



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

#### Maestría en Telecomunicaciones

### Análisis de los protocolos y tecnologías de comunicación para redes de sensores aplicados a la agricultura de precisión en zonas andinas

Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Magíster  
en Telecomunicaciones

#### AUTOR:

Ing. Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima

#### DIRECTOR:

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2023

Educamos para **Transformar**

Educamos para **Transformar**



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

POSGRADO

Maestría en  
Telecomunicaciones

## Certificación

Loja, 12 de mayo del 2023

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis de los protocolos y tecnologías de comunicación para redes de sensores aplicados a la agricultura de precisión en zonas andinas**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de autoría del estudiante **Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima**, con cédula de identidad N° **1104460389**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

POSGRADO

Maestría en  
Telecomunicaciones

## Autoría

**Yo, Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

### Firma:

**Autora:** Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima

**Cédula de Identidad:** 1104460389

**Fecha:** 16 de mayo del 2023

**Correo electrónico:** mariuxi.chuinda@unl.edu.ec

**Teléfono :** 0984886508



**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del trabajo de Titulación.**

Yo, **Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis de los protocolos y tecnologías de comunicación para redes de sensores aplicados a la agricultura de precisión en zonas andinas**, como requisito para optar el título de **Magíster Telecomunicaciones**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dieciséis días del mes de mayo de dos mil veintitrés.

**Firma:**

**Autor:** Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima

**Cédula:** 1104460389

**Dirección:** Cdla Pío Jaramillo Alvarado / Calle Onas 12-25 y Cañarís

**Correo Electrónico:** mariuxi.chuinda@unl.edu.ec

**Celular:** 0984886508

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.



## Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a mi madre y hermanas; agradecerles por el apoyo incondicional que me han brindado en cada paso de mi vida académica; su amor y aliento han sido fundamentales en todo momento; a ti Gigi por tu apoyo de siempre. Gracias por entender las veces que estuve ausente y por su gran paciencia.

Cada una de ustedes ha sido una fuente de inspiración para mí, enseñándome valores como la perseverancia, la disciplina y la dedicación. Sus palabras de aliento me han dado fuerza en los momentos difíciles y han sido el impulso que necesitaba siempre para seguir adelante.

Este proyecto no solo es el resultado de mi esfuerzo, sino que es el fruto del amor y apoyo que me han brindado durante toda mi vida. Espero que este logro les llene de orgullo tanto como a mí, y que puedan sentirse parte de este importante momento.

Una vez más, gracias por ser mi roca, mi soporte y mi inspiración. Este logro no habría sido posible sin ustedes. Las amo con todo mi corazón.

***Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima***



## Agradecimiento

Este logro no hubiera sido posible sin la ayuda y el apoyo de muchas personas, y en este momento me gustaría tomar un momento para expresar mi sincero agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a DIOS por darme la fuerza, el coraje y la determinación para enfrentar los desafíos que encontré en el camino.

También quiero agradecer a mi familia y amigos por su amor, apoyo y paciencia incondicionales durante todo este proceso. Ustedes me han brindado su ánimo en los momentos más difíciles y han celebrado cada pequeña victoria conmigo. No puedo expresar con palabras lo agradecida que estoy por su presencia en mi vida.

Asimismo, quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja y a todos los profesores y miembros del personal que me brindaron su asesoramiento, conocimientos y recursos durante mi carrera. Su dedicación y pasión por la educación me inspiraron a alcanzar esta meta académica.

Finalmente, quiero agradecer a mi director de tesis el Ing. Rodolfo Pabel Merino, quien me brindó su orientación, retroalimentación y mentoría durante todo este proceso.

Una vez más, gracias a todos por su apoyo y confianza en mí. Espero seguir trabajando duro y darles a todos la oportunidad de estar orgullosos de mí.

***Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima***



## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización.</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
Índice de contenidos .....	<b>vii</b>
Índice de tablas.....	<b>viii</b>
Índice de figuras .....	<b>viii</b>
Índice de anexos .....	<b>vii</b>
<b>1 Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract.....	<b>4</b>
<b>3 Introducción</b> .....	<b>6</b>
<b>4 Marco Teórico</b> .....	<b>9</b>
4.1 Redes de Sensores Inalámbricas .....	<b>9</b>
4.2. Zigbee.....	<b>10</b>
4.3. SigFox.....	<b>10</b>
4.4. LoRa .....	<b>12</b>
4.5. Comunicación M2M.....	<b>13</b>
<b>5 Metodología</b> .....	<b>14</b>
5.1. Método de la investigación .....	<b>14</b>
<b>6 Resultados</b> .....	<b>16</b>
<b>7 Discusión</b> .....	<b>23</b>
<b>8 Conclusiones</b> .....	<b>25</b>
<b>9 Recomendaciones.</b> .....	<b>27</b>
<b>10 Bibliografía</b> .....	<b>29</b>
<b>11 Anexos</b> .....	<b>30</b>



**Índice de Tablas:**

**Tabla 1.** Cuadro comparativo de las tecnologías IOT..... 17

**Índice de Figuras:**

**Figura 1.** Sigfox usado para enviar valores de la altura de los cultivos..... 12

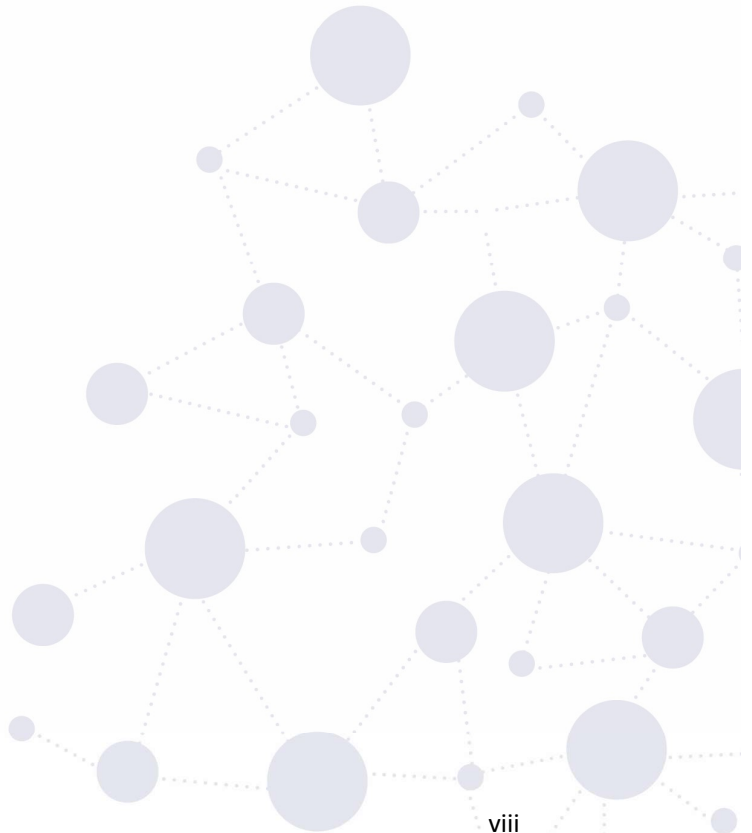
**Figura 2.** PROCESO DE INVESTIGACION. .... 15

**Figura 3.** Esquema de un sistema de IOT con LORA. .... 23

**Anexos:**

**Anexo 1.** Normas técnicas de espectro de uso libre y de espectro para uso determinado en bandas libres..... 30

**Anexo 2.** Certificado de traducción del resumen ..... 56







UNL

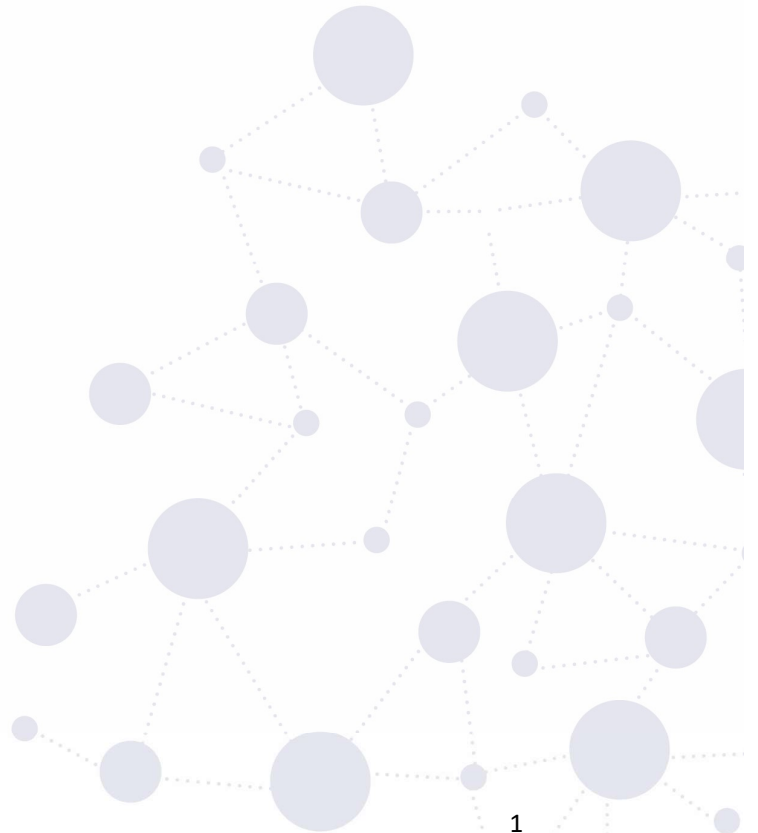
Universidad  
Nacional  
de Loja

POSGRADO

Maestría en  
Telecomunicaciones

## 2. Título

Análisis de los protocolos y tecnologías de comunicación para redes de sensores aplicados a la agricultura de precisión en zonas andinas





## 2. Resumen

La agricultura, es una de las actividades humanas más antiguas y esenciales para la vida, se encuentra en constante evolución para hacer frente a los desafíos modernos. En este contexto, el Internet de las cosas IoT ha surgido como una solución innovadora que está revolucionando la forma en la que los agricultores realizan y aplican sus técnicas. La combinación de sensores, dispositivos y conectividad ha abierto nuevas posibilidades para el monitoreo, gestión y optimización de los cultivos, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas en tiempo real y mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus operaciones agrícolas. Desde el seguimiento del clima y la gestión del riego, hasta el monitoreo del ganado y la automatización de tareas agrícolas, la IoT está cambiando la forma en que se producen los alimentos. Existen muchos tipos de tecnologías para IoT, como las principales tenemos Sigfox que es una red LPWAN de bajo consumo de energía que proporciona una conectividad global para dispositivos IoT. Zigbee es una tecnología de red inalámbrica de corto alcance y baja potencia que se utiliza principalmente para aplicaciones de automatización del hogar y de la industria. LoRa es una tecnología de red inalámbrica LPWAN que se utiliza para la comunicación de larga distancia y bajo consumo de energía en aplicaciones de IoT. LoRa ofrece una gran cobertura de red, lo que la hace adecuado para aplicaciones que requiere una amplia área de cobertura, como monitoreo agrícola o seguimiento de activos. Además, LoRa tiene una alta capacidad de penetración en estructuras urbanas y rurales. NB-IoT Narrowband Internet of Things, es una tecnología de comunicación de red inalámbrica diseñada específicamente para aplicaciones de Internet de las cosas IoT. Es una de las tecnologías de red de baja potencia y largo alcance que se utilizan para conectar dispositivos IoT a la red de manera eficiente y confiable, NB-IoT utiliza la infraestructura de red celular existente, lo que permite una implementación rápida y escalable. Bluetooth es una tecnología de red inalámbrica de corto alcance que se utiliza ampliamente en aplicaciones de IoT, como dispositivos portátiles, dispositivos médicos y automatización del hogar. Bluetooth ofrece una alta velocidad de transmisión de datos y es ampliamente compatible con dispositivos móviles y otros dispositivos electrónicos. Sin embargo, la cobertura de Bluetooth es limitada en comparación con LPWAN y otras tecnologías de red, ya que su alcance es corto y puede verse afectado por obstáculos físicos.



Las zonas andinas de Ecuador son una región geográfica que se caracterizan por ser una región montañosa. Esta topografía montañosa tiene un profundo impacto en el clima y la biodiversidad. El clima en las zonas andinas de Ecuador también es característico. Debido a la altitud, las temperaturas suelen ser más frescas y cambiantes en comparación con las regiones costeras o amazónicas del país. Sin embargo, también existen desafíos en las zonas andinas de Ecuador. El acceso a servicios básicos como la educación y la salud puede ser limitado en algunas áreas remotas y montañosas. La falta de infraestructura de transporte y comunicación en algunas zonas dificulta la conectividad y la integración económica y social.

Según la información revisada, Sigfox y LoRa que son las principales tecnologías para la transmisión de largo alcance y LPWAN son las mejores y más importantes pero luego de analizar detalladamente las características de ambas se determinan que la que mejor se adapta a las condiciones de las zonas andinas es LoRa esto se debe a que tiene ventajas tanto técnicas como económicas sobre los protocolos establecidos como Wi-Fi debido a su largo alcance y conservación de energía, es más, el costo de instalar y mantener la infraestructura LoRa es más barato que el de las redes celulares, esto se debe a que el ancho de banda de LoRa es menor que el de ellos, otra ventaja de LoRa es que se puede configurar sus redes e infraestructura fácilmente, en otras tecnologías LPWAN, esto puede ser imposible. Existen múltiples campos donde se puede aplicar la tecnología LoRa de mucha mejor manera, es decir donde se usa de forma ideal y es en lugares donde no hay acceso a la electricidad sus dispositivos funcionan principalmente con baterías o pilas, esta característica de LoRa encaja perfectamente para su aplicación en zonas rurales, no hay necesidad de mensajes instantáneos, y donde es difícil acceder físicamente a la red.

*Palabras Clave: IoT, LPWAN, Zigfox, LoRa, zonas andinas, agricultura inteligente.*



## 2.1. Abstract

Agriculture is one of the oldest and most essential human activities for life which constantly evolves to face modern challenges. In this context, the Internet of Things (IoT) has emerged as an innovative solution that transforms the way farmers perform and apply their techniques. The combination of sensors, devices, and connectivity has opened up new possibilities for crop monitoring, management, and optimization, allowing farmers to make decisions in real-time and improve the efficiency and sustainability of their agricultural operations. From weather tracking and irrigation management to livestock monitoring and farm task automation, IoT is changing the way food is produced. There are many types of technologies for IoT, such as Sigfox, a low-power LPWAN network that provides global connectivity for IoT devices. Another type is Zigbee, a short-range, and low-wireless network technology that is mainly used for home and industrial automation applications. Finally, the last one is LoRa, an LPWAN wireless network technology used for long-distance, low-power communication in IoT applications. LoRa offers large network coverage, making it suitable for applications that require a wide coverage area, such as agricultural monitoring or asset tracking. In addition, LoRa has a high capacity for deployment in urban and rural structures. NB-IoT Narrowband es a wireless network communication technology designed especially for The Internet of Things (IoT). One of the low-power, long-range network technologies used to connect IoT devices to the network efficiently and reliably, NB- IoT uses the existing mobile network infrastructure, allowing for rapid and scalable deployment. Bluetooth is a short-range wireless network technology widely used in IoT applications such as wearable, medical devices, and home automation. However, Bluetooth coverage is limited compared to LPWAN and other network technologies, as its range is short and can be affected by physical obstacles.

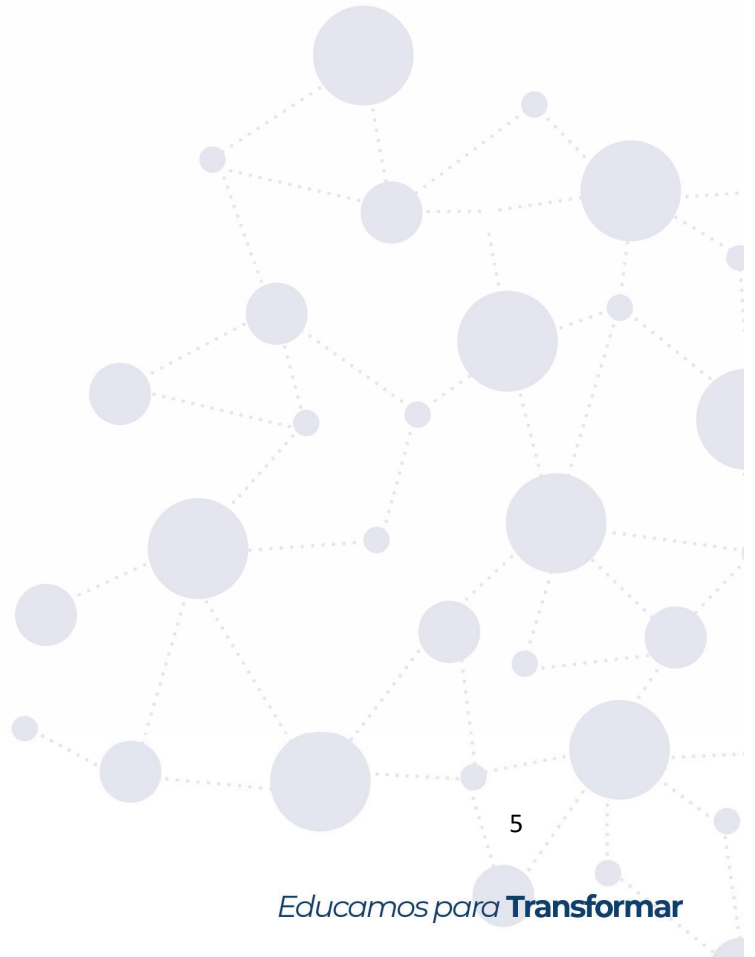
The Andean zones of Ecuador are a geographic region characterized by mountainous terrain. This mountainous topography has a profound impact on climate and biodiversity. The weather in the Andean areas of Ecuador is also characteristic due to the altitude, and the temperatures tend to be cooler and more changeable compared to the coastal or Amazonian regions of the country. Nevertheless, there are also challenges in the Andean areas of Ecuador. For example, access to basic services such as education and



health care can be limited in some remote and mountainous areas. Also, the lack of transportation and communication infrastructure in some areas hinders connectivity and economic and social integration.

According to the information reviewed, Sigfox and LoRa are the main technologies for long-range transmission, and LPWAN is the best and most important, but after analyzing in detail both characteristics, it is determined that the one that best suits the conditions of the Andean areas is LoRa since it has both technical and economic advantages over established protocols such as Wi-Fi due to its long range and energy conservation. Moreover, the cost of installing and maintaining the LoRa infrastructure is cheaper than other mobile networks because the bandwidth of LoRa is less than theirs. Another advantage is that networks and infrastructure can be set up easily, but in other technologies LPWAN, this may be impossible. There are multiple fields where LoRa technology can be applied in a good way. It means where it is ideally used such as places where there is no access to electricity and the devices work mainly with batteries. This feature of LoRa fits perfectly for its application in rural areas, there is no need for instant messaging, and it is difficult to access the network.

**Keywords:** IoT, LPWAN, Zigfox, LoRa, Andean areas, smart farming



### 3. Introducción

En los últimos años, IoT (el Internet de las cosas) ha tomado un papel muy importante en el mundo de la tecnología, permitiendo la conexión de gran cantidad de dispositivos y sensores a través de Internet; hoy en día IoT se utiliza en muchos campos como son: salud, movilidad, industria, agricultura, minería, etc.

La agricultura es una de las industrias más importantes del mundo, ya que es la encargada de proporcionar alimentos para la población global. Sin embargo, la agricultura también es una de las industrias más desafiantes, debido a las variaciones climáticas, el cambio en los patrones de demanda y la necesidad de incrementar la eficiencia y productividad para mantener los costos a niveles razonables. Por tanto, la tecnología ha sido una herramienta fundamental en la mejora de la eficiencia y productividad en la agricultura. En las últimas décadas, el Internet de las cosas (IoT) se ha convertido en una tecnología revolucionaria que ha demostrado ser altamente beneficiosa para la agricultura, permitiendo el monitoreo y control de diversos aspectos del proceso agrícola y aumentando la eficiencia y productividad en el campo.

IoT en agricultura se refiere a la utilización de sensores, dispositivos y sistemas de comunicación en la agricultura. La tecnología IoT se utiliza para monitorear y controlar diversos aspectos del proceso agrícola, desde la calidad del suelo hasta la salud de los cultivos y animales. La tecnología IoT ha demostrado ser muy útil en la agricultura, ya que permite el monitoreo continuo de los cultivos y animales, así como el análisis de datos en tiempo real.

En la actualidad, el uso de IoT en agricultura se ha vuelto cada vez más accesible y asequible para los agricultores, y se espera que su uso en la agricultura continúe creciendo en los próximos años. Los agricultores pueden obtener una gran cantidad de datos a partir de los sensores y dispositivos IoT, lo que les permite tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia y la productividad en el campo, además mediante la aplicación de IoT en la agricultura se puede evitar el uso exagerado de químicos innecesarios para fumigación, es decir se puede tener cultivos más sanos y ecológicos.

Protocolos de IoT en agricultura

La implementación de la tecnología IoT en la agricultura implica la utilización de una serie de protocolos que permiten la conexión y el intercambio de datos entre los diferentes dispositivos y sistemas que se utilizan en el campo. Estos protocolos son esenciales para el funcionamiento adecuado de los sistemas IoT y la transferencia de datos de manera segura y confiable.

En general, los protocolos de IoT en agricultura se pueden clasificar en tres categorías: protocolos de comunicación de red, protocolos de aplicaciones y protocolos de seguridad.

*Protocolos de comunicación de red;* los protocolos de comunicación de red son los que permiten la comunicación entre los diferentes dispositivos en la red IoT en agricultura. Los protocolos más utilizados en agricultura son el protocolo de comunicación de área local (LAN), el protocolo de comunicación de área amplia (WAN) y el protocolo de comunicación de satélite.

*Los protocolos de aplicaciones* son el conjunto de reglas y estándares que permiten la comunicación entre dispositivos y aplicaciones. En el caso de IoT, se utilizan diferentes protocolos de aplicaciones dependiendo de la función que desempeñen los dispositivos conectados.

En cuanto a los protocolos de seguridad de IoT, su función principal es garantizar la privacidad, integridad y confidencialidad de los datos transmitidos entre dispositivos y aplicaciones. Dado que los dispositivos IoT están conectados a internet, existe un mayor riesgo de ataques cibernéticos y brechas de seguridad. Por lo tanto, es fundamental utilizar protocolos de seguridad robustos para proteger los dispositivos y los datos que manejan.

Los protocolos de comunicación, de aplicaciones y los protocolos de seguridad son fundamentales en el funcionamiento y la protección de los dispositivos IoT. La elección de los protocolos adecuados depende de la función y los recursos de los dispositivos, así como de los requisitos de seguridad específicos de cada aplicación. Es importante tener en cuenta que la seguridad de IoT es un aspecto clave que debe abordarse desde el diseño y la implementación de los dispositivos hasta su uso cotidiano.



## Objetivos

### Objetivo General

Analizar los protocolos y tecnologías de comunicación para redes de sensores aplicados a la agricultura de precisión en zonas andinas.

### Objetivos Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica de las tecnológicas WSN utilizadas en soluciones IoT para la agricultura de precisión.
- Seleccionar y describir las tecnologías adecuadas para la agricultura de precisión en las zonas rurales andinas



## 4. Marco Teórico

Las tecnologías aplicadas a las soluciones de Internet de las Cosas (IoT - del término en inglés: Internet of Things) vienen mejorando la forma como realizamos las tareas y la forma como son abordados muchos de los principales desafíos humanos, tales como: crecimiento poblacional, consumo de energía, medio ambiente, sustentabilidad. Los dispositivos usados en estas soluciones se caracterizan por sus bajas tasas de datos, consumo de energía y costo [1].

### 4.1. Redes de Sensores Inalámbricas

Una red de sensores inalámbricos es formada por varios pequeños sistemas de sensores, llamados nodos, localizados en distancias cortas y que colectan diversas informaciones del ambiente por medio de sensores, tales como: temperatura, presión, humedad del aire, composición del suelo, movimiento, velocidad, niveles de ruido, presencia o ausencia de ciertos tipos de objetos, entre otros. Las redes de sensores inalámbricos pueden ser aplicados en diversas situaciones, tales como: aplicaciones militares, salud, agricultura y seguridad.

El funcionamiento de una WSN es posible a través de la comunicación inalámbrica de los nodos con los gateways, necesaria para la transmisión de las informaciones recolectadas; los gateways por su vez pueden procesar esas informaciones o enviarlas a un servidor en la nube, conocido como Sistema de Gerenciamiento de Información (IMS - del término en inglés: Information Management System).

Adicionalmente según, la estructura de una WSN consiste de nodos, el gateway y el IMS:

- **Nodos:** Compuesto por un sensor, generalmente de bajo costo y bajo consumo de energía; un microcontrolador, un chip pequeño de bajo costo y baja potencia; una fuente de alimentación, lo que atribuye autonomía a los nodos sensores; y, por último, la red de comunicación inalámbrica, lo que permitirá la comunicación entre los nodos sensores y el gateway.
- **Gateway:** Representa el núcleo de la red de sensores inalámbricos responsable por recibir los datos provenientes de los nodos sensores y enviarlos a los IMS. A

diferencia de los nodos, este está geográficamente fijo y conectado a una fuente de alimentación. También debe poseer un sistema de comunicación inalámbrico, ya que recibe las informaciones enviadas por los nodos sensores. Generalmente, equipado con un microcontrolador de alta potencia y poder de procesamiento.

- Servidor en la nube: Responsable por el almacenamiento, procesamiento y disponibilización de las informaciones generadas por los nodos y transmitidas por el gateway a los usuarios finales.

## 4.2. Zigbee

Es un estándar de comunicación inalámbrica de baja potencia que fue diseñado para permitir la comunicación entre dispositivos con requisitos de baja tasa de datos y bajo consumo de energía. Se utiliza comúnmente en aplicaciones de automatización del hogar, automatización industrial y otras aplicaciones de Internet de las cosas (IoT). Funciona en la especificación física de radio IEEE 802.15.4 y define los protocolos de comunicación de nivel superior y los perfiles de aplicación. Utiliza una topología de red de malla para permitir que los dispositivos se comuniquen entre sí incluso si no están dentro del alcance de un dispositivo coordinador centralizado. Esto lo hace altamente escalable y resistente a las fallas del dispositivo.

ZigBee puede funcionar en tres bandas de frecuencia diferentes: 2,4 GHz, 915 MHz y 868 MHz. La banda de 2,4 GHz es la más utilizada, pero las otras bandas pueden usarse en regiones específicas para cumplir con las regulaciones locales.

ZigBee tiene varias características que lo hacen adecuado para aplicaciones de IoT, incluido el bajo consumo de energía, características de seguridad y una variedad de perfiles de comunicación para diferentes tipos de dispositivos. Se utiliza con frecuencia en hogares inteligentes para controlar luces, temperatura y otros dispositivos, así como en automatización industrial para aplicaciones de monitoreo y control.

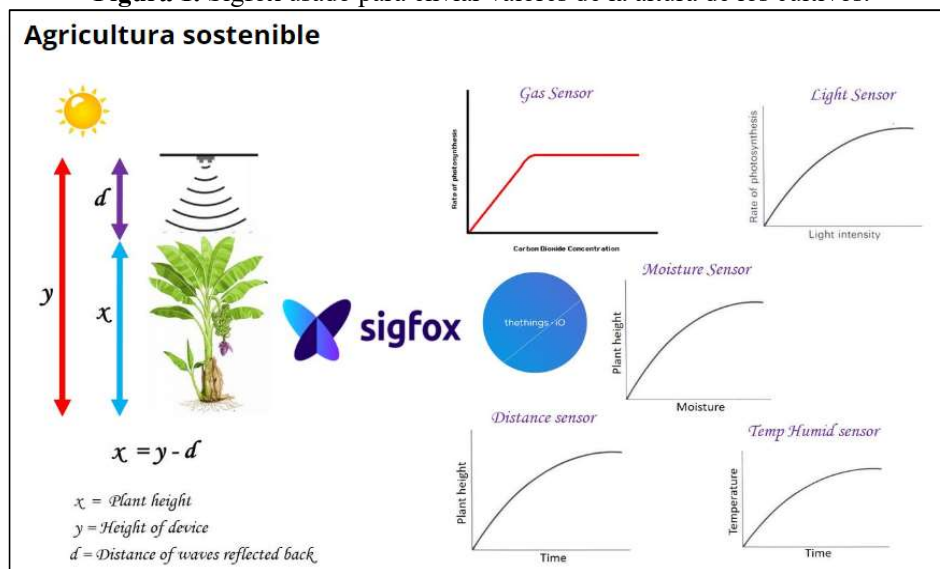
## 4.3. SigFox

Es un proveedor de servicios de conectividad de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) para dispositivos IoT. Proporciona una red global de comunicaciones de baja velocidad de datos y bajo consumo de energía para dispositivos IoT; utiliza tecnología de espectro ensanchado (spread spectrum) para transmitir datos a través de su red LPWAN, que es una tecnología de radiofrecuencia de baja velocidad de datos diseñada para consumir poca energía y lograr un mayor alcance en comparación con otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi y Bluetooth.

Sigfox ofrece una plataforma de servicios que incluye conectividad de red, servicios de nube y servicios de dispositivo para permitir a los clientes conectar, monitorear y administrar sus dispositivos IoT de manera eficiente. La plataforma también proporciona servicios de análisis de datos para permitir a los clientes obtener información valiosa de los datos generados por sus dispositivos IoT; se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones de IoT, como seguimiento de activos, monitoreo ambiental, control de edificios, sistemas de seguridad y medición de consumo de energía.

#### Ejemplo de Agricultura Inteligente usando SigFox

En la imagen se muestra un sensor de distancia ultrasónico para detectar la altura de los cultivos desde el suelo. Entonces, cada vez que se inicie el dispositivo, el sensor de distancia se calibra a sí mismo y establece la distancia del dispositivo desde el suelo para las mediciones del crecimiento de las plantas y este valor para encontrar la altura relativa de la planta desde el suelo.

**Figura 1.** Sigfox usado para enviar valores de la altura de los cultivos.

Fuente: Sigfox

#### 4.4. LoRa

LoRa (acrónimo de "Long Range") es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance y baja potencia, diseñada específicamente para aplicaciones de IoT. Utiliza una técnica de modulación de espectro ensanchado para enviar datos a largas distancias, con una alta capacidad de penetración en obstáculos físicos y con un bajo consumo de energía; además, utiliza técnicas de codificación avanzadas para reducir la sensibilidad a las interferencias y mejorar la calidad de la señal. LoRa funciona en la banda de frecuencia sin licencia ISM (Industrial, Scientific and Medical) y puede alcanzar distancias de hasta 15 km en entornos urbanos y más de 40 km en áreas rurales. Esta tecnología es ideal para aplicaciones que requieren la transmisión de pequeñas cantidades de datos a largas distancias, como sensores de temperatura, humedad, presión, nivel de líquidos, entre otros.

La tecnología LoRa ha ganado una gran popularidad en los últimos años gracias a su capacidad de conectar dispositivos IoT de forma eficiente y económica en áreas remotas y de difícil acceso. Según un informe de MarketsandMarkets, se espera que el mercado global de tecnología LoRa crezca a una tasa compuesta anual del 46,47% entre 2018 y 2023 (MarketsandMarkets, 2018). La tecnología LoRa es utilizada en una amplia

variedad de aplicaciones, desde medición inteligente de energía y agua hasta agricultura inteligente y seguimiento de activos en tiempo real.

Una de las principales ventajas de LoRa es su alcance de hasta varios kilómetros en entornos urbanos y de hasta varios kilómetros en áreas rurales, lo que la hace muy adecuada para aplicaciones de IoT en áreas remotas y con poca infraestructura de comunicaciones; ha sido desarrollada y estandarizada por la LoRa Alliance, una organización de empresas líderes en tecnología que trabajan juntas para promover el uso de LoRa y la adopción de soluciones de IoT en todo el mundo.

Uno de los principales proveedores de tecnología LoRa es la empresa Semtech, que ha desarrollado la tecnología LoRaWAN, una red de área amplia de baja potencia (LPWAN) basada en LoRa. Según Semtech, más de 100 redes LoRaWAN ya han sido desplegadas en todo el mundo, lo que demuestra la creciente adopción de esta tecnología (Semtech, 2018).

#### 4.5. Comunicación M2M

M2M significa "Machine to Machine" (máquina a máquina, en español) y se refiere a la comunicación directa e inalámbrica entre dos dispositivos electrónicos, sin intervención humana.

En otras palabras, M2M es un tipo de tecnología de comunicación que permite a las máquinas intercambiar información y datos entre sí sin necesidad de la intervención de un ser humano. Por ejemplo, un sensor de temperatura en una máquina de producción puede enviar datos de temperatura a otro dispositivo de control para ajustar la producción en consecuencia, todo sin la necesidad de que un ser humano intervenga en el proceso de comunicación.

M2M es una tecnología clave en el Internet de las cosas (IoT), que se refiere a la conexión de dispositivos y objetos cotidianos a Internet para mejorar la eficiencia y la automatización en una variedad de sectores, como la manufactura, la salud, la agricultura, la energía y el transporte.

## 5. Metodología

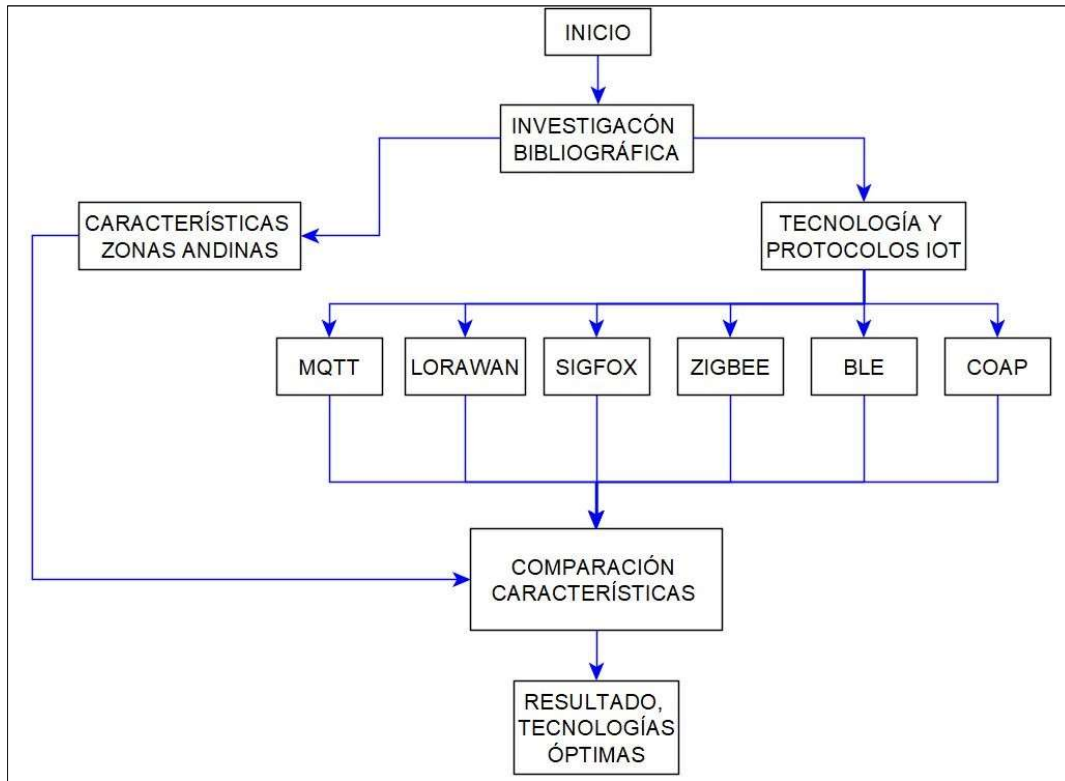
La metodología utilizada en el presente trabajo de titulación será la metodología cualitativa con enfoque descriptivo ya que es una forma de investigación que se centra en la comprensión y descripción detallada de los fenómenos estudiados. En el caso de este trabajo, la elección de la metodología cualitativa es apropiada para describir las características de las tecnologías WSN utilizadas en soluciones IoT mediante un estudio bibliográfico a profundidad que permita explorar en profundidad los aspectos clave de estas tecnologías y comprender cómo funcionan en la práctica para mediante un análisis y comparación determinar los adecuados para las zonas rurales andinas de acuerdo a las características.

### 5.1. Método de la investigación

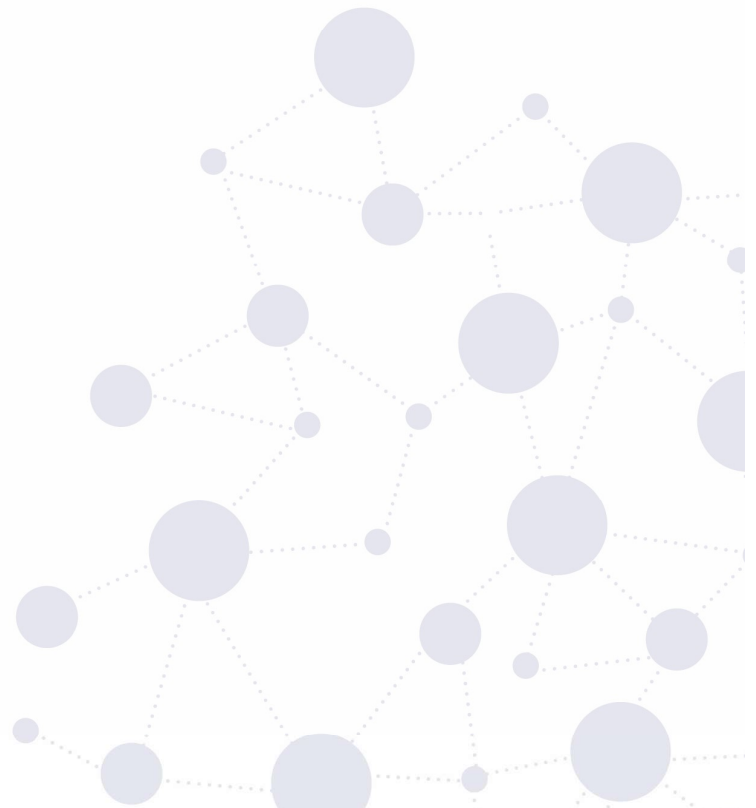
Para llevar a cabo el presente trabajo, se realizará una investigación a profundidad de las tecnologías de IoT, se realizará un análisis de información existente en revistas tecnológicas, libros e Internet; también se observará el funcionamiento de diferentes tipos de WSN en diferentes entornos para comprender mejor sus características y cómo se aplican en la práctica.

Se obtendrá información detallada de expertos en el campo, como ingenieros y especialistas en IoT, que puedan proporcionar información valiosa sobre las tecnologías WSN y sus aplicaciones. En conclusión, la metodología cualitativa de forma descriptiva es una forma apropiada de abordar el estudio de las características de las tecnologías WSN utilizadas en soluciones IoT para agricultura inteligente en zonas rurales andinas, ya que permite una comprensión profunda y detallada de todas estas tecnologías, luego cuando se tenga toda la información se realizará una comparación para determinar las idóneas y recomendadas para su aplicación.

Figura 2. PROCESO DE INVESTIGACIÓN.



Fuente: Autor



## 6. Resultados

La agricultura, es una de las actividades humanas más antiguas y esenciales para la vida, se encuentra en constante evolución para hacer frente a los desafíos modernos. En este contexto, el Internet de las cosas (IoT) ha surgido como una solución innovadora que está revolucionando la forma en la que los agricultores realizan y aplican sus técnicas. La combinación de sensores, dispositivos y conectividad ha abierto nuevas posibilidades para el monitoreo, gestión y optimización de los cultivos, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas en tiempo real y mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus operaciones agrícolas. Desde el seguimiento del clima y la gestión del riego, hasta el monitoreo del ganado y la automatización de tareas agrícolas, la IoT está cambiando la forma en que se producen los alimentos.

Existen muchos tipos de tecnologías para IoT, como las principales tenemos:

- **Sigfox:** Sigfox es una red LPWAN de bajo consumo de energía que proporciona una conectividad global para dispositivos IoT. Sigfox se destaca por su baja tasa de consumo de energía, lo que permite una larga vida útil de la batería de los dispositivos. Además, Sigfox ofrece una cobertura de red global en varios países. Sin embargo, Sigfox tiene limitaciones en términos de ancho de banda y velocidad de transmisión de datos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de IoT con baja demanda de ancho de banda.
- **Zigbee:** Zigbee es una tecnología de red inalámbrica de corto alcance y baja potencia que se utiliza principalmente para aplicaciones de automatización del hogar y de la industria. Zigbee es conocido por su bajo consumo de energía y su capacidad de formar redes en malla, lo que permite una mayor cobertura y escalabilidad en comparación con otras tecnologías de red. Zigbee ofrece una mayor velocidad de transmisión de datos en comparación con LPWAN, pero su cobertura es limitada en comparación con LPWAN.
- **LoRa:** LoRa es una tecnología de red inalámbrica LPWAN que se utiliza para la comunicación de larga distancia y bajo consumo de energía en aplicaciones de IoT. LoRa ofrece una gran cobertura de red, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requiere una amplia área de cobertura, como monitoreo agrícola



o seguimiento de activos. Además, LoRa tiene una alta capacidad de penetración en estructuras urbanas y rurales. Sin embargo, la velocidad de transmisión de datos en LoRa es baja en comparación con otras tecnologías de red.

- **NB-IoT:** Narrowband Internet of Things, es una tecnología de comunicación de red inalámbrica diseñada específicamente para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT). Es una de las tecnologías de red de baja potencia y largo alcance que se utilizan para conectar dispositivos IoT a la red de manera eficiente y confiable, NB-IoT utiliza la infraestructura de red celular existente, lo que permite una implementación rápida y escalable. Puede operar en diferentes bandas de frecuencia, incluyendo bandas de frecuencia licenciadas y no licenciadas, lo que brinda flexibilidad en su uso y utilización en diversas regiones y aplicaciones
- **Bluetooth:** Bluetooth es una tecnología de red inalámbrica de corto alcance que se utiliza ampliamente en aplicaciones de IoT, como dispositivos portátiles, dispositivos médicos y automatización del hogar. Bluetooth ofrece una alta velocidad de transmisión de datos y es ampliamente compatible con dispositivos móviles y otros dispositivos electrónicos. Sin embargo, la cobertura de Bluetooth es limitada en comparación con LPWAN y otras tecnologías de red, ya que su alcance es corto y puede verse afectado por obstáculos físicos.

**Tabla 1.** Cuadro comparativo de las tecnologías IOT.

TECNOLOGÍA	FRECUENCIA	ANCHO DE BANDA	MODULACIÓN	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	DISTANCIA QUE CUBRE	CONSUMO DE ENERGÍA	DURACIÓN DE BATERÍA
SIGFOX	915 Mhz ISM	200 Khz	Banda estrecha BPSK	100 o 600 bps	30 - 50 Kilómetros	10 a 15 mA	Hasta 15 años con pilas
ZIGBEE	2,4 Ghz	5 Mhz	O - QPSK	250 kbps	100 metros	30 mA	12 meses
LoRa	915 Mhz ISM	125 y 500 Khz	Espectro ensanchado CSS	50 Kbps	15 - 20 kilómetros	4,2 mA	Hasta 10 años
NB -IoT	700 / 800 Mhz	180 Khz	OFDM / SC-FDMA	127 Kbps	3 Kilómetros		Hasta 10 años
BLUETOOTH	2.4 Ghz ISM	1 Mhz	GFSK	192 kbps a 345 kbps	Hasta 100 metros en condiciones ideales	40 mA	-
WIFI EXTENDIDO	2,4 / 5 Ghz	20 / 25 Mhz	BPSK, QPSK, y QAM	Hasta 300 Mbps	100 metros	4,64 V	-

*Fuente: Autor*

Las zonas andinas de Ecuador son una región geográfica que se caracterizan por ser una región montañosa, una de las características principales de las zonas andinas en Ecuador es su elevada altitud. La Cordillera de los Andes atraviesa el país de norte a sur, creando una serie de altiplanos, valles y montañas que alcanzan alturas desde alrededor de 1.500 metros sobre el nivel del mar en algunas áreas hasta más de 6.000 metros en los picos más altos. Esta topografía montañosa tiene un profundo impacto en el clima y la biodiversidad.

El clima en las zonas andinas de Ecuador también es característico. Debido a la altitud, las temperaturas suelen ser más frescas y cambiantes en comparación con las regiones costeras o amazónicas del país. Las temperaturas pueden variar significativamente a lo largo del día, con días cálidos y noches frías, y las precipitaciones también son variables, con una estación húmeda y otra seca bien definidas. Estas condiciones climáticas únicas influyen en la agricultura, la flora y fauna, así como en las actividades humanas y culturales de la región.

Sin embargo, también existen desafíos en las zonas andinas de Ecuador. El acceso a servicios básicos como la educación y la salud puede ser limitado en algunas áreas remotas y montañosas. La falta de infraestructura de transporte y comunicación en algunas zonas dificulta la conectividad y la integración económica y social.

Según se observa en la Figura 3, las mejores tecnologías son Sigfox y LoRa que son las principales tecnologías para la transmisión de largo alcance y LPWAN pero luego de analizar más detalladamente las características de ambas se determinó que la que mejor se adapta a las condiciones de las zonas andinas es LoRa; esto se debe a que tiene ventajas tanto técnicas como económicas sobre los protocolos establecidos como Wi-Fi debido a su largo alcance y conservación de energía, es más, el costo de instalar y mantener la infraestructura LoRa es más barato que el de las redes celulares, esto se debe a que el ancho de banda de LoRa es menor que el de ellos, otra ventaja de LoRa es que uno puede configurar sus redes e infraestructura fácilmente, en otras tecnologías LPWAN, esto puede ser imposible, a continuación se detallan las características que la hacen una tecnología ideal para aplicación de agricultura inteligente en zonas andinas.

Existen múltiples campos donde se puede aplicar la tecnología LoRa de mucha mejor manera, es decir donde se usa de forma ideal y es en lugares donde no hay acceso a la electricidad (sus dispositivos funcionan principalmente con baterías o pilas, esta característica de LoRa encaja perfectamente para su aplicación en zonas rurales), no hay necesidad de mensajes instantáneos, y dónde es difícil acceder físicamente a la red.

A continuación, se mencionan las principales ventajas de LoRa para la aplicación en IoT:

Los transeptores LoRa estándar pueden funcionar de forma bidireccional. Así pues, para el mismo módulo LoRa, un transmisor puede transformarse como receptor en cualquier momento. Por lo tanto, LoRa es más adecuado para escenarios de comando y control.

- La longitud de los mensajes es definida por los usuarios. Para garantizar el cumplimiento de las regulaciones, los desarrolladores deben asegurarse de que los mensajes de RF no duren más de cinco segundos por aire.
- LoRa es una tecnología de espectro ensanchado con una banda de frecuencia más amplia que SigFox, normalmente de 125 kHz o más. Su frecuencia utiliza la ganancia de codificación para aumentar la sensibilidad del receptor. El rango de transmisión de LoRa puede ser de hasta 20 kilómetros, penetra las zonas rurales, centros urbanos, objetos.
- Los dispositivos LoRa necesitan una potencia mínima para ejecutar su propósito, apoyando una larga duración de la batería de 5 para 10 años. Son energéticamente eficientes y económicos.
- LoRa tiene cifrado AES128 de extremo a extremo y también cuenta con protección de integridad, autenticación mutua, y confidencialidad.
- Los dispositivos LoRa admiten aplicaciones de rastreo de direcciones IP o GPS usando poca energía.

- Se puede mover los dispositivos fácilmente de un lugar a otro y seguir funcionando la red.
- Se puede configurar y armar una pequeña red privada LoRa a menor costo que otras tecnologías
- LoRa no tiene que pasar por la estación base del operador, por lo que no hay restricciones geográficas, se puede construir y gestionar la red uno mismo, y el coste es bajo. Dado que un enlace simétrico requiere una verdadera transferencia de datos bidireccional, LoRa puede ser una mejor opción. LoRa es la mejor opción en aplicaciones que requieren funciones de mando y control, como la monitorización de redes.

LoRa también tiene bastante disponibilidad de equipos en el mercado local y a costos accesibles. Aunque es posible que la disponibilidad de equipos LoRa varíe dependiendo de la región o la ciudad específica en Ecuador, en general se pueden encontrar diversas opciones en el mercado.

Algunas de las opciones disponibles en Ecuador incluyen:

- Gateways LoRa: Los gateways son dispositivos que actúan como puntos de acceso para conectar los sensores LoRa con la red. Hay varios fabricantes que ofrecen pasarelas LoRa en el mercado ecuatoriano, incluyendo marcas reconocidas a nivel internacional como Semtech, Multitech, Dragino, entre otras.
- Sensores LoRa: Existe una amplia variedad de sensores LoRa disponibles para medir diferentes parámetros agrícolas, como la temperatura del suelo, la humedad, la calidad del aire, la radiación solar, la velocidad del viento, la calidad del agua, entre otros. Estos sensores pueden producirse por diferentes fabricantes y se encuentran en el mercado local o importados de otros países.
- Plataformas de gestión agrícola: También hay varias plataformas de gestión agrícola que son compatibles con la tecnología LoRa y que se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano. Estas plataformas permiten la gestión centralizada de los datos provenientes de los diferentes sensores y equipos colocados en la red.

La alianza LoRa tiene estrategias diferentes, la gestión de su red es abierta, los usuarios pueden registrarse y unirse a la alianza lora, cualquier fabricante de hardware o pasarela puede hacer un módulo o pasarela LoRa. Pero la única empresa que fabrica chips para LoRa es Semtech. Otros fabricantes hacen dispositivos de sistema en paquete que también utilizan los chips de Semtech en su interior. Así que, aunque el ecosistema en sí es abierto, tiene elementos que no lo son.

Una de las cosas buenas del estándar abierto de LoRa es que es muy flexible y no está dirigido por una empresa específica. La Alianza LoRa cree que la apertura aporta vitalidad, por lo que sus miembros hacen hincapié en que cualquiera puede unirse a la alianza y construir hardware que la soporte

Ejemplos de aplicaciones usando LoRa en zonas andinas:

- Monitoreo remoto: Los sensores agrícolas equipados con tecnología LoRa pueden ser instalados en zonas montañosas para monitorear diferentes parámetros agrícolas, como la temperatura del suelo, la humedad, la calidad del aire, la radiación solar, la velocidad del viento, entre otros. Estos sensores pueden transmitir datos de forma inalámbrica a una estación base o gateway LoRa, que a su vez puede enviar los datos a una plataforma de gestión agrícola. Esto permite a los agricultores monitorear en tiempo real las condiciones del cultivo y tomar decisiones informadas para el manejo agrícola.
- Optimización del riego: La gestión eficiente del riego es crucial en zonas montañosas, donde el acceso al agua puede ser limitado. Con la tecnología LoRa, se pueden implementar sistemas de riego automatizados que se basen en datos en tiempo real de sensores agrícolas para optimizar el riego. Por ejemplo, los sensores de humedad del suelo pueden enviar datos a la plataforma de gestión agrícola a través de la red LoRa, lo que permite ajustar la cantidad de agua que se aplica en función de las necesidades específicas del cultivo y evitar el desperdicio de agua.
- Alertas tempranas y predicciones climáticas: En zonas montañosas, las condiciones climáticas pueden ser cambiantes y tener un impacto significativo en la agricultura. Los sensores meteorológicos basados en LoRa pueden proporcionar datos precisos sobre las condiciones climáticas, como la temperatura, la humedad, la precipitación y la velocidad del viento, que pueden ser utilizados para generar alertas tempranas y predicciones climáticas. Esto permite a los agricultores

anticiparse a eventos climáticos adversos y tomar medidas preventivas para proteger sus cultivos.

- Control de plagas y enfermedades: El monitoreo constante de plagas y enfermedades es esencial en la agricultura. Con la tecnología LoRa, se pueden implementar sistemas de monitoreo de plagas y enfermedades basados en sensores que transmitan datos en tiempo real sobre la presencia y la actividad de plagas y enfermedades en los cultivos. Esto permite a los agricultores identificar rápidamente la presencia de plagas o enfermedades y tomar medidas de control oportunas, reduciendo así el uso de pesticidas y minimizando los daños a los cultivos.
- Automatización de tareas agrícolas: La automatización de tareas agrícolas puede mejorar la eficiencia y reducir los costos en zonas montañosas. Con la tecnología LoRa, se pueden implementar sistemas de automatización, como la activación remota de sistemas de riego, la programación de la maquinaria agrícola, y el control de la iluminación en invernaderos, entre otros. Esto permite a los agricultores programar las tareas de acuerdo a las necesidades y prioridades de los cultivos.

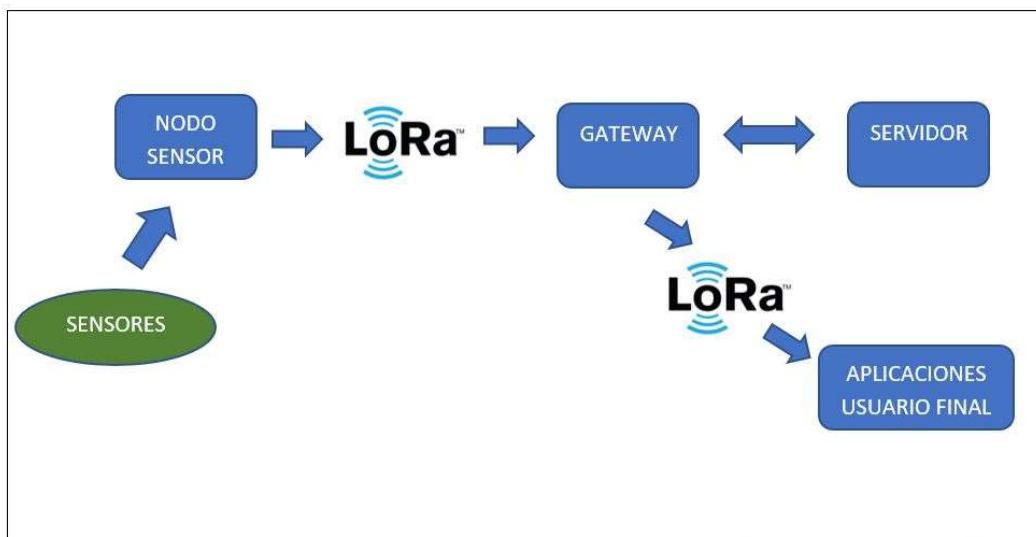
## 7. Discusión

Se logró determinar las mejores opciones de soluciones tecnológicas para Iot, luego de una investigación bibliográfica de las principales tecnologías existentes en la actualidad se determinó que Sigfox y Lora son las que mejor cumplen su papel en IoT; después de compararlas con las características de las zonas andinas se estableció que la mejor solución es LoRa; esta tecnología permite implementaciones más económicas y de largo alcance para zonas montañosas y sin línea de vista que es el principal problema de las zonas andinas.

Con LoRa se puede monitorear varias etapas de la agricultura para de esta manera tomar mejores decisiones, así como optimizar recursos.

### Descripción de un sistema de IoT con Lora aplicado a Agricultura

**Figura 3.** Esquema de un sistema de IOT con LORA.



*Fuente: Autor*

El sistema consta de 4 bloques que son Nodo Sensor, Gateway, Servidor y Nodo Sensor.

#### NODO SENSOR

La adquisición de datos mediante sensores se realiza en el Nodo sensor, estos sensores pueden ser de humedad, de ph, de temperatura, de caudales de riego, de NPK,

de luminosidad, de radiación fotosintética, etc; los datos tomados por los sensores en el suelo se convierten y acondicionan para su cuantificación. Luego continúa la parte de transmisión de datos, para este ejemplo se ha tomado el Lora Shield que es un transceptor de largo alcance para Arduino para enviar datos y los transmite de forma inalámbrica hacia el Gateway. Para este ejemplo se escogió un sensor de humedad YL-69 que existe en el mercado ecuatoriano para tomar los datos en el suelo.

### GATEWAY

Aquí se realiza la recepción de datos que se envían desde el nodo sensor y se los procesa; en el Gateway se recibe los datos también del servidor; todos estos datos son enviados al nodo actuador.

### SERVIDOR

En el servidor se gestiona la información que llega desde el nodo sensor y el Gateway, para este ejemplo se usará un servidor LAMP y una base de datos MySQL; en el servidor se puede gestionar los datos mediante una interfaz web para con estos datos tomar decisiones y realizar el control del nodo actuador.

### APLICACIONES USUARIO FINAL

Son las aplicaciones o servicios que procesan y analizan los datos recibidos de los dispositivos IoT a través de la red LoRa. Estas aplicaciones pueden ser plataformas de monitoreo, sistemas de gestión de activos, sistemas de alarma; en este caso se tomará como ejemplo una motobomba para activar un sistema de riego.

Por ende, el flujo de datos en un modelo estándar de IoT con LoRa es el siguiente: Los dispositivos IoT envían datos a través de la red LoRaWAN al gateway LoRa, que los retransmite al servidor de red LoRaWAN. El servidor de red LoRaWAN autentica y enruta los mensajes de los dispositivos IoT a las aplicaciones del usuario final. Las aplicaciones del usuario final procesan y analizan los datos recibidos, y toman decisiones o realizan acciones específicas en función de ellos.



## 8. Conclusiones

Existen múltiples tecnologías y protocolos para la agricultura de precisión basadas en IoT y cada día se están desarrollando más; las principales y más conocidas actualmente son: Sigfox, Zigbee, LoRa, NB-IoT; Bluetooth y Wifi; para la elección de una en particular se debe tener en cuenta que depende de los requisitos específicos de cada aplicación, como el alcance de la red, la duración de la batería, la velocidad de datos, el costo y la seguridad. Es fundamental evaluar cuidadosamente las ventajas y desventajas de cada tecnología para seleccionar la que mejor se adapte a las necesidades de la aplicación de IoT en particular.

La agricultura inteligente, que se refiere a la aplicación de tecnologías de Internet de las cosas (IoT) basadas en redes WSN para mejorar la eficiencia y la productividad, ha demostrado ser una solución prometedora para enfrentar los desafíos agrícolas en las zonas andinas, donde las condiciones geográficas y climáticas pueden ser difíciles.

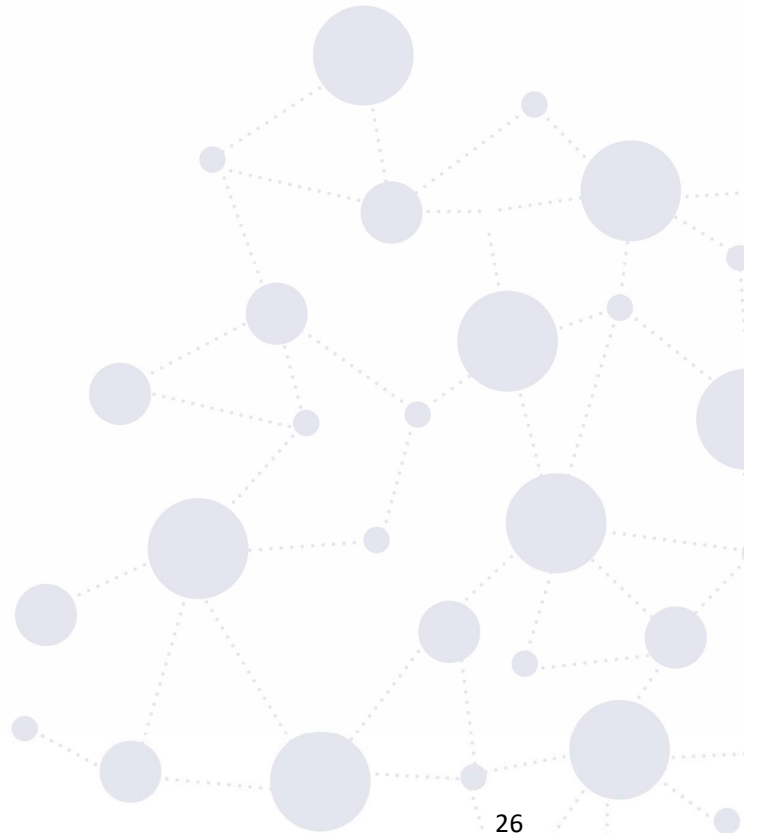
LoRa ha demostrado ser la tecnología que cumple el papel más eficiente para usarlo en agricultura inteligente por aspectos muy importantes como:

- Cobertura de red amplia: LoRa utiliza un enfoque de comunicación de largo alcance que permite la cobertura de red en áreas rurales y montañosas, como las zonas andinas, donde la infraestructura de red puede ser limitada. Esto permite la conectividad de dispositivos IoT distribuidos en áreas extensas, lo que resulta especialmente útil para la monitorización de cultivos en áreas remotas.
- Bajo consumo de energía: LoRa es conocida por su bajo consumo de energía, lo que permite una mayor duración de la batería en los dispositivos IoT. Esto es especialmente relevante en zonas andinas donde la disponibilidad de energía puede ser limitada. Los dispositivos LoRa pueden funcionar con baterías de larga duración o incluso energía solar, lo que facilita su implementación en áreas con acceso limitado a fuentes de energía.
- Escalabilidad y flexibilidad: LoRa es una tecnología escalable que permite la conexión de una gran cantidad de dispositivos IoT en una red. Esto permite la monitorización y gestión de múltiples cultivos y parcelas de tierra en zonas andinas, lo que brinda una mayor visibilidad y control en la toma de decisiones agrícolas. Además, LoRa es una tecnología flexible que se adapta a diferentes



tipos de sensores y dispositivos, lo que permite su uso en diversas aplicaciones agrícolas, como monitoreo de clima, humedad del suelo, calidad del agua y seguimiento de activos.

- Costo-efectividad: El uso de LoRa en agricultura inteligente en zonas andinas puede ser una solución costo-efectiva en comparación con otras tecnologías de conectividad, como redes celulares. La infraestructura de red LoRa puede ser implementada a un costo relativamente bajo, lo que hace que sea una opción asequible para agricultores y productores en áreas rurales



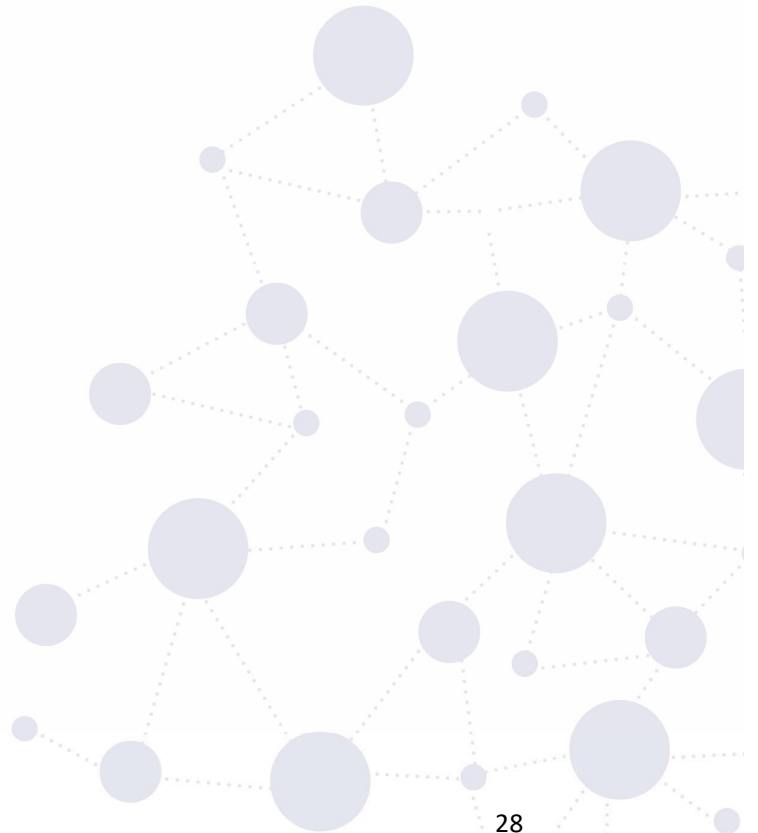
## 9. Recomendaciones.

Antes de implementar una solución de agricultura inteligente basada en LoRa en zonas andinas, es importante considerar los siguientes aspectos:

- Realizar un análisis detallado de las necesidades y desafíos específicos de la agricultura en las zonas andinas. Esto incluye comprender las condiciones climáticas, los tipos de cultivo, la infraestructura de red disponible y las limitaciones energéticas, entre otros factores. Un enfoque integral y adaptado a las condiciones locales permitirá identificar las soluciones de IoT más adecuadas y maximizar su impacto.
- Evaluar cuidadosamente los dispositivos y sensores LoRa que mejor se adapten a las necesidades agrícolas en las zonas andinas. Considerar aspectos como el rango de comunicación, la duración de la batería, la confiabilidad y la resistencia a las condiciones ambientales adversas. Es importante seleccionar dispositivos y sensores de alta calidad y con certificaciones adecuadas para garantizar un funcionamiento confiable y duradero en entornos agrícolas exigentes.
- Planificar y diseñar la infraestructura de red LoRa de manera estratégica para garantizar una cobertura adecuada en las zonas andinas. Esto implica considerar la ubicación de las estaciones base y gateways LoRa, así como la topografía y las características del terreno. Es fundamental garantizar una cobertura de red suficiente para los dispositivos y sensores en áreas remotas y montañosas.
- Tener en cuenta la gestión de la energía en la implementación de soluciones LoRa en agricultura inteligente en zonas andinas. Considerar el uso de fuentes de energía renovable, como paneles solares, para alimentar los dispositivos y sensores LoRa y asegurarse de que sean eficientes en términos de consumo de energía para maximizar la duración de la batería y minimizar la necesidad de reemplazo o recarga frecuente de las mismas.
- Asegurar la seguridad y privacidad de los datos recolectados a través de la red LoRaWAN en la agricultura inteligente. Implementar medidas adecuadas de seguridad, como encriptación de datos y autenticación de dispositivos, para proteger la integridad y confidencialidad de la información recolectada. También es importante cumplir con las regulaciones y normativas locales relacionadas con la protección de datos y privacidad.



- Establecer un sistema de monitoreo y mantenimiento regular de la infraestructura de red LoRa y los dispositivos y sensores LoRa. Esto incluye la supervisión de la cobertura de red, la calidad de la señal, el estado de las baterías y el funcionamiento de los dispositivos. El mantenimiento preventivo y la resolución oportuna de problemas pueden garantizar un rendimiento óptimo y una mayor vida útil de la solución utilizada.




## 10. Bibliografía

- [1] Q. M. Qadir, T. A. Rashid, N. K. Al-Salihi, B. Ismael, A. A. Kist, and Z. Zhang, "Low power wide area networks: a survey of enabling technologies, applications and interoperability needs," *IEEE Access*, v. 6, p. 77454-77473, 2018.
- [2] G. B. Teixeira, and J. V. P. D. Almeida, "Rede LoRaR e protocolo LoRaWANR aplicados na agricultura de precisao no Brasil," 2017. Trabalho de Conclusao de Curso. Universidade Tecnologica Federal do Parana.
- [3] R. P. da Rosa, "Dispositivos IoT aplicaveis a agricultura intensiva e os resultados ja alcançados," *Datacenter: projeto, operacao e servicos-Unisul Virtual*, 2017.
- [4] Programa Agricultura de Precisao do SENAR, "Agricultura digital abre perspectivas para pesquisa," <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28915522/agricultura-digital-abre-perspectivas-para-pesquisa>, 2017.
- [5] A. Jardim, "Agricultura de precisión: una nueva frontera agrícola," *AgroANALYSIS*, v. 37, n. 10, p. 48, 2018.
- [6] M. A. Seixas, and E. Contini, "Internet das coisas (IoT): inovacao para o agronegocio," *Area de Informacao da Sede-Nota Tecnica/Nota Cientifica (ALICE)*, 2017.
- [7] M. E. E. Alahi, N. Pereira-Ishak, S. C. Mukhopadhyay, and L. Burkitt, "An internet-ofthings enabled smart sensing system for nitrate monitoring," *IEEE Internet of Things Journal*, v. 5, n. 6, p. 4409-4417, 2018
- [8] Semtech. (2018). LoRa Alliance™ Surpasses 100 Networks as Applications for Semtech's LoRa Technology Continue to Grow. Recuperado de <https://www.semtech.com/company/press/semtech-s-lora-technology-enables-the-lo-ra-alliance-to-surpass-100-networks>
- [9] MarketsandMarkets. (2018). LoRaWAN Market by Network Deployment (Public, Private, Hybrid), Application (Smart Waste Management, Smart Buildings, Agriculture, Logistics & Supply Chain, Smart Metering, Others), Vertical (Industrial, Commercial, and Residential), and Geography - Global Forecast to 2023. Recuperado de <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/lora-wan-market-139608623.html>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Normas técnicas de espectro de uso libre y de espectro para uso determinado en bandas libres

1/26

**RESOLUCIÓN ARCOTEL-2018-**

**LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES  
ARCOTEL**

**CONSIDERANDO:**

- Que, la Constitución de la República, en el numeral 3 del artículo 16, garantiza el derecho a todas las personas, entre otras cosas, a acceder en igualdad de condiciones al uso de frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de bandas libres para la explotación de redes inalámbricas.
- Que, el numeral 1 del artículo 17 de la misma Carta Magna, ordena que el Estado en su tarea de fomentar la pluralidad y diversidad en la comunicación garantizará el acceso a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas, observando para ello el interés colectivo.
- Que, el artículo 313 de la Constitución de la República, reserva de manera exclusiva para el Estado, la potestad de administrar regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, entre ellos el de telecomunicaciones, a fin de precautelar el cumplimiento de los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.
- Que, el Estado ecuatoriano mediante Resolución Legislativa No. 000, publicada en el Registro Oficial Suplemento 754 del 7 de agosto de 1995, aprobó la adhesión al Convenio de Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- Que, el numeral 3 del artículo 4 de la Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, dispone que son de carácter vinculante para sus miembros, entre otras, las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.
- Que, el número 5.138 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, determina las bandas que están destinadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM), señalando además que: *"La utilización de estas bandas para las aplicaciones ICM está sujeta a una autorización especial concedida por la administración interesada de acuerdo con las otras administraciones cuyos servicios de radiocomunicación puedan resultar afectados (...)."*
- Que, el número 5.150 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, respecto a las bandas que están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM), señala también que: *"Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Los equipos ICM que funcionen en estas bandas estarán sujetos a las disposiciones del número 15.13."*
- Que, el número 15.13 de la Sección III del mismo Reglamento, respecto a la interferencia resultante de estas aplicaciones señala: *"Las administraciones adoptarán cuantas medidas prácticas sean necesarias para que la radiación de los equipos destinados a aplicaciones industriales, científicas y médicas sea mínima y para que, fuera de las bandas destinadas a estos equipos, el nivel de dicha radiación sea tal que no cause interferencia perjudicial al servicio de radiocomunicación y, en particular, a un servicio de radionavegación o cualquier otro servicio de seguridad que funcione de acuerdo con el presente Reglamento"*.
- Que, con Resolución No. TEL-560-18-CONATEL-2010 del 24 de septiembre de 2010, se expidió la Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha.

- Que, con Resolución No. TEL-489-22-CONATEL-2013 del 30 de septiembre de 2013, se expidió la Norma técnica para el uso de bandas libres para aplicaciones industriales, científicas y médicas.
- Que, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones — LOT, publicada en el Registro Oficial No. 439 del 18 de febrero de 2015, en su artículo 142 crea a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones — ARCOTEL, como entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión, así como de los aspectos técnicos de la gestión de los medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes.
- Que, el numeral 11 el artículo 3 de la LOT, dispone como parte de los objetivos de la Ley el garantizar la asignación a través de métodos transparentes y en igualdad de condiciones de las frecuencias del espectro radioeléctrico que se atribuyan para la gestión de estaciones de radio y televisión, públicas, privadas y comunitarias así como el acceso a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas, precautelando que en su utilización prevalezca el interés colectivo y bajo los principios y normas que rigen la distribución equitativa del espectro radioeléctrico.
- Que, el artículo 50 del mismo cuerpo legal, referente al otorgamiento para el uso y explotación del espectro radioeléctrico, dispone que se otorgará títulos habilitantes para el uso y explotación de frecuencias del espectro radioeléctrico, conforme lo dispuesto en la LOT, sus reglamentos y los requisitos técnicos, económicos y legales exigidos a tales efectos, y que el Estado permitirá el acceso a bandas calificadas como de uso libre, de conformidad con lo dispuesto en la Constitución, dicha Ley, su Reglamento General, el Plan Nacional de Frecuencias y las normas que emita la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.
- Que, el numeral 1 del artículo 96 de la LOT determina que el espectro de uso libre *"Son aquellas bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general, con sujeción a lo que establezca el ordenamiento jurídico vigente y sin necesidad de título habilitante, ni registro"*.
- Que, el numeral 2 del artículo 96 de la LOT determina que el espectro para uso determinado en bandas libres *"Son aquellas bandas de frecuencias denominadas libres que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos por la Agencia de Regulación y Control y tan sólo requieren de un registro"*.
- Que, las competencias de la ARCOTEL se encuentran establecidas en la LOT en su artículo 144, siendo entre otras: *"1. Emitir las regulaciones, normas técnicas, planes técnicos y demás actos que sean necesarios en el ejercicio de sus competencias, para que la provisión de los servicios de telecomunicaciones cumplan con lo dispuesto en la Constitución de la República y los objetivos y principios previstos en esta Ley, de conformidad con las políticas que dicte el Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información."*, facultándole en el artículo 148 a la Dirección Ejecutiva para *"4. Aprobar la normativa para la prestación de cada uno de los servicios de telecomunicaciones, en los que se incluirán los aspectos técnicos, económicos, de acceso y legales, así como los requisitos, contenido, términos, condiciones y plazos de los títulos habilitantes y cualquier otro aspecto necesario para el cumplimiento de los objetivos de esta Ley"*.
- Que, el Reglamento General a la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 676 del 25 de enero de 2016, en el numeral 3 del artículo 9, establece como función del Director Ejecutivo de la ARCOTEL lo siguiente: *"Expedir la normativa técnica para la prestación de los servicios y para el establecimiento, instalación y explotación de redes, que comprende el régimen general de telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico"*.

- Que, en el artículo 13 del Reglamento General a la LOT, determina que, para la prestación de servicios del régimen general de telecomunicaciones, así como para el uso o explotación del espectro radioeléctrico, se requiere de un título habilitante otorgado por la ARCOTEL e inscrito en el Registro Público de Telecomunicaciones; y que para el empleo de espectro para uso determinado en bandas libres, este título corresponde a un Registro.
- Que, el artículo 109 del Reglamento Ibidem, determina que, por excepción, los equipos que hacen uso de espectro radioeléctrico en bandas de espectro de uso libre, requerirán de homologación, cuando así lo determine la ARCOTEL.
- Que, mediante Resolución No. 04-03-ARCOTEL-2016, se emitió el Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico, mismo que tiene por objeto, de conformidad con su artículo 1, el establecer los requisitos, procedimientos, plazos y criterios para el otorgamiento, modificación, renovación y terminación o extinción de títulos habilitantes para la prestación de servicios de telecomunicaciones y de radiodifusión, operación de redes privadas, así como del uso y/o explotación del espectro radioeléctrico; y, las normas vinculadas con el Registro Público de Telecomunicaciones.
- Que, el artículo 2 del Reglamento Ibidem, establece que para la prestación de servicios del régimen general de telecomunicaciones, operación de redes privadas y para el uso y/o explotación del espectro radioeléctrico se requiere obtener previamente un título habilitante, otorgado por la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, el que se sujetará a la regulación de prestación de servicios y normas técnicas que para el efecto se emitan, con estricta observancia de lo dispuesto en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, Ley Orgánica de Comunicación, sus reglamentos generales de aplicación, el Reglamento ibídem, y las regulaciones o disposiciones emitidas por la ARCOTEL, y, lo señalado en los títulos habilitantes.
- Que, la Disposición General Décima Segunda del Reglamento Ibidem, señala que las características (normas) técnicas y operativas establecidas en las fichas anexas al mismo, podrán ser modificadas, sustituidas o establecidas por la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, conforme las atribuciones establecidas en la LOT.
- Que, la Disposición Transitoria Sexta del Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico, establece que en caso de que la ARCOTEL, por medio de la Dirección Ejecutiva, emita normativa técnica que modifique, condicione o establezca parámetros de operación o utilización de los equipos para cuya operación no se requiere un título habilitante, estos se deberán sujetar obligatoriamente a dicha normativa.
- Que, mediante Resolución No. 03-03-ARCOTEL-2017 del 31 de mayo de 2017, publicada en el Registro Oficial No. 15 del 15 de junio de 2017, se emitió el Reglamento para homologación y certificación de equipos terminales de telecomunicaciones, el cual, en su artículo 23, establece: *"Inclusión de otros equipos para fines de homologación. - Para fines de aplicación de lo establecido en el artículo 109 del Reglamento General a la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, por excepción, la ARCOTEL podrá disponer la homologación de clases de equipos terminales que no utilicen espectro radioeléctrico, equipos que hacen uso de espectro radioeléctrico en bandas de espectro de uso libre u otros que apruebe el Directorio de dicha Agencia, previo informe emitido por la Dirección Ejecutiva, en el cual se analicen y justifiquen las consideraciones necesarias para la homologación de dichos equipos."*
- Que, la nota nacional EQA.45 del Plan Nacional de Frecuencias aprobado mediante Resolución No. 12-09-ARCOTEL-2017 del 13 de diciembre de 2017, publicada en la Edición Especial No. 250 del Registro Oficial el 31 de enero de 2018, establece que:



*"En las bandas 915 – 928 MHz, 2 400 – 2 483,5 MHz, 5 150 – 5 350 MHz, 5 470 – 5 725 MHz y 5 725 – 5 850 MHz y 24,05 – 24,25 GHz operan, a título secundario, sistemas que ocupan espectro radioeléctrico para Uso Determinado en Bandas Libres (UDBL), para los servicios fijo y móvil".*

- Que, el artículo 4 de la Resolución No. 12-09-ARCOTEL-2017 del 13 de diciembre de 2017 establece que: *"En aplicación del numeral 2 del Artículo 96 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, se dispone a la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL que la denominación "Modulación Digital de Banda Ancha" con siglas MDBA, se adecue en toda la normativa relacionada vigente con la terminología "Uso Determinado en Bandas Libres" con siglas UDBL, en un plazo de un año calendario contado a partir de la fecha de registro de la presente Resolución.[...] Durante este periodo de transición, la Dirección Ejecutiva de ARCOTEL continuará tramitando las solicitudes de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, de conformidad con la Resolución 04-03-ARCOTEL-2016. Los títulos habilitantes de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, que utilizan Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha otorgados previamente, continuarán vigentes hasta su fecha de finalización, sin la necesidad de suscribir un nuevo título habilitante".*
- Que, de conformidad con el Estatuto orgánico de gestión organizacional por procesos de la ARCOTEL, publicado en el Registro Oficial N° 800, de 19 de julio de 2016, le corresponde al/la Director/a Ejecutivo/a la aprobación de la normativa para la prestación de cada uno de los servicios de telecomunicaciones, en los que se incluyen los aspectos técnicos, económicos, de acceso, legales y cualquier otro aspecto necesario para el cumplimiento de los objetivos de la LOT, cuyas propuestas son coordinadas y formuladas por el/la Coordinador/a Técnico/a de Regulación.
- Que, mediante memorando No. ARCOTEL-CREG-2018-XX-M de XX de XX de 2018, la Coordinación Técnica de Regulación, puso a consideración de este Despacho el Informe "Espectro de uso libre y uso determinado en bandas libres".
- Que, con Resolución 03-03-ARCOTEL-2015 del 28 de mayo de 2015 el Directorio de la ARCOTEL expidió el Reglamento de Consultas Públicas, para la emisión o modificación de planes o actos de contenido normativo.
- Que, el Director Ejecutivo de la ARCOTEL, con sujeción a la Disposición General Primera de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones que regula el procedimiento de consultas públicas, en concordancia con lo dispuesto en el Reglamento de Consultas Públicas expedido con Resolución 003-03-ARCOTEL-2015 del 28 de mayo de 2015, dispuso el XX de abril de 2018, ejecutar el procedimiento de consultas públicas en relación con la "Norma técnica de espectro de uso libre y de espectro para uso determinado en bandas libres".
- Que, se dio cumplimiento al proceso establecido en el artículo 5 del Reglamento de Consultas Públicas, mismo que se efectuó de conformidad con el siguiente detalle:
- El XX de abril de 2018, se publicó la convocatoria a Audiencias Públicas en el sitio web institucional de la ARCOTEL.
  - Las Audiencias Públicas se realizaron de acuerdo al siguiente cronograma:

LUGAR	FECHA / HORA	DIRECCION
QUITO: Auditorio de la Coordinación Zonal 2 de la ARCOTEL	XX de abril de 2018 10H00	Av. Amazonas N40-71 y Gaspar Villarroel Auditorio – Planta Baja.
GUAYAQUIL: Coordinación Zonal 5 de ARCOTEL		Av. Francisco de Orellana Solar 1-4, Manzana 28, Ciudadela IETEL Auditorio.

LUGAR	FECHA / HORA	DIRECCION
CUENCA: Coordinación Zonal 6 de la ARCOTEL		Luis Cordero 16-50 y Héroes de Verdeloma Auditorio - Segunda Planta Alta.

Que, con memorando No. ARCOTEL-CREG-2018-00XX-M del XX de abril de 2018, la Coordinación Técnica de Regulación, presentó al Director Ejecutivo de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones el informe de cumplimiento del proceso de consultas públicas referente a la expedición de la Resolución por la cual se aprobaría la "Norma técnica de espectro de uso libre y de espectro para uso determinado en bandas libres", conjuntamente con el informe jurídico No. ARCOTEL-CJDA-2017-0058 emitido por la Coordinación General Jurídica, del cual se desprende que la aprobación del referido acto administrativo es una atribución que debe ser ejercida por la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL.

En ejercicio de sus atribuciones,

**RESUELVE:**

Expedir la siguiente:

**NORMA TÉCNICA DE ESPECTRO DE USO LIBRE Y DE ESPECTRO PARA USO DETERMINADO EN BANDAS LIBRES**

**CAPÍTULO I**

**Objeto, términos y definiciones**

**ARTÍCULO 1.- OBJETO.-** La presente norma tiene por objeto establecer las condiciones para el empleo de espectro de uso libre así como de espectro para uso determinado en bandas libres, en el territorio nacional.

**ARTÍCULO 2.- TÉRMINOS Y DEFINICIONES.-** Para la aplicación de la presente norma técnica, además de las expresiones y términos detallados en los Anexos 1 y 2 de esta resolución, se utilizarán las siguientes definiciones:

**Espectro de uso libre o bandas libres:** Son aquellas bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general sin necesidad de la obtención de un título habilitante, con sujeción a las condiciones establecidas en la presente norma técnica.

**Espectro para uso determinado en bandas libres, en adelante "UDBL":** Son aquellas bandas de frecuencias denominadas bandas libres que para poder ser utilizadas para la prestación de servicios del régimen general de telecomunicaciones, o como parte de redes privadas, requieren del registro como título habilitante.

**Estación central:** Estación fija del servicio fijo o de base del servicio móvil terrestre, que distribuye el tráfico entre otra estación central o dos o más estaciones remotas en su área de cobertura.

**Estación remota:** Estación del servicio fijo o del servicio móvil, que tiene un solo acceso inalámbrico a la estación central. Las estaciones centrales no son estaciones remotas.

**Aplicaciones industriales, científicas y médicas (de la energía radioeléctrica) (ICM).-** Funcionamiento de equipos o de instalaciones destinados a producir y utilizar en un espacio reducido energía radioeléctrica con fines industriales, científicos, médicos, domésticos o similares, con exclusión de todas las aplicaciones de telecomunicación, conforme la definición de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT.

**Interferencia.-** Efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

**Interferencia perjudicial.-** Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación.

**Servicio de radiocomunicación.-** Servicio que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.

En todo aquello que no se encuentre definido en la presente norma técnica, se aplicarán los términos y las definiciones que consten en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y recomendaciones afines, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, su Reglamento General y demás normativa aplicable.

## CAPÍTULO II Espectro de Uso Libre

**ARTÍCULO 3.- ÁMBITO DE APLICACIÓN PARA ESPECTRO DE USO LIBRE.-** El presente capítulo se aplica a equipos que ocupen las bandas de frecuencias establecidas en el numeral 2 del Anexo 1 de esta Norma, siempre y cuando no se destinen a la prestación de servicios de telecomunicaciones, a la operación de redes privadas o al soporte de servicios de radiodifusión.

**ARTÍCULO 4.- HABILITACIÓN.-** El empleo de espectro de uso libre no requiere la obtención de ningún título habilitante.

**ARTÍCULO 5.- HOMOLOGACIÓN.-** Todo equipo señalado en el ámbito de aplicación del presente capítulo y que opere de conformidad con lo establecido en el Anexo 1 de esta Norma, no necesita ser homologado.

**ARTÍCULO 6.- INTERFERENCIA.-** Un equipo, salvo los equipos ICM, que utiliza espectro de uso libre no puede ocasionar interferencia perjudicial a ninguna estación de radiocomunicaciones que pertenezca a un servicio concesionado, autorizado o registrado por la ARCOTEL, independientemente de la fecha de concesión, autorización o registro, aún si dicho equipo cumple con las características técnicas establecidas en la presente norma técnica. En caso de que se produzca una interferencia perjudicial, se deberá suspender inmediatamente la operación del equipo, bajo pena de las sanciones establecidas en la regulación vigente. La operación no podrá reanudarse hasta que la ARCOTEL emita un informe técnico favorable, indicando que se ha subsanado la interferencia perjudicial.

Los equipos que utilicen espectro de uso libre y las estaciones que pertenezcan a los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en estas bandas, deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de las aplicaciones ICM.

**ARTÍCULO 7.- CONDICIONES DE OPERACIÓN.-** Las condiciones específicas de operación se encuentran establecidas en el Anexo 1 de la presente norma técnica.

La operación de estos equipos no debe superar los límites de exposición a las radiaciones no ionizantes establecidas por la ARCOTEL.

**ARTÍCULO 8.- BANDAS DE FRECUENCIAS RESTRINGIDAS.-** Ningún equipo que emplee espectro de uso libre podrá operar en las bandas de frecuencias restringidas establecidas en el numeral 3.1 del Anexo 1 de esta Norma, ni en las bandas atribuidas en el Plan Nacional de Frecuencias a radioastronomía, al servicio móvil aeronáutico o a servicios de seguridad de la

vida, incluida la radionavegación, salvo indicación expresa en contrario, dentro de esta norma técnica.

**ARTÍCULO 9.- RESPONSABILIDAD.-** El usuario de equipos que empleen espectro de uso libre es responsable del cumplimiento de todas las condiciones técnicas especificadas en esta normativa.

El incumplimiento de lo dispuesto en la presente norma técnica constituye una infracción y genera las sanciones previstas en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, su Reglamento General y demás normativa aplicable.

### CAPÍTULO III

#### Espectro para Uso Determinado en Bandas Libres

**ARTÍCULO 10.- ÁMBITO DE APLICACIÓN PARA ESPECTRO UDBL.-** El presente capítulo se aplica a estaciones que, dedicadas a la prestación de servicios de telecomunicaciones, a la operación de redes privadas o al soporte de servicios de radiodifusión, utilicen las bandas destinadas a espectro de uso libre señaladas en el Anexo 2 de esta Norma.

**ARTÍCULO 11.- HABILITACIÓN PARA ESPECTRO UDBL.-** El título habilitante requerido para el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico bajo esta modalidad, corresponde a un registro, mismo que deberá ser obtenido de manera conjunta o posterior al título habilitante del servicio del régimen general de telecomunicaciones o de operación de red privada, de conformidad con lo establecido en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, su Reglamento General y el Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico.

Para efectos de aplicabilidad y correspondencia de la normativa anteriormente expedida, esta habilitación reemplazará a la otorgada a los anteriormente denominados Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, MDBA, de conformidad con lo establecido en el artículo 4 de la Resolución No. 12-09-ARCOTEL-2017 del 13 de diciembre de 2017.

**ARTÍCULO 12.- ASIGNACIÓN.-** La asignación de frecuencias a las estaciones señaladas en el ámbito de aplicación del presente capítulo se realiza a título de servicio secundario, en función de lo descrito en el Plan Nacional de Frecuencias vigente.

**ARTÍCULO 13.- HOMOLOGACIÓN.-** Todos los equipos que utilicen espectro UDBL, deberán ser homologados por la ARCOTEL de acuerdo con lo establecido en el Reglamento para homologación y certificación de equipos terminales de telecomunicaciones.

**ARTÍCULO 14.- INTERFERENCIA.-** Una estación que emplea espectro UDBL:

- a) No debe causar interferencia perjudicial a las estaciones cuyas frecuencias hayan sido o vayan a ser concesionadas, registradas o autorizadas;
- b) No puede reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones cuyas frecuencias hayan sido o vayan a ser concesionadas, registradas o autorizadas;
- c) No puede reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones cuyas frecuencias hayan sido registradas previamente; pero tienen derecho a la protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones cuyas frecuencias sean registradas ulteriormente; y,
- d) Deberá aceptar la interferencia perjudicial que pueda ser producida por aplicaciones ICM.

En caso de que una estación incumpla las condiciones descritas en este artículo deberá suspenderse inmediatamente su operación, aun si cumple con los parámetros técnicos establecidos en el Anexo 2 de la presente norma. La operación no podrá reanudarse hasta que la ARCOTEL remita un informe técnico favorable, indicando que se ha subsanado la interferencia perjudicial. Si la interferencia perjudicial no puede subsanarse en un plazo de dos meses desde la comprobación de su existencia por parte de la ARCOTEL, el registro de la estación terminará unilateral y automáticamente, sin que corresponda ningún tipo de indemnización.

**ARTÍCULO 15.- CONDICIONES DE OPERACIÓN.-** Las condiciones específicas de operación se encuentran establecidas en el Anexo 2 de la presente norma técnica.

**ARTÍCULO 16.- INFORMACIÓN PARA EL REGISTRO DE ESPECTRO UDBL.-** A efectos de la obtención del Registro de uso de espectro UDBL, el peticionario deberá presentar a la ARCOTEL su solicitud con todos los requisitos establecidos en el Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico.

Para el Registro se deberá presentar la información técnica relacionada con las estaciones centrales, el número de estaciones remotas que se conectan a cada una de aquellas y los certificados de homologación de los equipos utilizados en cada estación. Las modificaciones posteriores se ceñirán a lo dispuesto en el Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico y en el título habilitante respectivo.

**ARTÍCULO 17.- PROHIBICIONES GENERALES.** Para los enlaces auxiliares de radiodifusión y de redes privadas que utilicen espectro UDBL, queda expresamente prohibida la prestación de servicios a terceros a través de estos enlaces, así como la conexión a redes públicas; adicionalmente, los enlaces auxiliares de radiodifusión están prohibidos de transmitir cualquier otro tipo de información que no esté asociada al servicio de radiodifusión.

**ARTÍCULO 18.- RESPONSABILIDAD.-** El usuario de estaciones que empleen espectro UDBL es responsable del cumplimiento de todas las condiciones técnicas especificadas en esta normativa.

El incumplimiento de lo dispuesto en la presente norma técnica constituye una infracción y genera las sanciones previstas en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, su Reglamento General y demás normativa aplicable.

#### DISPOSICIÓN GENERAL

En cumplimiento de la Disposición Transitoria Sexta del Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico, emitido mediante Resolución No. 04-03-ARCOTEL-2016 y publicado en el Registro Oficial No. 756 el 17 de mayo de 2016, que indica: "[...] en caso de que la ARCOTEL, por medio de la Dirección Ejecutiva emita normativa técnica que modifique, condicione o establezca parámetros de operación o utilización de estos equipos, se deberán sujetar obligatoriamente a dicha normativa.", la presente Norma técnica de espectro de uso libre y de espectro para uso determinado en bandas libres, reemplaza a lo establecido en dicha disposición transitoria.

#### DISPOSICIONES DEROGATORIAS

**Primera.-** Se deroga la Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, emitida mediante Resolución No. TEL-560-18-CONATEL-2010 el 24 de septiembre de 2010.



**Segunda.-** Se deroga la Norma técnica para el uso de bandas libres para aplicaciones industriales, científicas y médicas, emitida mediante Resolución No. TEL-489-22-CONATEL-2013 el 30 de septiembre de 2013.

**DISPOSICIÓN TRANSITORIA**

**Primera.-** Los títulos habilitantes de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico mediante el empleo de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, otorgados previamente a la entrada en vigencia de la presente norma técnica, continuarán su vigencia sin la necesidad de suscribir un nuevo título habilitante, debiendo readecuarse en caso de renovación o de que el poseedor del título lo solicite expresamente a la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL.

La presente Resolución entrará en vigencia a partir de su publicación en el Registro Oficial.

Dado en Quito, Distrito Metropolitano a,

Ing. Washington Cristóbal Carrillo Gallardo

DIRECTOR EJECUTIVO

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES

ELABORADO POR:	REVISADO POR	APROBADO POR
Ing. Harold Miranda Ing. Jenny Velásquez Ing. Diego Merino Dirección Técnica de Regulación del Espectro Radioeléctrico	Ing. Diego Salazar Saeteros Director Técnico de Regulación del Espectro Radioeléctrico	Ing. Ana Gabriela Valdiviezo Black Coordinadora Técnica de Regulación

**ANEXO 1  
CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA EQUIPOS QUE OCUPEN ESPECTRO DE USO  
LIBRE**

**1. TÉRMINOS, CONCEPTOS Y DEFINICIONES ADICIONALES**

A efectos de la presente norma técnica, se acogen los siguientes términos, definiciones y conceptos:

**1.1. Alarma en general**

Utilización de comunicaciones radioeléctricas para indicar una condición de alarma en una ubicación distante.

**1.2. Alarmas sociales**

El servicio de alarmas sociales es un servicio de asistencia de emergencia diseñado para permitir a la población indicar que se encuentra en peligro y permitir que reciban la asistencia adecuada. El servicio se organiza como una red de asistencia, normalmente con un equipo disponible las 24 horas del día en una estación en la que se reciben las señales de alarma y se toman las medidas oportunas para proporcionar la asistencia requerida (llamar a un médico, a los bomberos, etc.).

La alarma se envía normalmente mediante líneas telefónicas, asegurando el marcado automático mediante equipos fijos (unidad local) conectados a la línea. La unidad local se activa desde un dispositivo radioeléctrico portátil pequeño (activador) por cada individuo.

Los sistemas de alarmas sociales están diseñados normalmente para proporcionar un nivel de fiabilidad tan alto como sea factible en la práctica.

**1.3. Aplicaciones inalámbricas de audio**

Entre las aplicaciones para sistemas inalámbricos de audio se incluyen a las siguientes: altavoces inalámbricos, auriculares inalámbricos, auriculares inalámbricos portátiles, es decir reproductores de disco compacto portátiles, radiocasetes o receptores de radio transportados por personas, auriculares inalámbricos para su utilización en un vehículo, por ejemplo para ser utilizados con un radioteléfono o un teléfono móvil, etc., comprobación auricular para su utilización en conciertos u otras producciones.

Los sistemas se designarán de forma que en ausencia de una entrada de audio no se produzca ninguna transmisión de portadora de RF.

**1.4. Aplicaciones inductivas**

Los sistemas de bucles inductivos son sistemas de comunicaciones basados en campos magnéticos, generalmente a frecuencias de radiofrecuencia (RF) bajas.

Las aplicaciones inductivas incluyen por ejemplo inmovilizadores de vehículos, sistemas de acceso a vehículos o detectores de vehículos, identificación de animales, sistemas de alarma, sistemas de gestión y logística de elementos, detección de cables, gestión de basuras, identificación personal, enlaces inalámbricos de voz, control de acceso, sensores de proximidad, sistemas antirrobo incluidos los sistemas antirrobo de inducción de RF, transferencia de datos a dispositivos portátiles, identificación automática de artículos, sistemas de control inalámbricos y peaje automático de carreteras.

### 1.5. Control de modelos (juguetes)

El control de modelos incluye la aplicación de equipos de control de modelos radioeléctricos, que tiene exclusivamente el objeto de controlar el movimiento del modelo (juguete), en el aire, en tierra o sobre o bajo la superficie del agua.

### 1.6. Detalle de aplicaciones de equipos Industriales, Científicos y Médicos (ICM)

Son aplicaciones de equipos ICM, adoptadas de la Recomendación UIT-R SM.1056-1, las siguientes:

- Equipos de calentamiento por inducción (por debajo de 1 MHz)
  - Cocinas por inducción domésticas
  - fundición de metales
  - calentamiento de palanquilla
  - soldadura de tubos
  - soldadura blanca y amarilla
  - calentamiento de piezas
  - soldadura por puntos
  - tratamiento térmico selectivo de la superficie de piezas metálicas
  - cultivo y refinado de cristales semiconductores
  - costura de superficies de carrocerías de automotores
  - cierre hermético de envases
  - calentamiento de bandas de acero para galvanizado, recocido y secado de pintura
- Equipos de caldeo dieléctrico por RF (1-100 MHz)
  - secado de chapa de madera y madera de construcción
  - secado de textiles
  - secado de fibra de vidrio
  - secado de papel y de revestimientos de papeles
  - precalentamiento de plásticos
  - soldadura y moldeo de plásticos
  - post-horneado y secado de productos alimenticios
  - descongelación de carnes y pescados
  - secado de machos en fundición
  - secado de colas
  - secado de películas
  - endurecimiento de adhesivos
  - precalentamiento de materiales
- Equipos médicos
  - Equipos de diatermia por ondas cortas y microondas y de hipertermia
  - Unidades quirúrgicas eléctricas (UQE)
  - Formación de imágenes por resonancia magnética
  - Formación de imágenes ultrasónicas para el diagnóstico
- Equipos de microondas (por encima de 900 MHz)
  - Homos microondas domésticos y comerciales
  - Calentamiento, descongelación y cocción de alimentos
  - Secado de pinturas y revestimientos con rayos ultravioletas
  - Vulcanización del caucho
  - Elaboración de productos farmacéuticos
- Equipos varios



- Soldadores de arco excitados por radiofrecuencias
- Equipos de erosión por arco eléctrico
- Equipos científicos y de laboratorio
  - Generadores de señales
  - Receptores de medida
  - Contadores de frecuencia
  - Medidores de caudal
  - Analizadores de espectro
  - Básculas
  - Instrumentos de análisis químicos
  - Microscopios electrónicos
  - Fuentes de alimentación con conmutación (no incorporadas a otros equipos)

#### 1.7. Emisiones no deseadas

Emisiones en una frecuencia o en varias frecuencias que están fuera de la anchura de banda necesaria y cuyo nivel se puede reducir sin afectar la transmisión correspondiente de información. Las emisiones no deseadas incluyen emisiones de armónicos, emisiones parásitas, productos de intermodulación y productos de conversión de frecuencia, pero excluyen las emisiones fuera de banda.

#### 1.8. Emisiones no esenciales

Emisión en una o varias frecuencias situadas fuera de la anchura de banda necesaria, cuyo nivel puede reducirse sin influir en la transmisión de la información correspondiente. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de la conversión de frecuencia están comprendidos en las emisiones no esenciales, pero están excluidas las emisiones fuera de banda.

#### 1.9. Equipos para detectar víctimas de avalanchas

Las balizas de avalanchas son sistemas de localización radioeléctrica utilizados para buscar y/o encontrar víctimas de avalanchas con el fin de su inmediato rescate.

#### 1.10. Equipamiento para detectar movimiento y equipamiento para alertas

Son sistemas de radar de baja potencia para fines de radiodeterminación.

#### 1.11. Equipo de localización de cables

Emisor intencional utilizado ocasionalmente por operadores entrenados para localizar cables, líneas, tuberías y estructuras o elementos similares enterrados. Su utilización implica el acoplamiento de señales radioeléctricas en un cable, tubería, etc. y la utilización de un receptor para determinar la ubicación de dicha estructura o elemento.

#### 1.12. Identificación automática de vehículos (AVI, automatic vehicle identification)

El sistema AVI utiliza la transmisión de datos entre un transpondedor ubicado en un vehículo y un interrogador fijo situado en la vía para proporcionar la identificación automática y sin ambigüedades de un vehículo que pasa. El sistema también permite leer cualquier otro dato almacenado y facilita el intercambio bidireccional de datos variables.

#### 1.13. Indicadores de nivel de RF (radar)

Son dispositivos de radiocomunicaciones de corto alcance utilizados para el control de procesos en instalaciones como refinерías, plantas químicas, plantas farmacéuticas, fábricas de pasta y papel, plantas de alimentación y bebidas y plantas de energía eléctrica entre otras, para medir la cantidad de diversos materiales, almacenados fundamentalmente en un contenedor cerrado o en un tanque.

Se pueden emplear estos dispositivos para medir el nivel del agua de un río para información o alarma.

Los indicadores de nivel que utilizan señales electromagnéticas de RF son insensibles a la presión, la temperatura, el polvo, los vapores, las variaciones de la constante dieléctrica y las variaciones de densidad.

Los tipos de tecnología utilizados en productos de indicadores de nivel RF incluyen:

- Radiación en forma de impulsos; y
- Onda continua modulada en frecuencia (FMCW por sus siglas en inglés).

#### 1.14. Micrófonos radioeléctricos

Los micrófonos radioeléctricos (también denominados micrófonos inalámbricos o micrófonos sin hilos) son transmisores unidireccionales pequeños de baja potencia (50 mW o menos) diseñados para ser llevados en el cuerpo o tomados en la mano para la transmisión de sonido a distancias cortas para uso personal. Los receptores están mejor adaptados a utilizaciones específicas y pueden variar en tamaño desde pequeñas unidades manuales hasta módulos montados en bastidores como parte de un sistema multicanal.

#### 1.15. Potencia Isótropa Radiada Equivalente (P.I.R.E.)

Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia con relación a una antena isótropa en una dirección dada (ganancia isótropa o absoluta).

#### 1.16. Radiodeterminación

Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.

#### 1.17. Redes radioeléctricas de área local (RLAN) de banda ancha

Las RLAN de banda ancha son redes utilizadas por una organización única dentro de una sola instalación o extendidas sobre una pequeña zona, preferentemente en el interior de edificios, en oficinas, fábricas, almacenes, etc. En el caso de los dispositivos RLAN instalados en el interior de edificios, las emisiones resultan atenuadas por la estructura.

Las RLAN de banda ancha pueden ser pseudofijas, como en el caso de los ordenadores de sobremesa y pueden ser transportables de un lugar a otro o portátiles, como en el caso de los dispositivos informáticos portátiles o de bolsillo que funcionan con baterías, o los teléfonos celulares con conectividad LAN inalámbrica integrada.

Se puede emplear modulación de espectro ensanchado u otras técnicas de transmisión redundantes, que les permita funcionar satisfactoriamente en un entorno radioeléctrico ruidoso.

#### 1.18. Sensor de perturbación de campo

Dispositivo que establece un campo radioeléctrico en su proximidad y detecta cambios en dicho campo resultantes del movimiento de personas y de objetos dentro de su radio de acción.

#### **1.19. Señales intermitentes de control**

Dispositivos de operación momentánea cuya emisión está restringida a transmisión de señales de control, tales como las que se utilizan en sistemas de alarmas, interruptores remotos y dispositivos de apertura y cierre de puertas, entre otros.

La transmisión de señales de control no debe superar los cinco (5) segundos después de su activación, independientemente si ésta es manual o automática, excepto cuando el radiador intencional es empleado para propósitos de radio control durante emergencias que involucran fuego, seguridad de bienes (alarmas antirrobo) y seguridad de la vida, en cuyo caso la señal de alarma activada puede operar durante el intervalo de la misma.

#### **1.20. Sistema de protección perimetral**

Sensor de perturbación de campo que utiliza líneas de transmisión de RF como fuente de radiación. Estas líneas se instalan de forma que el sistema pueda detectar movimientos en la zona protegida.

#### **1.21. Sistema de balizas en vías férreas**

El sistema de balizas es un sistema diseñado para enlaces de transmisión definidos localmente entre el tren y la vía. La transmisión de datos es posible en ambos sentidos. La longitud del trayecto de transmisión de los datos físicos es del orden de 1 m, es decir significativamente más corto que un vehículo. El interrogador está fijo bajo la locomotora y el transpondedor está ubicado en el centro de la vía. El interrogador suministra la alimentación al transpondedor.

#### **1.22. Sistema de bucle en vías férreas**

El sistema de bucle está diseñado para la transmisión de datos entre el tren y la vía. La transmisión de datos es posible en ambos sentidos. Existen bucles cortos y bucles medios que proporcionan transmisiones intermitentes y continuas. En el caso de bucles cortos, la longitud de contacto es del orden de 10 m. La longitud de contacto en el caso de bucles medios está entre 500 y 6000 m. No son posibles funciones de localización de trenes en el caso de transmisión continua. La longitud de contacto es superior que en el caso de la transmisión intermitente y generalmente supera la longitud de un bloque. Un bloque es una sección de la vía en la que sólo puede situarse un tren.

#### **1.23. Sistema de comunicación para implantes médicos (MICS) activos de potencia extremadamente baja**

Los implantes médicos activos de potencia extremadamente baja forman parte de un MICS para su utilización con dispositivos médicos implantados como marcapasos, desfibriladores implantables, estimuladores nerviosos y otros tipos de dispositivos implantados. Los MICS utilizan módulos transceptores para la comunicación de radiofrecuencia entre un dispositivo externo denominado programador/controlador y un implante médico situado dentro de un cuerpo humano o animal.

Estos sistemas de comunicación se utilizan de muchas formas, por ejemplo: para ajustar los parámetros de un dispositivo (por ejemplo, modificación de los parámetros de un marcapasos), para la transmisión de información almacenada (electrocardiogramas almacenados durante un tiempo o registrados durante operaciones médicas) y para transmitir en tiempo real signos vitales comprobados durante cortos espacios de tiempo.

Los equipos MICS se utilizan únicamente bajo la dirección de un médico u otro profesional de la sanidad debidamente autorizado. La duración de estos enlaces está limitada a cortos periodos de tiempo, necesarios para la recuperación de datos y la reprogramación de implantes médicos relacionados con la salud del paciente.

#### 1.24. Sistemas de identificación de RF (RFID por sus siglas en inglés)

Equipos que permiten transporte de datos por transpondedores adecuados, conocidos generalmente como etiquetas y recuperar datos por medios manuales o mecánicos en un instante y lugar adecuado para satisfacer necesidades de aplicaciones particulares. Los datos en una etiqueta pueden proporcionar la identificación de un elemento en fabricación, tránsito de mercancías, una ubicación, la identidad de personas y/o sus pertenencias, un vehículo u objetos, un animal u otro tipo de información. Al incluir datos adicionales se proporciona la posibilidad de soportar aplicaciones como información específica de elementos o instrucciones disponibles inmediatamente al leer la etiqueta. Se utilizan a menudo etiquetas de lectura y escritura como una base de datos descentralizada para hacer el seguimiento y la gestión de mercancías en ausencia de un enlace.

El sistema requiere, además de las etiquetas, un medio para leer o interrogar las etiquetas y algunos medios para comunicar los datos a un ordenador anfitrión o a un sistema de gestión de información. Un sistema también incluirá los medios para introducir o programar datos en las etiquetas, si no lo realiza en origen el fabricante.

Muy a menudo una antena se considera como una parte separada de un sistema RFID. Aunque su importancia puede justificarse debería verse como una característica que está presente tanto en los lectores como en las etiquetas y que es fundamental para la comunicación entre ambos. Mientras que la antena de una etiqueta es una parte importante del dispositivo, el lector o interrogador puede tener una antena integrada o separada en cuyo caso se definirá como una parte indispensable del sistema.

#### 1.25. Sistema telefónico inalámbrico (Teléfonos inalámbricos)

Sistema constituido por dos transceptores, una estación base conectada a la red telefónica pública conmutada (RTPC) y un aparato telefónico móvil que se comunica directamente con la estación base. Las transmisiones desde la unidad móvil las reciben por la estación base y se transmiten a la RTPC. La información recibida de la red telefónica conmutada la retransmite la estación base a la unidad móvil.

En Ecuador, estos dispositivos deben ser de baja potencia y corto alcance y su operación debe limitarse exclusivamente a ámbitos interiores con antenas integradas (el uso de conector de antena externo está prohibido) bajo las condiciones de atenuación de las emisiones fuera de banda descritas en el Apéndice 3 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

#### 1.26. Voz y video

En relación con los dispositivos de radiocomunicaciones de corto alcance, la voz incluye aplicaciones como radiotelefonos, radioescucha de bebés y utilidades similares. Están excluidos los equipos de banda ciudadana CB y las radios móviles privadas (PMR 446).

En video se considera que se utilizarán aplicaciones no profesionales de cámaras inalámbricas para fines de control y de vigilancia.

#### 1.27. Telemando

La utilización de radiocomunicaciones para la transmisión de señales que inician, modifican o finalizan funciones de equipos a distancia.

### 1.28. Telemática de transporte y tráfico en carreteras (RTTT por sus siglas en inglés)

También referido como comunicaciones especializadas de corto alcance para sistemas de información y control de transportes (TICS por sus siglas en inglés), se definen como sistemas que proporcionan comunicaciones de datos entre dos o más vehículos en carreteras o entre los vehículos y la infraestructura de la carretera para diversas aplicaciones de transporte y viajes basados en información, incluidas pago automático, señalización de carreteras y de aparcamiento, prevención de colisiones y aplicaciones similares.

### 1.29. Telemedida

Utilización de radiocomunicación para indicar o registrar datos a distancia.

### 1.30. Transmisor o emisor intencional

Dispositivo que intencionalmente genera y emite energía de radiofrecuencia ya sea por radiación o por inducción.

### 1.31. Transmisiones periódicas

Los emisores intencionales pueden operar a una tasa periódica y ser empleados para cualquier tipo de operación mientras dispongan de mecanismos que limiten automáticamente su funcionamiento, de tal manera que la duración de cada transmisión no supere un segundo seguido por un período de silencio entre transmisiones de al menos 30 veces la duración de la transmisión sin que sea menor a 10 segundos.

## 2. BANDAS DE USO LIBRE

### 2.1. Límites generales

Salvo que en la presente norma técnica se indique lo contrario, ningún transmisor intencional deberá sobrepasar los límites de intensidad de campo indicados en la siguiente tabla:

Frecuencia (MHz)	Intensidad de campo ( $\mu\text{V/m}$ )	Distancia de medición (m)
0.009-0.490	$2400/f$ (kHz)	300
0.490-1.705	$24000/f$ (kHz)	30
1.705-30.0	30	30
30-88	100	3
88-216	150	3
216-960	200	3
Por encima de 960	500	3

Tabla 1.1. Límites generales para cualquier transmisor intencional  
Fuente: UIT-R SM.2153-5

### 2.2. Excepciones o exclusiones de los límites generales

En las siguientes bandas, los límites establecidos reemplazan a los límites generales:

Banda de frecuencias	Tipo de utilización	Límite de emisión
9-45 kHz	Equipo de localización de cables	Potencia de salida de cresta de 10 W
45-101.4 kHz	Equipo de localización de cables	Potencia de salida de cresta de 1 W
101.4 kHz	Detectores de marcador electrónico de compañía telefónica	23,7 $\mu\text{V/m}$ a 300 m

Banda de frecuencias	Tipo de utilización	Límite de emisión
101.4-160 kHz	Equipo de localización de cables	Potencia de salida de cresta de 1 W
160-190 kHz	Equipo de localización de cables	Potencia de salida de cresta de 1 W
	Cualquiera	Entrada de 1 W a la etapa final de RF
190-490 kHz	Equipo de localización de cables	Potencia de salida de cresta de 1 W
510-525 kHz	Cualquiera	Entrada de 100 $\mu$ W a la etapa final de RF
525-1 705 kHz	Cualquiera	Entrada de 100 $\mu$ W a la etapa final de RF
	Transmisores en terrenos de instituciones educativas	24 000/f (kHz) $\mu$ V/m a 30 m fuera de los límites del campus
	Sistemas de corrientes portadoras y coaxiales con fugas	15 $\mu$ V/m a 47 715/f (kHz) m del cable
1.705-10 MHz	Cualquiera, cuando la anchura de banda a 6 dB $\geq$ 10% de la frecuencia central	100 $\mu$ V/m a 30 m
	Cualquiera, cuando la anchura de banda a 6 dB < 10% de la frecuencia central	15 $\mu$ V/m a 30 m o anchura de banda en (kHz)/f (MHz)
13.553-13.567 MHz	Cualquiera de la sección §15.225 de la FCC	10 000 $\mu$ V/m a 30 m
26.96-27.28 MHz	Cualquiera la sección §15.227 de la FCC	10 000 $\mu$ V/m a 3 m
40.66-40.7 MHz	Señales intermitentes de control	2 250 $\mu$ V/m a 3 m
	Transmisiones periódicas	1 000 $\mu$ V/m a 3 m
	Cualquiera la sección §15.229 de la FCC	1 000 $\mu$ V/m a 3 m
	Sistemas de protección perimetral	500 $\mu$ V/m a 3 m
43.71-44.49 MHz	Teléfonos inalámbricos	10 000 $\mu$ V/m a 3 m
46.6-46.98 MHz		
48.75-49.51 MHz		
49.66-49.82 MHz		
49.82-49.9 MHz	Cualquiera la sección §15.235 de la FCC	10 000 $\mu$ V/m a 3 m
49.9-50 MHz	Teléfonos inalámbricos	
49.9-50 MHz	Teléfonos inalámbricos	
54-70 MHz	Exclusivamente para sistemas de protección perimetral no residenciales	100 $\mu$ V/m a 3 m
70-72 MHz	Exclusivamente para señales intermitentes de control	1 250 $\mu$ V/m a 3 m
	O para transmisiones periódicas	500 $\mu$ V/m a 3 m
	O para sistemas de protección perimetral no residenciales	100 $\mu$ V/m a 3 m
72-73 MHz	Dispositivos de asistencia de auditorio	80 000 $\mu$ V/m a 3 m
	Señales intermitentes de control	1 250 $\mu$ V/m a 3 m
	Transmisiones periódicas	500 $\mu$ V/m a 3 m
74.6-74.8 MHz	Dispositivos de asistencia de auditorio	80 000 $\mu$ V/m a 3 m
	Señales intermitentes de control	1 250 $\mu$ V/m a 3 m
	Transmisiones periódicas	500 $\mu$ V/m a 3 m
75.2-76 MHz	Dispositivos de asistencia de auditorio	80 000 $\mu$ V/m a 3 m
	Señales intermitentes de control	1 250 $\mu$ V/m a 3 m
	Transmisiones periódicas	500 $\mu$ V/m a 3 m
78-88 MHz	Exclusivamente para señales intermitentes de control	1 250 $\mu$ V/m a 3 m
	O para transmisiones periódicas	500 $\mu$ V/m a 3 m
	O para sistemas de protección perimetral no residenciales	100 $\mu$ V/m a 3 m
88-108 MHz	Señales intermitentes de control	1 250 $\mu$ V/m a 3 m

Banda de frecuencias	Tipo de utilización	Límite de emisión
	Transmisiones periódicas	500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Cualquiera la sección §15.239 de la FCC ( $\leq 200$ kHz de anchura de banda)	250 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
121.94-123 MHz	Señales intermitentes de control	1 250 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
138-149.9 MHz	Señales intermitentes de control	$(625/11) \times f$ (MHz) – (67 500/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(250/11) \times f$ (MHz) – (27 000/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
150.05-156.52476 MHz	Señales intermitentes de control	$(625/11) \times f$ (MHz) – (67 500/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(250/11) \times f$ (MHz) – (27 000/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
156.52525-156.7 MHz	Señales intermitentes de control	$(625/11) \times f$ (MHz) – (67 500/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(250/11) \times f$ (MHz) – (27 000/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
156.9-162.0125 MHz	Señales intermitentes de control	$(625/11) \times f$ (MHz) – (67 500/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(250/11) \times f$ (MHz) – (27 000/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
167.17-167.72 MHz	Señales intermitentes de control	$(625/11) \times f$ (MHz) – (67 500/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(250/11) \times f$ (MHz) – (27 000/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
173.2-174 MHz	Señales intermitentes de control	$(625/11) \times f$ (MHz) – (67 500/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(250/11) \times f$ (MHz) – (27 000/11) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
174-216 MHz	Exclusivamente para señales intermitentes de control	3 750 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	O para transmisiones periódicas O para dispositivos de telemedida biomédica	1 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
216-240 MHz	Señales intermitentes de control	3 750 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	1 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
285-322 MHz	Señales intermitentes de control	$(125/3) \times f$ (MHz) – (21 250/3) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(50/3) \times f$ (MHz) – (8 500/3) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
335.4-399.9 MHz	Señales intermitentes de control	$(125/3) \times f$ (MHz) – (21 250/3) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(50/3) \times f$ (MHz) – (8 500/3) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
410-470 MHz	Señales intermitentes de control	$(125/3) \times f$ (MHz) – (21 250/3) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	$(50/3) \times f$ (MHz) – (8 500/3) $\mu\text{V/m}$ a 3 m
470-512 MHz	Exclusivamente para señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	O para transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
512-566 MHz	Exclusivamente para señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	O para transmisiones periódicas O para dispositivos de telemedida biomédica en hospitales	200 $\text{mV/m}$ a 3 m
566-608 MHz	Exclusivamente para señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m

Banda de frecuencias	Tipo de utilización	Límite de emisión
	O para transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
614-806 MHz	Exclusivamente para señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	O para transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
806-890 MHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
890-915 MHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Señales utilizadas para medir las características de un material	500 $\mu\text{V/m}$ a 30 m
915-928 MHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 500 mW
	Sensores de perturbación de campo	500 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Teléfonos inalámbricos	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Señales utilizadas para medir las características de un material	500 $\mu\text{V/m}$ a 30 m
	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
928-940 MHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Señales utilizadas para medir las características de un material	500 $\mu\text{V/m}$ a 30 m
940-960 MHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
1.24-1.3 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
1.427-1.435 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
1.6265-1.6455 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
1.6465-1.66 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
1.71-1.7188 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
1.7222-2.2 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
1.91-1.92 GHz	Teléfonos inalámbricos	Potencia de salida de cresta de 250 mW
1.92-1.93 GHz	Teléfonos inalámbricos	Potencia de salida de cresta de 250 mW
2.3-2.31 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
2.39-2.4 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
2.4-2.435 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Teléfonos inalámbricos	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
2.435-2.465 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Sensores de perturbación de campo	500 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
2.465-2.4835 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
2.5-2.655 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m



Banda de frecuencias	Tipo de utilización	Límite de emisión
2.9-3.26 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Sistemas AVI	3 000 $\mu\text{V/m}$ por MHz de anchura de banda a 3 m
3.267-3.332 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Sistemas AVI	3 000 $\mu\text{V/m}$ por MHz de anchura de banda a 3 m
3.339-3.3458 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Sistemas AVI	3 000 $\mu\text{V/m}$ por MHz de anchura de banda a 3 m
3.358-3.6 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Sistemas AVI	3 000 $\mu\text{V/m}$ por MHz de anchura de banda a 3 m
4.4-4.5 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.15-5.25 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 50 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.25-5.35 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 250 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.46-5.725 GHz	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.47-5.725 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 250 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.725-5.785 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.785-5.815 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Sensores de perturbación de campo	500 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.815-5.85 GHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 1000 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.85-5.875 GHz	Cualquiera	50 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
5.875-7.25 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
7.75-8.025 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
8.5-9 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
9.2-9.3 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
9.5-10.5 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Sensores de perturbación de campo	2 500 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
10.5-10.55 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
10.55-10.6 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m

Banda de frecuencias	Tipo de utilización	Límite de emisión
12.7-13.25 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
13.4-14.47 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
14.5-15.35 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
16.2-17.7 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
21.4-22.01 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
23.12-23.6 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
24.075-24.175 GHz	Sensores de perturbación de campo	250 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
24.175-24.25 GHz	Cualquiera la sección §15.249 de la FCC	250 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
24.25-31.2 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
31.8-36.43 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
36.5-38.6 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
	Transmisiones periódicas	5 000 $\mu\text{V/m}$ a 3 m
46.7-46.9 GHz	Sensores de perturbación de campo montados en vehículos	Si el vehículo está estático: 200 $\text{nW/cm}^2$ a 3 m
		Si el vehículo está en movimiento: 60 $\mu\text{W/cm}^2$ a 3 m
57-64 GHz	RLAN	P.I.R.E. máximo de 40 dBm; Rec. UIT-R M.1450-5
76-77 GHz	Sensores de perturbación de campo montados en vehículos	Si el vehículo está estático: 200 $\text{nW/cm}^2$ a 3 m
		Si el vehículo está en movimiento: 60 $\mu\text{W/cm}^2$ a 3 m

Tabla 1.2. Límites específicos para transmisores intencionales  
Fuente: UIT-R SM.2153-5

### 3. RESTRICCIONES GENERALES

#### 3.1. Bandas de frecuencias restringidas

Ningún equipo o estación objeto de la presente norma técnica, podrá operar en las bandas de frecuencias descritas a continuación:

BANDAS DE FRECUENCIAS							
N°	(MHz)	N°	(MHz)	N°	(MHz)	N°	(GHz)
1	0.090-0.110	17	13.36-13.41	33	399.9-410	48	6.35-5.46
2	0.495-0.505	18	16.42-16.423	34	608-614	49	6.65-6.6752
3	2.1735-2.1905	19	16.89475-16.89525	35	952-1215	50	8.025-8.5
4	4.125-4.128	20	16.80425-16.80475	36	1300-1427	51	9.0-9.2
5	4.17725-4.17775	21	21.87-21.924	37	1435-1646.5	52	9.3-9.5
6	4.20725-4.20775	22	23.2-23.35	38	1660-1710	53	10.6-11.7
7	6.215-6.218	23	25.5-25.67	39	1718.8-1722.2	54	12.2-12.7
8	6.26775-6.26825	24	37.5-38.25	40	2200-2300	55	13.25-13.4
9	6.31175-6.31225	25	73-74.6	41	2483.5-2500	56	14.47-14.5
10	8.291-8.294	26	74.8-75.2	42	2655-2900	57	15.35-16.2
11	8.362-8.366	27	108-138	43	3260-3267	58	20.2-21.26
12	8.37625-8.38675	28	149.9-150.05	44	3332-3339	59	22.01-23.12
13	8.41425-8.41475	29	156.52475-156.52525	45	3345.8-3352.5	60	23.6-24.0

BANDAS DE FRECUENCIAS							
N°	(MHz)	N°	(MHz)	N°	(MHz)	N°	(GHz)
14	12.29-12.293	30	156.7-156.9	46	4200-4400	61	31.2-31.8
15	12.51975-12.52025	31	242.95-243	47	4800-5150	62	36.43-36.5
16	12.57675-12.57725	32	322-335.4			63	Por encima de 38.6

Tabla 1.3. Bandas de frecuencias restringidas  
Fuente: UIT-R SM.2153-5

Excepcionalmente, se autoriza el funcionamiento de Sistemas de Comunicaciones de Implantes Médicos (MICS) en la banda 402-405 MHz, siempre que cumplan las disposiciones establecidas en la presente norma técnica.

### 3.2. Antenas

No se pueden utilizar antenas diferentes a aquellas para las cuales el equipo fue diseñado y fabricado.

## 4. RESTRICCIONES PARA EQUIPOS ICM

Los equipos que funcionen en las bandas para aplicaciones ICM en el país deberán acoger los límites de radiación descritos para la Región 2 por la UIT y por el Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR).

En la siguiente tabla se encuentran los niveles de radiación máximos permitidos para equipos ICM:

Banda de Frecuencia	Frecuencia central	Intensidad de campo eléctrico (dB $\mu$ V/m) <sup>1</sup>
6765 – 6795 kHz	6780 kHz	80 -100
13553 – 13567 kHz	13560 kHz	80-120
26957 – 27283 kHz	27120 kHz	70-120
40.66 – 40.70 MHz	40.68 MHz	60-120
902 – 928 MHz	915 MHz	60-120
2400 – 2500 MHz	2450 MHz	30-120

Tabla 1.4. Niveles de radiación máximos permitidos para equipos ICM  
Fuente: UIT-R SM.1056-1

<sup>1</sup>La intensidad de campo es la existente a una distancia de 30 m del muro exterior del edificio en el que se encuentra el equipo ICM.

ANEXO 2  
CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA USO DETERMINADO EN BANDAS LIBRES, UDBL

1. TÉRMINOS, CONCEPTOS Y DEFINICIONES ADICIONALES

A efectos de la presente norma técnica, se acogen los siguientes términos, definiciones y conceptos:

1.1. Enlaces UDBL fijos punto a punto

Enlace radioeléctrico efectuado entre dos estaciones centrales.

1.2. Enlaces UDBL fijos punto a multipunto

Enlace radioeléctrico efectuado entre una estación central y dos o más estaciones remotas.

1.3. Sistemas UDBL móviles

Comunicación radioeléctrica efectuada entre una estación central y dos o más estaciones remotas en su área de cobertura.

1.4. Espectro Ensanchado

Tecnología en la que la energía media de la señal transmitida se extiende sobre un ancho de banda considerablemente más amplio que el ancho de banda que contiene la información. Los sistemas que emplean esta tecnología compensan el uso de una banda de transmisión más ancha con una densidad espectral de potencia más baja y una mejora en el rechazo de las señales interferentes provenientes de otros sistemas que funcionan en la misma banda de frecuencia.

2. BANDAS UDBL

Las bandas destinadas a espectro para uso determinado en bandas libres son las siguientes:

Banda UDBL	Tipo de Enlace / Sistema		
	PUNTO A PUNTO	PUNTO A MULTIPUNTO	MÓVIL
915 – 928 MHz	X	X	X
2400 – 2483.5 MHz	X	X	X
5150 – 5250 MHz	X	X	X
5250 – 5350 MHz	X	X	X
5470 – 5725 MHz	X	X	X
5725-5850 MHz	X	X	X
24.05 – 24.25 GHz	X	No permitido	No permitido
57 – 64 GHz	X	No permitido	No permitido

Tabla 2.1. Límites a las transmisiones de Espectro Ensanchado

2.1. Límites de emisión para espectro UDBL

A continuación, se detallan las características técnicas y los límites de emisión aplicables a las bandas destinadas a espectro UDBL:

Bandas de Operación	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)	P.I.R.E. (mW)	Densidad de P.I.R.E. (mW/MHz)
915 – 928 MHz*	500	---	---
2400 – 2483.5 MHz*	1000	---	---
5150 – 5250 MHz*	50	200	10
5250 – 5350 MHz*	250	1000	50
5470 – 5725 MHz*	250	1000	50
5725-5850 MHz*	1000	---	---
57 – 64 GHz	500	20000	---

Bandas de Operación	Intensidad de campo máximo
24.05 – 24.25 GHz	2 500 000 $\mu$ V/m a 3 m

Tabla 2.2. Límites a las transmisiones de UDBL

\*Se deben emplear transmisiones de espectro ensanchado

- 2.1.1. En la banda de 915 a 928 MHz, los sistemas de espectro ensanchado tendrán frecuencias portadoras por canal de salto separadas como mínimo, por el mayor valor entre 25 kHz y el ancho de banda del canal a 20 dB. El sistema saltará a los canales de frecuencias que sean seleccionados de una lista pseudo aleatoria, a la velocidad de salto provisto por el sistema.
- 2.1.2. Si la ganancia de la antena empleada en la banda 2400 – 2483.5 MHz es superior a 6 dBi, deberá reducirse la potencia máxima de salida del transmisor, esto es 1 Watt, en 1dB por cada 3 dB de ganancia de la antena que exceda los 6 dBi.
- 2.1.3. Cuando en las bandas de 5150 - 5250 MHz, 5250 - 5350 MHz y 5470 - 5725 MHz, se utilicen en equipos con antenas de transmisión de ganancia mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que superen la ganancia de la antena que exceda los 6 dBi.
- 2.1.4. Cualquier dispositivo que opere en la banda de 5150 - 5250 MHz deberá utilizar una antena de transmisión que sea parte integral del dispositivo.
- 2.1.5. Dentro de la banda de 5150 - 5250 MHz y 5250 - 5350 MHz, los dispositivos que operen al interior de recintos cerrados, deberán contar con sistemas que dispongan de selección dinámica de frecuencia (DFS) de acuerdo con la Recomendación UIT-R M.1652 sobre sistemas de acceso de radio incluyendo RLAN en 5000 MHz.

En estas bandas, la densidad espectral de la P.I.R.E. media no debe exceder 0.04mw/4kHz medida en cualquier ancho de banda de 4 kHz o lo que es lo mismo 10mW/MHz.

- 2.1.6. En las bandas de 5250 - 5350 MHz y 5470 - 5725 MHz los usuarios de sistemas móviles deben emplear controles de potencia en el transmisor capaces de garantizar una reducción media de por lo menos 3 dB de la potencia de salida media máxima de los sistemas o, en caso de no emplearse controles de potencia de transmisor, que la P.I.R.E. máxima se reduzca en 3 dB.

Los usuarios de sistemas móviles deberán aplicar las medidas de reducción de la interferencia que contempla la Recomendación UIT-R M.1652, a fin de

asegurar un comportamiento compatible con los sistemas de radiodeterminación.

- 2.1.7. En la banda de 5250 - 5350 MHz, los sistemas que funcionen con una P.I.R.E. media máxima de 1W y una densidad de P.I.R.E. media máxima de 50 mW/MHz en cualquier banda de 1 MHz, y cuando funcionen con una P.I.R.E. media superior a 200 mW deberán cumplir con la densidad de P.I.R.E. de acuerdo con la siguiente tabla:

Densidad de P.I.R.E. dB(W/MHz)	Intervalo de $\theta$
-13	$0^\circ \leq \theta \leq 8^\circ$
$-13-0.716 * (\theta-8)$	$8^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$
$-35.9-1.22 * (\theta-40)$	$40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$
-42	$\theta > 45^\circ$

Tabla 2.3. Límites de la densidad de P.I.R.E. en la banda de 5250 - 5350 MHz

Donde:

$\theta$  : Es el ángulo, expresado en grados, por encima del plano horizontal local (de la Tierra).

- 2.1.8. Los sistemas que operen en la banda de 5725 - 5850 MHz pueden emplear antenas de transmisión con ganancia mayor a 6 dBi y de hasta 23 dBi sin la correspondiente reducción en la potencia pico de salida del transmisor.

Si emplean ganancia en la antena mayor a 23 dBi, será requerida una reducción de 1 dB en la potencia pico del transmisor y en la densidad espectral de potencia pico por cada dB que la ganancia de la antena exceda a los 23 dBi.

- 2.1.9. Las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación de 915-928 MHz y 2400-2483.5 MHz, deberán ser atenuadas para cualquier ancho de banda de 100 kHz fuera de la banda de frecuencias de operación, de tal forma que la potencia radiada por el equipo se encuentre al menos 20 dB por debajo de dicha potencia en el ancho de banda de 100 kHz que contenga el mayor nivel de potencia deseada.

- 2.1.10. Las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación de 5150 - 5250 MHz, 5250 - 5350 MHz, 5470 - 5725 MHz y 5725 - 5850 MHz, deberán ser atenuadas de conformidad con los siguientes límites:

Banda de Operación (MHz)	Rango de frecuencias considerado (MHz)	P.I.R.E. para emisiones fuera de banda (dBm/MHz)
5150 - 5250	< 5150	-27
	> 5250	
5250 - 5350	< 5250	-27
	> 5350	
5470 - 5725	< 5470	-27
	> 5725	
5725 - 5850	5715 - 5725	-17
	5850 - 5860	
	< 5715 > 5860	-27

Tabla 2.4. Emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia

- 2.1.11. En la banda de 24.05-24.25 MHz no están permitidos enlaces punto-multipunto, aplicaciones omnidireccionales o múltiples transmisores colocalizados transmitiendo la misma información.

La ganancia de antena debe ser de al menos 33 dBi. Adicionalmente, la anchura de haz del lóbulo principal no debe exceder 3.5 grados. El límite de ancho de haz se aplicará tanto a los planos de azimut como de elevación. Para antenas con ganancias superiores a 33 dBi o anchos de haz inferiores a 3.5 grados se debe reducir la potencia para asegurar que la intensidad de campo no exceda los 2500 mV/m a 3 metros a lo largo del azimut de la antena.

Las solicitudes remitidas a la ARCOTEL para el uso de esta banda deben contener, como mínimo, la frecuencia central de operación y el ancho de banda; y es responsabilidad del peticionario verificar la disponibilidad de la frecuencia solicitada en la canalización que expida la ARCOTEL, mediante un monitoreo previo en sitio.

- 2.1.12. En la banda de 57-64 GHz no están permitidos enlaces punto-multipunto, aplicaciones omnidireccionales o múltiples transmisores co-localizados transmitiendo la misma información.

La densidad de potencia media de cualquier emisión, medido durante el intervalo de transmisión no rebasará  $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  a una distancia de 3 m y la densidad de potencia de cresta de cualquier emisión no rebasará  $18 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  a una distancia de 3 m.

Para emisiones de anchura de banda inferior a 100 MHz, la potencia de cresta del transmisor debe limitarse a  $500 \text{ mW} \times (\text{anchura de banda (MHz)}/100 \text{ (MHz)})$

Las solicitudes remitidas a la ARCOTEL para el uso de esta banda deben contener, como mínimo, la frecuencia central de operación y el ancho de banda, y es responsabilidad del peticionario verificar la disponibilidad de la frecuencia solicitada en la canalización que expida la ARCOTEL, mediante un monitoreo previo en sitio.



## Anexo 2. Certificado de traducción del resumen

### CERTIFICACIÓN

Loja, (9) de mayo de 2023

Licenciada

**Sara Janeth Espinosa Guzmán**

**Docente del Ministerio de Educación**

En mi calidad de Licenciada en Pedagogía de Idioma Inglés con capacidades que pueden ser probadas a través de la certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, he realizado la traducción del resumen del trabajo de tesis denominado: "**Análisis de los protocolos y tecnologías de comunicación para redes de sensores aplicados a la agricultura de precisión en zonas andinas**" perteneciente a la estudiante **Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima** con C.I. **1104460389**.

Es en cuenta puedo certificar en honor a la verdad, facultando a la interesada estudiante: **Mariuxi Fernanda Chuinda Sisalima**, hacer uso legal del presente según estime conveniente.

Atentamente,

Sara Espinosa Guzmán

Docente del Ministerio de Educación

Nro registro Senecyt 1031-2022-2416269