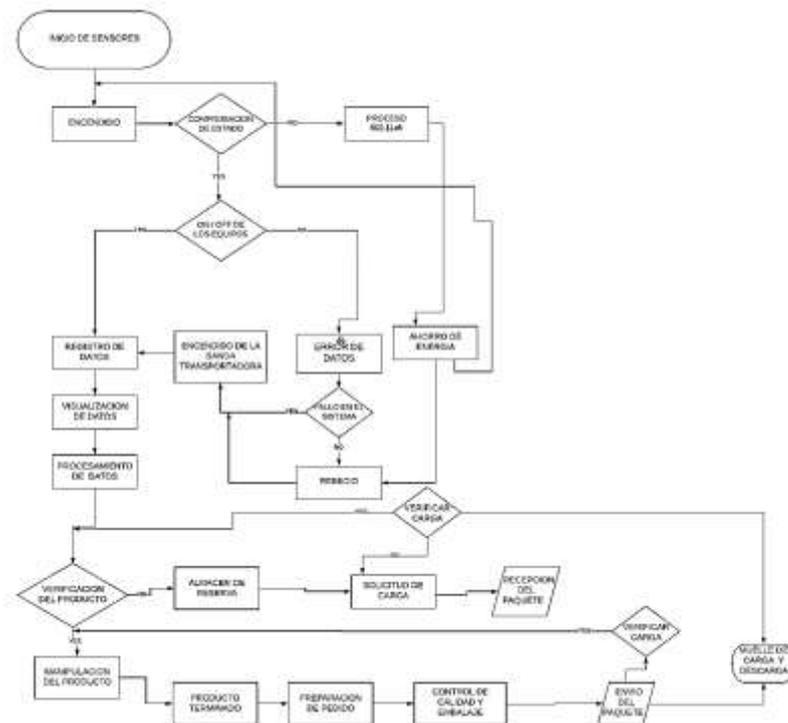


Figura 3. 13: Diagrama de flujo aplicación de 802.11ah para las IoT industrial

Fuente: El Autor

## **CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones.**

- De acuerdo con la bibliografía revisada del Protocolo IEEE 802.11ah, en la actualidad es el más usado para implementaciones de los dispositivos IoT industrial.
- Con el análisis de las aplicaciones de las IoT, se facilitó la comprensión para realizar futuras implementaciones en los diferentes campos en el entorno de las IoT.
- El estándar IEEE 802.11ah o Wi-Fi HaLow, está considerado uno de las tecnologías que impulsan a las IoT, debido a sus características en comparación a las otras tecnologías, así como su bajo consumo de batería, y alto índice de cobertura para aplicarse al sector industrial.
- En base al estudio y análisis del protocolo 802.11ah, se presentó un diagrama de red a desplegarse en el sector industrial, teniendo como referencia una bodega ubicada en la ciudad de Guayaquil.

## **4.2 Recomendaciones.**

De acuerdo con lo observado durante el desarrollo de la investigación se detallarán algunos puntos para tener en cuenta futuras implementaciones de esta tecnología para aplicaciones industriales.

- Se recomienda realizar un seguimiento continuo del estándar 802.11ah, ya que se encuentra aún en desarrollo e ira presentando avances y nuevas características que pueden llegar a dar un gran aporte para su aplicación.
- Por otra parte, para realizar un estudio y comprensión, se recomienda realizar pruebas reales con equipos físicos que incorporen el estándar 802.11ah.
- Para futuras implementaciones, se debe considerar los espacios confinados para llevar a cubrir lugares donde no se tiene cobertura para un mejor control del inventario.

## REFERENCIAS BIBLOGRAFIAS

- Aust, S., Prasad, R., & Niemegeers, I. (2012). IEEE 802.11ah: Advantages in standards and further challenges for sub 1 GHz Wi-Fi. (pp. 6885-6889). Ottawa, ON, Canada: IEEE. doi:10.1109/ICC.2012.6364903
- Cisco. (2014). *802 . 11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi. In Cisco Public Information.* Retrieved from <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf>
- Guadalupe, J. C. (2017). *SIMULACIÓN DEL DESPLIEGUE DE REDES BAJO EL ESTANDAR 802.11 ah (WIFI HALOW) PARA APLICACIONES IOT.* Retrieved from Repositorio de ESPE: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12504/1/T-ESPE-053611.pdf>
- Instituto de Normalización, A. S. (2018). *INTERNET OF THINGS (IoT) TECHNOLOGY, ECONOMIC VIEW AND TECHNICAL STANDARDIZATION.* Retrieved from <https://portailqualite.public.lu/dam-assets/publications/normalisation/2018/whitepaper-iot-july-2018.pdf>
- Keyur K. Patel, S. M. (2016). Internet of Things-IOT Definition. Retrieved from <https://doi.org/10.4010/2016.1482>
- Luis, J. (2016). Pag. 72. Retrieved from [http://www.methods2business.com/wifi-halow-technology](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F7-Cap%C3%ADtulo3+-+Redes+inal%C3%A1mbricas+de+%C3%A1rea+local+%28WLAN%29.pdf+Methods2Business. (2017). <i>Wi-Fi HaLow for IoT – 802.11ah Technology.</i> Retrieved from <a href=)
- Mosquera, A. (2019). *Estudio Y Análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax Y 5G para el desarrollo del Internet de las Cosas.* Retrieved from Repositorio de UCSG: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13364/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-350.pdf>
- Network, M. (2019). Retrieved from <http://www.madridnetwork.org/red/audiovisual>
- Oktaviana, A., Perdana, D., & Negara, R. (2018). Performance Analysis on IEEE 802.11ah Standard with Enhanced Distributed Channel Access Mechanism. *CommIT (Communication & Information Technology)*, Pag. 35-42. Retrieved from <https://journal.binus.ac.id/index.php/commit/article/view/3908/0>

- Ruiz Castillo, M. A. (2016). *Modelado de un sistema de comunicación digital utilizando modulaciones DPSK, OQPSK Y QAM sobre la plataforma optisystem*. Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/5173>
- S. Aust, R. V. (2012). IEEE 802.11ah: Advantages in standards and further challenges for sub 1 GHz Wi-Fi. (pp. 6885-6889). Ottawa, ON, Canada: IEEE. doi:10.1109/ICC.2012.6364903
- Salazar, J. (2012). *Redes Inalámbricas*. Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01\\_R\\_ES.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf)
- Seok, Y. (2016). *IEEE 802.11AH (WI-FI IN 900 MHZ LICENSE-EXEMPT BAND) FOR IOT APPLICATION*. Retrieved from <https://www.standardsuniversity.org/e-magazine/august-2016-volume-6/ieee-802-11ah-wi-fi-900-mhz-license-exempt-band-iot-application/>
- Serrano Rubio, J. M. (2008). *Estudio y simulación a través de Matlab del efecto de la no linealidad en sistemas OFDM*. Universidad de Sevilla - Escuela Superior de Ingenieros, España. Retrieved from [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11629/fichero/Proyecto+fin+de+carrera%252F4\\_Sistemas+OFDM.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11629/fichero/Proyecto+fin+de+carrera%252F4_Sistemas+OFDM.pdf)
- Sharma, P., Chaurasiya, R. K., & Saxena, A. (2013). Comparison analysis between IEEE 802.11a/b/g/n. 4(5), 988-993. Retrieved from <https://www.ijser.org/researchpaper/Comparison-analysis-between-IEEE-802-11a-b-g-n.pdf>
- Sharma, P., Chaurasiya, R. K., & Saxena, A. (2013). Comparison analysis between IEEE 802.11a/b/g/n. 4(5), 988-993. Retrieved from <https://www.ijser.org/researchpaper/Comparison-analysis-between-IEEE-802-11a-b-g-n.pdf>
- Sun, W., Choi, M., & Choi, S. (2014). IEEE 802.11ah: A Long Range 802.11 WLAN at Sub 1 GHz. (J. o. Standardization, Ed.) Vol. 1, 83-108. Retrieved from [http://riverpublishers.com/journal/journal\\_articles/RP\\_Journal\\_2245800X\\_115.pdf](http://riverpublishers.com/journal/journal_articles/RP_Journal_2245800X_115.pdf)
- Tabbane, S. (2018). *IoT Standards Part I: IoT Technology and Architecture*. Retrieved from <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/Documents/Events/2018/IoT-BDG/IoT%20Standards%20Part%20I%20Sami.pdf>

Tellas, R. (2018). *The Evolution and Progress of Wireless Standards*. Retrieved from <https://www.belden.com/blog/smart-building/the-evolution-and-progress-of-wireless-standards>

Vegt, R. (2011). Retrieved from <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/11/11-11-0457-00-00ahpotentialcompromise-of-802-11ah-use-case-document.pptx>.

Weiping Sun, M. C. (2013). IEEE 802.11ah: A Long Range 802.11 WLAN at Sub 1 GHz. (J. o. Standardization, Ed.) *Vol. 1*, 83-108. Retrieved from [http://riverpublishers.com/journal/journal\\_articles/RP\\_Journal\\_2245800X\\_115.pdf](http://riverpublishers.com/journal/journal_articles/RP_Journal_2245800X_115.pdf)

## **Glosario de Términos**

**IoT:** Internet of Things

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**AP:** Access Point

**PHY:** Capa Física

**MAC:** Capa de control de acceso al medio

**WLAN:** Wireless Local Area Network

**TWT:** Take wake Time

**TDD:** Full duplex por división de tiempo

**DBPSK:** Modulación por desplazamiento de fase binaria diferencial

**DQPSK:** Modulación por desplazamiento de fase cuadrática diferencial

**CSMA/CA:** Acceso múltiple por detección de portadoras y prevención de colisiones

**DSSS:** Espectro ensanchado por secuencia directa

**SISO:** Single input, single output

**GHz:** Giga Hertz

**MHz:** Mega Hertz

**Mbps:** Megabit por segundo

**ODFM:** Multiplexación ortogonal por división de frecuencia

**SS:** Espectro expandido

**MIMO:** multiple input, multiple output

**QAM:** modulación de amplitud de cuadratura

**TIM:** indicador de tráfico

**IE:** elemento de información

**AID:** identificador

**STA:** estación

**WWW:** World wide web

**IIoT:** internet de las cosas industrial

**BSS:** Basic service set

**RFID:** Radio Frequency Identification

**NFC:** Near field communication

**M2M:** Machine to machine

**HFC:** Hibrid Fiber Coaxial

**IBSS:** Independent Basic Service set

**ESS:** Extended service set

**DS:** Distribution System



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Crespo Nath, Eloy Fabricio** con C.C: # 092687835-6 autor del Trabajo de Titulación: “Estudio y Análisis del protocolo IEEE 802.11ah para el desarrollo del Internet de las cosas (IoT) en el sector industrial”, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 2 de marzo del 2020

f. \_\_\_\_\_

Nombre: Crespo Nath, Eloy Fabricio

C.C: 092687835-6



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio y Análisis del protocolo IEEE 802.11ah para el desarrollo del Internet de las cosas (IoT) en el sector industrial.		
<b>AUTOR(ES)</b>	CRESPO NATH, ELOY FABRICIO		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	ROMERO ROSERO, CARLOS BOLIVAR		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	2 de marzo del 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	52
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Tecnologías Inalámbricas de Comunicación		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	IoT, IEEE, PHY, TWT, WLAN, MAC		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>El avance de las telecomunicaciones ha ayudado a la innovación de las tecnologías. En la actualidad los cambios que se ha llevado a cabo en la Internet hace necesario diseñar sistemas de comunicaciones que operen en diferentes espectros inalámbricos como alternativa a los sistemas de acceso inalámbrico, considerando algunas especificaciones como; contar con una tecnología inalámbrica de bajo consumo de energía, confiable y disponible. Las redes inalámbricas han evolucionado de conexiones lentas a una tecnología proporcionando una conectividad increíblemente versátil y juega un papel integral en la vida de cientos de millones de personas, así como uso de aplicaciones. El IEEE ha desarrollado modificaciones al estándar original IEEE 802.11 para lograr mayores prestaciones y utilidades expuestas en las redes WLAN introdujo el nuevo estándar 802.11ah. En el presente proyecto se recopila, procesa y sistematiza la información referente al 802.11ah (Wi-Fi HaLow), detallando características propias de la capa física y capa MAC, agregando mecanismos como BSS Color y TWT que permitirán al Wi-Fi HaLow ayudar a los dispositivos del Internet de las cosas IoT en su rendimiento. Finalmente se realiza un diagrama para implementar una red 802.11ah en una bodega del sector industrial en la ciudad de Guayaquil, presentando las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente proyecto.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-987520585	<b>E-mail:</b> favrixio_23@outlook.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-67608298		
	<b>E-mail:</b> edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>No. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>No. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			