



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

**TEMA:**

**Análisis de una red de comunicación LORA para la mina de la Sociedad  
de Producción Minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez  
en la provincia del Azuay**

**AUTOR:**

**León Ordoñez, Ronald Giovanni**

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

**TUTOR:**

**Ing. Vélez Tacuri, Efraín**

**Guayaquil, Ecuador**

**16 de febrero del 2023**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **León Ordoñez Ronald Giovanny** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

**TUTOR**

---

Ing. Efraín Vélez Tacuri

**DIRECTOR DE CARRERA**

---

M. Sc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar

**Guayaquil, a los 16 días del mes de febrero del año 2023**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **León Ordoñez, Ronald Giovanni**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación **“Análisis de una red de comunicación LORA para la mina de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay”** previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

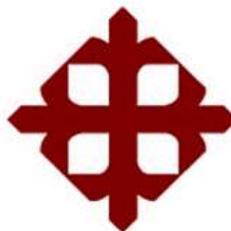
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 2 días del mes de febrero del año 2023

**EL AUTOR**

---

**León Ordoñez, Ronald Giovanni**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **León Ordoñez, Ronald Giovanni**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Análisis de una red de comunicación LORA para la mina de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de febrero del año 2023

**EL AUTOR**

---

**León Ordoñez, Ronald Giovanni**

## REPORTE DE URKUND

Document Information	
Analyzed document	Titulación LEON RONALD.docx (D158852344)
Submitted	2023-02-17 05:34:00
Submitted by	
Submitter email	efrain.velez@ucu.ucsg.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	efrain.velez.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report	
<b>SA</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / León_Ronald_TICA2022 (2).docx Document: León_Ronald_TICA2022 (2).docx (D156062537) Submitted by: efrain.velez@ucu.ucsg.edu.ec Receiver: efrain.velez.ucsg@analysis.orkund.com

Reporte Urkund del trabajo de titulación de la Carrera ingeniería en telecomunicaciones denominado: **“Análisis de una red de comunicación LORA para la mina de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay”**, del estudiante **León Ordoñez, Ronald Giovanni** se encuentra al 4% de coincidencias.

**TUTOR**

---

**Ing. Vélez Tacuri Efraín**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis Padres, hermana y a mi tía Jesenia que su apoyo en este proceso fue muy fundamental en mi vida, a mi familia por esa confianza que me tuvo desde el inicio, a mis distintos maestros que tuve en el camino que con sus lecciones y enseñanzas formaron al profesional que soy ahora.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'Ronald Ordoñez', with a circular flourish at the end.

**EL AUTOR**

**León Ordoñez, Ronald Giovanni**

## DEDICATORIA

Este trabajo de tesis va dedicado a toda mi familia y amigos que desde un principio me ayudaron a llegar a donde estoy ahora, y también está dedicada al cielo, para mi tía Jesenia que fue un pilar muy fuerte en mi vida personal y académica.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read "Ronald Ordoñez", with a circular flourish at the end.

**EL AUTOR**

**León Ordoñez, Ronald Giovanny**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

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

**Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar M. Sc.**

DIRECTOR DE CARRERA

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

**Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar M. Sc.**

COORDINADOR DEL ÁREA

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

**Ing. Carlos Bolívar Romero Rosero M.Sc.**

OPONENTE

# Índice General

Índice de Figuras .....	XI
Resumen.....	XII
<b>Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación .....</b>	<b>2</b>
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Definición del problema.....	3
1.4. Justificación del problema.....	4
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	4
1.5.1. Objetivo General. ....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Metodología de Investigación.....	5
<b>Capítulo 2: Fundamentación Teórica.....</b>	<b>6</b>
2.1. Descripción general de las telecomunicaciones.....	6
2.2. Estructura de una red de telecomunicaciones.....	7
2.3. Red de transporte.....	7
2.3.1. Red de conmutación.....	8
2.3.2. Red de acceso.....	9
2.4. Infraestructura de telecomunicaciones en desastres .....	9
2.5. Servicios de las telecomunicaciones .....	10
2.6. Ventajas del uso de las telecomunicaciones para las empresas.....	11
2.6.1. Comunicación avanzada .....	11
2.6.2. Mejora de la colaboración.....	11
2.6.3. Mayor Flexibilidad.....	11
2.6.4. Mejora del servicio al cliente .....	12
2.7. Definición de la red LORA.....	12
2.7.1. Arquitectura de la red LoRa.....	13
2.7.2. Radio modulación y LoRa .....	15
2.7.3. Clases de LoRa.....	19
2.7.4. Ventajas de usar LoRa.....	20

2.7.5	La tecnología LoRaWAN® se afianza como líder en el mercado.....	22
2.7.6	La flexibilidad de la tecnología LoRa .....	23
2.7.7	LoRaWAN: nueva función de relés para ampliación de cobertura de red en entornos complicados .....	23
2.7.8	Función de relés de LoRaWAN .....	24
2.7.9	Se anuncia la completa compatibilidad de LoRaWAN con el protocolo IPv6 .....	26
2.7.10	AWS IoT Core for LoRaWAN lanza dos nuevas características para administrar y supervisar comunicaciones entre los dispositivos y la nube.....	27
<b>Capítulo 3: Desarrollo de la Investigación .....</b>		<b>29</b>
3.1	Descripción de los fundamentos básicos de las Tecnologías de la Información y comunicación (TICs) y la red LORA.....	29
3.1.1	Redes informáticas y tecnología de la información .....	29
3.1.2	Fundamentos de la red LORA-LORAWAN .....	30
3.1.3	Implementación de las TICs y LORA para la sociedad .....	32
3.1.4	Implementación de la tecnología LORA en minería .....	34
3.2	Estudio técnico de la mina Sociedad de Producción Minera Jerusalén.....	36
3.3	Análisis de una red LORA para la comunicación interna de la mina sociedad de producción minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez.....	41
Recomendaciones. ....		51
REFERENCIAS .....		52

## Índice de Figuras

Figura 2. 1: Representación simbólica del ámbito de actuación de las telecomunicaciones.....	6
Figura 2. 2: Partes en que se pueden dividir una red de telecomunicaciones. ....	7
Figura 2. 3: Diferencias entre LoRa y otras tecnologías de red. ....	13
Figura 2. 4: Típica arquitectura de LoRaWan network. ....	14
Figura 2. 5: Modelo de red de siete capas .....	16
Figura 2. 6: Cambios en la señal del transmisor de la fase portadora del sistema DSSS .....	17
Figura 2. 7: Ilustración del espectro ensanchado LoRa Chirp .....	18
Figura 2. 8: Ventajas importantes del despliegue de una red LoRaWAN.....	21
Figura 2. 9 Cobertura extendida con relay .....	25
Figura 2. 10 LoraWan en conjunto con el protocolo IPv6 .....	26
Figura 3. 1: Bandas de frecuencias de una red LoraWAN .....	31
Figura 3. 2: Uso cotidiano de las TIC's y LoraWAN en el mundo cotidiano ..	32
Figura 3. 3: Desglose del uso de la loraWAN .....	34
Figura 3. 4: Mapa de ubicación de la Sociedad Producción minera Jerusalén .....	37
Figura 3. 5: Mapa hidrológico del cantón Camilo Ponce Enrique .....	38
Figura 3. 6: Base de comunicación externa de la mina .....	40
Figura 3. 7: Estructura de la fibra óptica que muestra la reflexión interna total .....	41
Figura 3. 8: SABIO-4610P. ....	43
Figura 3. 9: WISE -S617.....	44
Figura 3. 10: WISE -6610-N100.....	44
Figura 3. 11: Ejemplificación de como serían los equipos instalados.....	46
Figura 3. 12: Trabajo de plano en instalación de nodos LoraWAN en la mina .....	48

## **Resumen**

Estudio del terreno en el sector de Ponce Enrique para el respectivo análisis del uso de una red LoraWan en la mina Sociedad minera Jerusalén.

En primer lugar, nosotros queremos establecer el estudio del lugar en el cual queremos establecer el análisis de una red LoraWan y para ello fue necesario la descripción de los fundamentos básicos de las tecnologías de la información y comunicación y fundamentos básicos de cómo es una red Lora.

Seguido por el estudio técnico de la mina Sociedad minera Jerusalén en el cual se hizo el respectivo mapeo de la zona, viendo su flora, fauna, analizando también como es su propia comunicación interna.

Finalmente, hemos analizado como serviría la red LoraWAN en la mejora de la comunicación de la mina Sociedad minera Jerusalén, también como encajarían los diferentes equipos para dicha comunicación y sus características para la misma.

### **Palabras claves:**

Lora, loraWAN, TIC's, Telecomunicaciones, LPWAN, minería, SCADA

## **Abstract**

Study of the terrain in the sector of Ponce Enrique for the respective analysis of the use of a LoraWan network in the mine Sociedad minera Jerusalén.

First of all, we want to establish the study of the place in which we want to establish the analysis of a LoraWan network and for this it was necessary the description of the basic fundamentals of information and communication technologies and basic fundamentals of how a LoraWan network is.

Followed by the technical study of the mine Sociedad minera Jerusalén in which the respective mapping of the area was done, seeing its flora, fauna, also analyzing how is its own internal communication.

Finally, we have analyzed how the LoraWAN network would be useful in improving the communication of the mine Sociedad minera Jerusalén, also how the different equipment would fit for such communication and its characteristics for the same.

### **Palabras claves:**

Lora, loraWAN, TIC's, Telecomunicaciones, LPWAN, minería, SCADA

## **Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación**

En este capítulo, se muestra la descripción general del proyecto de trabajo de integración curricular.

### **1.1. Introducción.**

Telecomunicaciones es “toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos”. Es una definición extensa, pero contiene los elementos básicos de las telecomunicaciones modernas: la información, la comunicación y el medio.

Según Palacios, E., (2021) un sistema de telecomunicaciones consiste en una infraestructura física a través de la cual se transporta la información desde la fuente hasta el destino con base en esa infraestructura se ofrecen a los usuarios los diversos servicios de telecomunicaciones. En lo sucesivo se denominará “red de telecomunicaciones” a la infraestructura encargada del transporte de la información.

La tecnología LORA, es un tipo de modulación de capa física basada en chip spread spectrum (CSS), la cual consiste, en el uso de una señal chirp. Este método consiste en aumentar (upchirp), o disminuir (downchirp), la frecuencia de una señal senoidal durante un periodo de tiempo, usando todo el ancho de banda asignado al canal; esto permite un aumento en la resistencia a señales de interferencia, y, además, reduce el desvanecimiento de la señal, debido a la propagación multi-camino.

### **1.2. Antecedentes.**

Las telecomunicaciones facilitan los procesos en diferentes ámbitos de la vida laboral en corta y larga distancia, la cual es una exigencia en el mundo tecnológico actual. En esta área tan compleja existen falencias, un ejemplo de

ello, es en el campo de la comunicación en las minas de explotación de recursos naturales, lo cual es vital para su operación y desarrollo, las telecomunicaciones en minería es referirse a toda la infraestructura que se requiere para hacer posible que la comunicación sea factible entre los encargados de la minería, como, supervisores, técnicos e ingenieros y los diferentes equipos o herramientas tecnológicas que se emplean en la actividad. Si bien es cierto, la distancia siempre ha sido la némesis de la comunicación y es precisamente este último factor que determina la diferencia entre sistemas de comunicación convencionales y los que requieren actualmente la industria minera a nivel mundial.

Hoy en día, el uso de la tecnología es un aporte vital que este en todo tipo de trabajo relacionado a la conectividad entre hombre y máquina, gracias a esto, el trabajo del día a día es cada vez más simplificado. Hoy en el cantón Camilo Ponce Enríquez, específicamente en la parroquia de La Independencia no cuentan con un sistema de comunicación confiable, exactamente en la mina perteneciente a la Sociedad de Producción Minera Jerusalén, por ese motivo en varias ocasiones han tenido problemas en comunicarse desde el interior hacia el exterior y viceversa en dicha localidad.

### **1.3. Definición del problema**

Actualmente en las minas de la sociedad de Producción minera Jerusalén de la parroquia La Independencia perteneciente al Cantón Camilo Ponce Enríquez no cuentan con un sistema confiable de comunicación, lo cual impide que los trabajadores y demás personal minero tengan facilidades en sus trabajos de forma viable y segura. El problema de investigación es: ¿Cómo afecta la falta de un sistema confiable de comunicación, en las minas de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en el sector de La Independencia en el cantón de Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Azuay?

#### **1.4. Justificación del problema**

El sector minero de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en la localidad de La Independencia perteneciente al Cantón Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Azuay, no cuenta con un sistema óptimo de comunicación, siendo este un problema para los trabajadores por la carencia de una buena infraestructura de telecomunicaciones. Este proyecto de investigación resultará beneficioso ya que se busca como solucionar dicho problema con un buen análisis del sistema de comunicación desde el interior hacia el exterior de la misma con el propósito de brindar información y comunicación de lo que pasa dentro de dichas minas.

Los trabajadores de las minas en la localidad de La Independencia se beneficiarán de este proyecto el cual les proporcionará información de una comunicación confiable desde el interior hacia el exterior, utilizando los avances de la tecnología, la cual proveerá una movilidad subterránea total de voz, datos, videos, sistemas de despacho, etc. Además de cualquier otro sistema o aplicación que requiera la minería de hoy en día. El impacto social que tendrá este cambio tecnológico que permitirá el desarrollo de la futura comunicación en el sector de la minería, la cual no solo vela por la seguridad del trabajador, sino también de la facilidad para el trabajo interno, tanto de como ver el ambiente desde el interior hasta de la propia facilidad de proveer recursos que hagan falta para el trabajo adecuado

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

##### **1.5.1. Objetivo General.**

Analizar una red LORA de comunicación mediante el estudio técnico y de campo para las minas de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén, en la parroquia de La Independencia, perteneciente al cantón de Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Azuay.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

1. Describir los fundamentos básicos de las Tecnologías de la Información y comunicación (TICs) y la red LORA en sus múltiples usos.

2. Realizar un estudio técnico de la mina Sociedad de Producción Minera Jerusalén estableciendo equipos y más dispositivos necesarios para la red de telecomunicación.
3. Analizar una red LORA que servirá para establecer la comunicación interna y externa de la mina de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay.

### **1.6. Hipótesis.**

Este proyecto de trabajo de integración curricular que se fundamenta en el análisis de una red LORA para la minería de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén de la parroquia de La Independencia ubicado en el cantón Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay.

### **1.7. Metodología de Investigación.**

El desarrollo de la investigación de este trabajo de integración curricular tiene como base el método científico para indagar y ayudar a la toma de decisiones sobre la problemática de este trabajo. Básicamente se usará el método de investigación cuantitativa, la cual contará con tres métodos de dicha investigación que son: Diagnóstico, exploración e interpretación.

Para el diagnóstico, el cual es un proceso en el que la indagación es el camino que lleva al análisis reflexivo de las problemáticas que aqueja nuestra investigación, dando a conocer sus causas, consecuencias y posibles soluciones. La exploración se va a llevar a cabo para entender a profundidad en el tema de este trabajo, el objetivo será explorar el problema, su entorno. La interpretación, le apunta a darle sentido a la investigación, efectuando una recomposición teórica y matemática para redactar el informe final de la investigación.

## Capítulo 2: Fundamentación Teórica

En este capítulo, se presenta el enfoque del trabajo de integración curricular y se va a situar la temática de las telecomunicaciones. También se darán los principios básicos y las respectivas características de las redes de telecomunicaciones y sus diferentes áreas de aplicación.

### 2.1. Descripción general de las telecomunicaciones.

Las telecomunicaciones modernas son un catalizador del desarrollo de naciones: representan un elemento indispensable para el funcionamiento adecuado de las empresas e instituciones y formas parte de la vida cotidiana de una gran parte de los habitantes de este planeta. Sin embargo, a pesar de estar presentes en muchas de las actividades de la humanidad -al hablar por teléfono, al ver televisión, al escuchar la radio, al realizar una transacción en algún banco-, pocas personas entienden la manera en que se realizan las telecomunicaciones.

La etimología de telecomunicaciones es sobradamente conocida: comunicación a distancia, entre lugares alejados. Comunicación es todo proceso de transferencia de información: entre una fuente y consumidor. Ocasionalmente se encuentran fuente y consumidor unificados. La figura 2.1 da idea de la situación: las Telecomunicaciones han de unir los círculos allí representados (Figueiras Vidal, s/f)

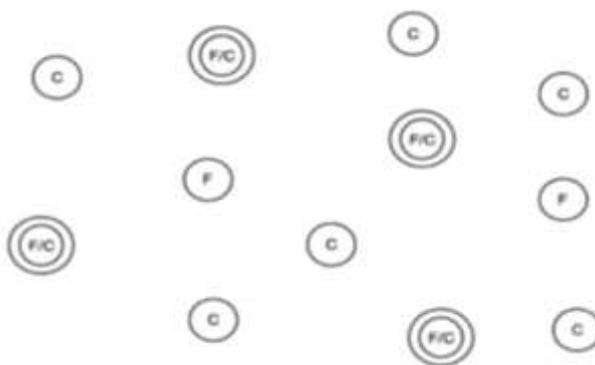


Figura 2. 1: Representación simbólica del ámbito de actuación de las telecomunicaciones

Autor: (Figueiras Vidal, s/f)

## 2.2. Estructura de una red de telecomunicaciones

En forma general, el modelo de estructura de una red típica de telecomunicaciones, y en concreto la de la red telefónica, se puede dividir en 3 partes diferenciadas claramente en la mayor parte de los casos (Figura 2.2), que son:

- Red de transporte
- Red de conmutación
- Red de acceso

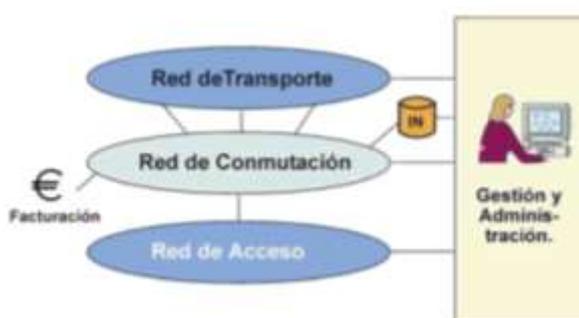


Figura 2. 2: Partes en que se pueden dividir una red de telecomunicaciones.

Autor: (Figueiras Vidal, s/f)

Alrededor de las cuales gira una estructura para la gestión y administración, que resulta fundamental para la provisión de servicios y el mantenimiento operativo de la red.

## 2.3. Red de transporte.

Es un sistema de telecomunicación junto con medios físicos, lógicos y organizativos que pueden ofrecer un servicio de telecomunicación; es decir, incluye a la red, los terminales y los recursos técnicos y humanos adicionales para su mantenimiento, gestión y explotación. Una red de transporte también incluye un servicio de telecomunicación, el cual es el valor añadido que percibe el usuario; por ejemplo: telefonía, facsímil (fax), transmisión de datos (módem) entre computadores.(Xavier Hesselbach Serra, Jordi Altés Bosch, 2002).

Los servicios también pueden clasificarse según la forma en que se establecen y finalizan. Así puede hablarse de:

- a) Servicios orientados a conexión: aquellos que requieren una fase de establecimiento (antes de estar disponibles) y una de finalización. Por ejemplo, el servicio de telefonía requiere de una fase de establecimiento (en la que especifica la dirección del destino, se analiza la viabilidad de establecer el servicio, se reservan los recursos necesarios en la red, se notifica al destinatario, etc.). A esta fase le sigue la transferencia (en la que se desocupan los recursos reservados en la red, se almacenan los datos de facturación del usuario, etc.)
  
- b) Servicios no orientados a conexión: aquellos que están disponibles sin ningún procedimiento previo y carecen de fases. Por ejemplo, las redes de datos IP (Internet Protocol), donde los datagramas, conteniendo la dirección de destino, se envían por la red sin ningún proceso previo ni posterior.

### **2.3.1. Red de conmutación**

La red de conmutación es otro de los componentes básicos en las redes de telecomunicaciones. Los usuarios de la red se agrupan alrededor de unos dispositivos, conocidos como nodos de conmutación, a los cuales se conectan por medio de la red de acceso. Estos nodos de conmutación se enlazan entre si mediante líneas de alta capacidad. (Figueiras Vidal, s/f)

En las redes de telefonía estos nodos de conmutación a los que se conectan los abonados se llaman centrales de conmutación locales (local exchages). Cuando dos usuarios de una red de telefonía conectados a un mismo nodo de conmutación quieren comunicarse entre ellos, dicho nodo es el encargado de establecer los circuitos necesarios para unir los pares de cobre de ambos usuarios. Como en general los abonados no van a estar

conectados a la misma central, es necesario establecer la comunicación a través de nodos complementarios llamados centrales de tránsito.

Por lo tanto, la red nodal debe disponer también de capacidad de transmisión entre los distintos tipos de centrales para encaminar una llamada a través de varias de ellas hasta alcanzar su destino final. (Figueiras Vidal, s/f)

### **2.3.2. Red de acceso**

Si se tratase de una red pública de telecomunicaciones, al hablar de acceso, hay que tener en cuenta el denominado Punto de Terminación de red (PTR), que es el conjunto de conexiones físicas o radioeléctricas y sus especificaciones técnicas de acceso que se necesita para tener acceso a la misma y a los servicios que la utilizan como soporte. En este punto es donde terminan las obligaciones de los operadores de redes y servicios y es al que pueden conectarse los equipos terminales de telecomunicaciones, actuando de alguna manera como frontera entre el lado del usuario y el lado del operador. (Jose Huidobro, s/f)

### **2.4. Infraestructura de telecomunicaciones en desastres**

Se describen tres tipos de fallos en las infraestructuras de telecomunicaciones durante las catástrofes. Esta sección destaca las consecuencias de estos fallos analizando el papel de las redes de telecomunicaciones en cuatro fases de la recuperación de la catástrofe. Esta cronología de la recuperación de catástrofes se basa en un sistema propuesto en la década de 1970 por el esfuerzo de investigación financiado por la NSF sobre "Reconstrucción tras una catástrofe". (Anthony M. Townsed & Mitchell L. Moss, 2005)

Este "modelo de actividad de recuperación" se organiza en cuatro fases comunes a las catástrofes de diferentes regiones y entornos históricos:

- Respuestas de emergencia

- Restauración y reparación
- Reconstrucción de lo destruido para su sustitución funcional
- Reconstrucción para la reurbanización

Por lo general, la duración de las fases sucesivas se multiplica por diez. Mientras que las actividades de respuesta a la emergencia suelen completarse en 1 o 2 semanas, la reconstrucción completa y la reurbanización pueden llevar muchos años. (Anthony M. Townsed & Mitchell L. Moss, 2005)

## **2.5. Servicios de las telecomunicaciones**

En el mundo de las telecomunicaciones incluye también todos los servicios que ofrece la misma, tanto públicos como privados, que suponen la transmisión de extremo a extremo de la información que es facilitada por los clientes. La prestación de dichos servicios de telecomunicaciones se realiza:

- Mediante el suministro fronterizo
- Mediante el establecimiento de empresas extranjeras o de una presencia comercial, incluida la posibilidad de ser propietario y explotar la infraestructura independiente de redes de telecomunicaciones.

Con ejemplos de servicios de comunicaciones básicas:

- Servicios de teléfono
- Servicio de transmisión de datos con conmutaciones de paquetes
- Servicios de transmisión de datos con conmutación de circuitos
- Servicios de télex
- Servicios de telégrafo
- Servicios de facsímil
- Otros servicios

La lista anterior representa una serie de servicios asociados con las telecomunicaciones.

## **2.6. Ventajas del uso de las telecomunicaciones para las empresas**

### **2.6.1. Comunicación avanzada**

Los servicios de telecomunicaciones proporcionan la plataforma necesaria para el intercambio electrónico de datos, ya sea por medios inalámbricos o por cable. Los documentos, los análisis, los informes, los correos electrónicos, etc. pueden compartirse con los compañeros del cubículo de al lado, con un cliente en la otra punta del país o con una de las oficinas en el extranjero. Ahora, con las tabletas y los teléfonos inteligentes, las empresas pueden aprovechar la comunicación móvil para agilizar el flujo de trabajo y la productividad. Los empleados pueden utilizar sus dispositivos para acceder a determinadas aplicaciones, responder a correos electrónicos, trabajar en presentaciones y participar en conversaciones por teleconferencia.

### **2.6.2. Mejora de la colaboración**

En el mundo empresarial actual, muchas organizaciones emplean equipos multifuncionales para abordar nuevos productos, iniciativas corporativas, campañas de marketing, etc. Para asegurarse de que los proyectos avanza según lo previsto, es probable que estos equipos se conecten con regularidad para discutir el estado de los resultados, compartir ideas y abordar cualquier obstáculo imprevisto que pueda surgir. Con los servicios de telecomunicaciones, estos equipos están equipados con la tecnología necesaria para colaborar desde cualquier lugar, lo que permite una productividad óptima, una mayor conectividad y un mayor trabajo en equipo.

### **2.6.3. Mayor Flexibilidad**

El número de personas que trabajan desde casa ha aumentado nada menos que un 115% desde 2005, según Global Workplace Analytics. Teniendo esto en cuenta, si su empresa B2B tiene empleados remotos o su personal tiende a viajar con frecuencia para asistir a reuniones, los servicios de telecomunicaciones son un medio eficaz para mantenerse conectado y al tanto.

#### **2.6.4. Mejora del servicio al cliente**

Poder acceder a Internet a cualquier hora del día es una faceta crucial para ofrecer un servicio al cliente de alta calidad. La forma en que su empresa se comunica con los clientes (y con los clientes potenciales) reforzará la fidelidad a la marca, ayudará a su equipo a establecer mejores relaciones con los clientes potenciales y a aumentar la retención. Sin embargo, a menos que tenga una conexión fiable, no es posible conseguirlo.

Las telecomunicaciones han transformado por completo la forma en que las personas se comunican y navegan por su vida personal y profesional. Con la necesidad siempre presente de que los seres humanos se conecten y se comuniquen, esta industria está destinada a continuar su crecimiento ascendente.

#### **2.7 Definición de la red LORA**

LoRa es una tecnología de radiofrecuencia que permite comunicaciones de larga distancia (en el orden de magnitud de unos pocos kilómetros) con bajo consumo de electricidad. Incluso, el nombre LoRa proviene de Long Range, un acrónimo adecuado para su funcionamiento.(Pedro Bertoleti, 2019)

Creada por Semtech para estandarizar las LPWAN (Low power wide area network), LoRa permite comunicaciones de largo alcance: hasta tres millas (cinco kilómetros) en zonas urbanas, y hasta 10 millas (15 kilómetros) o más en zonas rurales (línea de visión). Una característica clave de las soluciones basadas en LoRa es que requieren muy poca energía, lo que permite crear dispositivos que funcionan con baterías y que pueden durar hasta 10 años. Desplegada en una topología de estrella, una red diseñada en base al protocolo abierto LoRaWAN es adecuada para aplicaciones que exigen una comunicación de largo alcance o en profundidad dentro de un

edificio entre un gran número de dispositivos que requieren poca energía y que recogen pequeñas cantidades de datos explicados en la figura 2.3.

<p><u>Traditional Cellular</u></p> <p>Long Range High Data Rates Low Battery Life High Cost</p>	<p><u>LPWAN (3-5B in 2022)</u></p>  <p>Long Range Low Data Rates Long Battery Life Low Cost High Capacity Potential</p>	<p><u>Cat-M1</u></p> <p>Long Range High Data Rates Low Battery Life Medium Cost</p>
<p><u>Local Area Network (Wi-Fi)</u></p> <p>Short Range High Data Rates Low Battery Life Medium Cost</p>	<p><u>Narrow-Band IoT (NB-IoT)</u></p> <p>Stationary Devices Short Range (indoor coverage) Low Data Rates Good Battery Life Low Cost</p>	<p><u>Personal Area Network (Bluetooth*)</u></p> <p>Very Short Range Low data rates Good Battery Life Low Cost</p>

Figura 2. 3: Diferencias entre LoRa y otras tecnologías de red.

Autor: (smart-lighting, 2023)

### 2.7.1 Arquitectura de la red LoRa

El LoRa se puede utilizar en forma de una red. Formando así una (LPWAN). En topología de red, el LoRa funciona en la topología de estrella (una central/concentrador y N nos/ end devices) o punto a punto, dependiendo de la cantidad de radios LoRa en el enlace en cuestión.(Pedro Bertoleti, 2019)

Las redes LoRaWAN se despliegan en una topología de estrella. Una red LoRaWAN típica consta de los siguientes elementos como muestra la figura 2.4

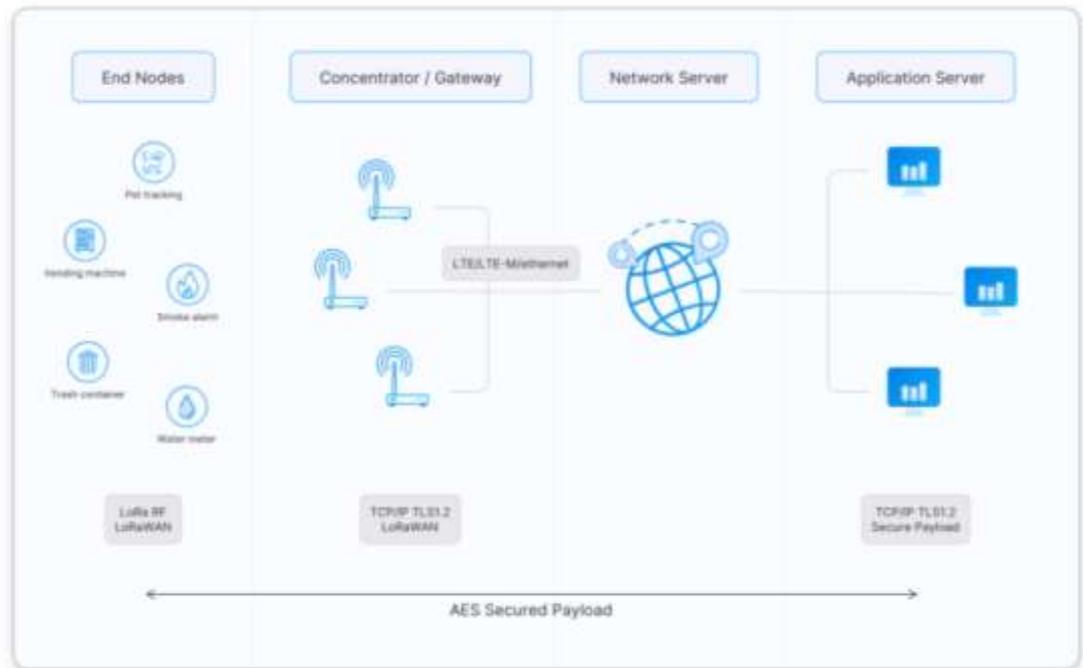


Figura 2. 4: Típica arquitectura de LoRaWan network.

Autor: (smart-lighting, 2023)

- En Devices: Los sensores o actuadores envían mensajes inalámbricos modulados por LoRa a las pasarelas o reciben mensajes inalámbricos de vuelta de las pasarelas.
- Gateways: un software que se ejecuta en un servidor y que gestiona toda la red
- Aplicaciones de servidores: un software que se ejecuta en un servidor y que se encarga de procesar de forma segura los datos de las aplicaciones.
- Join Server: un software que se ejecuta en un servidor y que procesa los mensajes de solicitud de join-request enviados por los dispositivos finales (el join server no se muestra en la figura)

Los dispositivos finales se comunican con pasarelas cercanas y cada pasarela está conectada al servidor de la red. Las redes LoRaWAN utilizan un

protocolo basado en ALOHA, por lo que los dispositivos finales no necesitan comunicarse con pasarelas específicas. Los mensajes enviados desde los dispositivos finales viajan a través de todas las pasarelas dentro del rango. Estos mensajes son recibidos por el servidor de red. Si el servidor de red ha recibido varias copias del mismo mensaje, conserva una sola copia del mensaje y descarta las demás. Esto se conoce como de duplicación de mensajes.

## **2.7.2 Radio modulación y LoRa**

LoRa, una técnica de modulación de espectro ensanchado patentada, basada en la actual tecnología de espectro ensanchado chirp (CSS), ofrece un equilibrio entre sensibilidad y velocidad de datos, al tiempo que funciona en un canal de ancho de banda fijo de 125 KHz o 500 KHz (para canales de subida), y 500 KHz (para canales de bajada). Además, LoRa utiliza un factor de propagación ortogonal. Esto permite a la red preservar la duración de la batería de los nodos finales conectados mediante la optimización adaptativa de los niveles de potencia y las velocidades de transmisión de datos de cada nodo final. Por ejemplo, un aparato final situado cerca de una pasarela debe emitir datos con un factor de propagación bajo, ya que se necesita muy poco consumo de enlace. Sin embargo, un dispositivo final situado a varios kilómetros de la pasarela debe emitir con un factor de dispersión mucho mayor. Este mayor factor de dispersión ofrece una mayor ganancia de procesamiento y una mayor sensibilidad de la recepción, aunque la velocidad de datos será obligatoriamente inferior.

LoRa es una aplicación puramente física (PHY), o de capa de "bits", tal y como se define en el modelo de red de siete capas de OSI, representado en la figura 2.5. En lugar de cableado, se utiliza el aire como medio para transportar las ondas de radio LoRa desde un transmisor de RF en un dispositivo IoT hasta un receptor de RF en una pasarela, y viceversa.

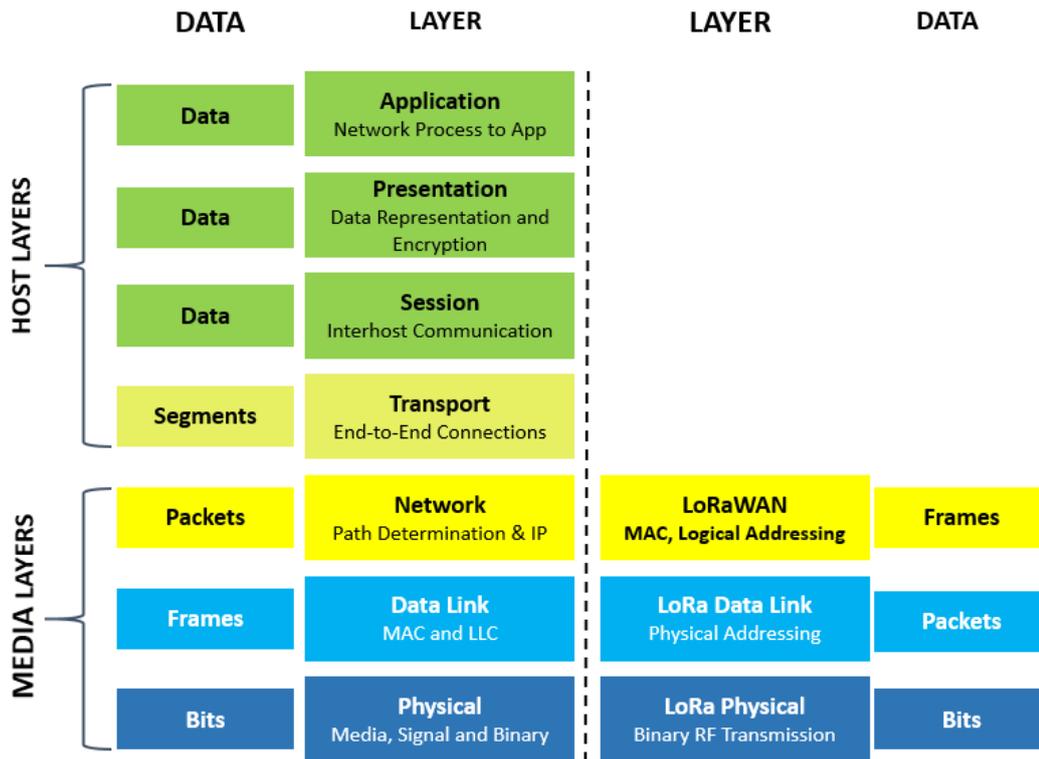


Figura 2. 5: Modelo de red de siete capas

Autor: (smart-lighting, 2023)

En un sistema de espectro ensanchado tradicional o de secuencia directa (DSSS), la fase de la portadora de la señal del transmisor varía según una secuencia de códigos, como se muestra en la Figura 2.6. Al multiplicar la señal de datos por un modelo de bits predefinido a una velocidad mucho mayor, también conocido como código de dispersión (o secuencia de chips), se genera una señal "más rápida" que tiene componentes de frecuencia más altos que la señal de datos original. Esto quiere decir que el ancho de banda de la señal se amplía más allá del ancho de banda de la señal original. En la terminología de RF, los bits de la secuencia de códigos se conocen como chips (para distinguir los bits más largos, sin codificar, de la señal de datos original). Cuando la señal emitida llega al receptor de RF, se multiplica por una copia idéntica del código de propagación empleado en el transmisor de RF, lo que da lugar a una réplica de la señal de datos original.

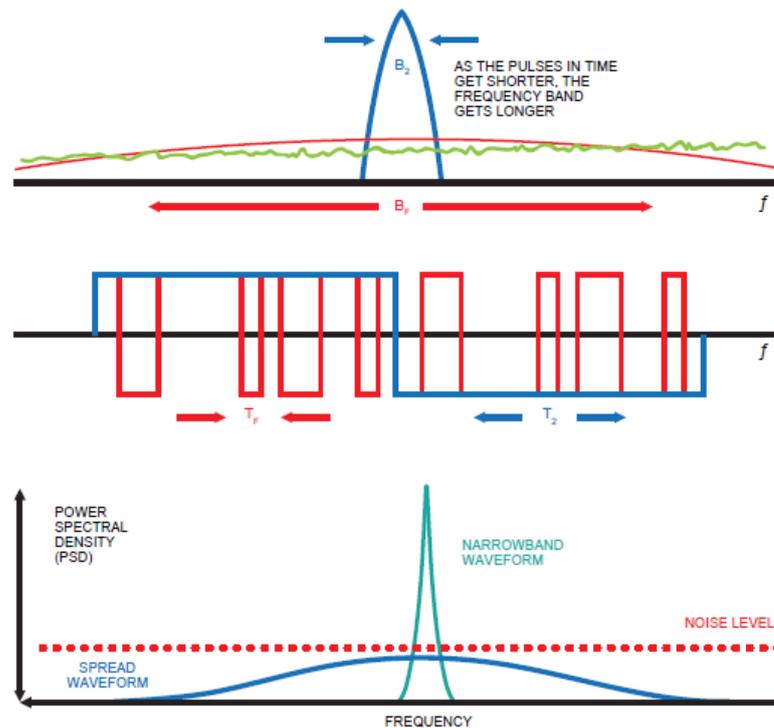


Figura 2. 6: Cambios en la señal del transmisor de la fase portadora del sistema DSSS

Autor:(Jannery Rivas, 2021)

Se podría preguntar: ¿Por qué pasar por todo este problema? ¿Por qué no transmitir simplemente la señal de datos original en lugar de pasar por esta multiplicación de la secuencia de códigos? La respuesta es sencilla: con esta multiplicación de la secuencia de códigos se obtiene un mayor presupuesto de enlace de RF, por lo que se puede transmitir a mayor distancia.

La relación  $\text{Log}_{10}$  entre la tasa de chips de la secuencia de códigos y la tasa de bits de la señal de datos se denomina ganancia de procesamiento ( $G_p$ ). Esta ganancia es la que permite al receptor recuperar la señal de datos original, incluso si el canal tiene una relación señal-ruido (SNR) negativa. LoRa tiene una  $G_p$  superior a la de la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), lo que permite reducir el nivel de potencia de salida del transmisor manteniendo la misma velocidad de datos de la señal y un presupuesto de enlace similar.

Uno de los inconvenientes de un sistema DSSS es que requiere un reloj de referencia muy preciso (y caro). La tecnología LoRa Chirp Spread Spectrum (CSS) de Semtech ofrece una alternativa DSSS de bajo coste y bajo consumo, pero robusta, que no requiere un reloj de referencia muy preciso. En la modulación LoRa, la transmisión del espectro de la señal se consigue creando una especie de chirp que varía de forma continua en frecuencia, como se muestra en la figura 2.7.

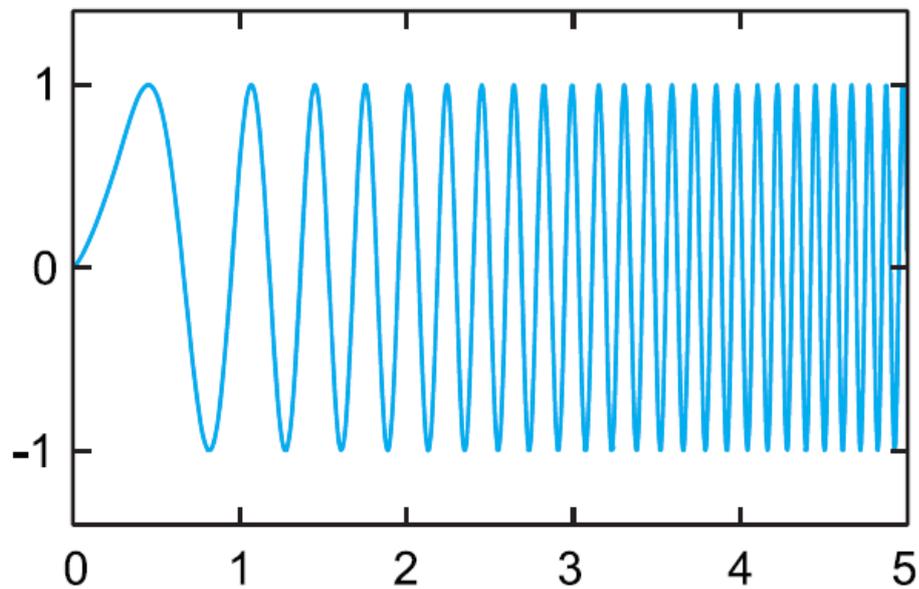


Figura 2. 7: Ilustración del espectro ensanchado LoRa Chirp

Autor:(Jannery Rivas, 2021)

Una característica ventajosa de este método es que los desplazamientos de tiempo y frecuencia entre el transmisor y el receptor son idénticos, lo que reduce en gran medida la complejidad el diseño del receptor. El ancho de banda de frecuencia de este chirp es el mismo que el ancho de banda espectral de la señal. La señal de datos que transporta los datos desde un dispositivo final a una pasarela se trocea a una velocidad de datos superior y se modula sobre la señal portadora del chirp. La modulación LoRa también incluye un esquema de corrección de errores variable que mejora la solidez de la señal transmitida. Por cada cuatro bits de información enviados, se envía un quinto bit de información de paridad.

### **2.7.3 Clases de LoRa**

#### **2.7.3.1 Clase A Dispositivos bidireccionales de bajo consumo**

La comunicación de clase A, la clase por defecto que deben soportar todos los dispositivos finales de LoRaWAN, siempre la inicia el dispositivo final y es totalmente asíncrona. Cada transmisión de enlace ascendente puede enviarse en cualquier momento y va seguida de dos breves ventanas de enlace descendente, lo que da la oportunidad de una comunicación bidireccional, o de comandos de control de la red si es necesario. Se trata de un protocolo de tipo ALOHA.

El dispositivo final puede entrar en modo de reposo de bajo consumo durante el tiempo definido por su propia aplicación: no hay necesidad de que la red se despierte periódicamente. Esto hace que la clase A sea el modo de funcionamiento de menor consumo, al tiempo que permite la comunicación de enlace ascendente en cualquier momento.

Dado que la comunicación de enlace descendente debe seguir siempre a una transmisión de enlace ascendente con un calendario definido por la aplicación del dispositivo final, la comunicación de enlace descendente debe almacenarse en el servidor de red hasta el siguiente evento de enlace ascendente.

#### **2.7.3.2 Clase B Dispositivos bidireccionales con latencia de enlace descendente determinista.**

Además de las ventanas de recepción iniciadas por la clase A, los dispositivos de la clase B se sincronizan con la red mediante balizas periódicas y abren "ranuras de ping" de enlace descendente a horas programadas. Esto proporciona a la red la capacidad de enviar comunicaciones de enlace descendente con una latencia determinista, pero a costa de un cierto consumo de energía adicional en el dispositivo final. La latencia es programable hasta 128 segundos para adaptarse a diferentes aplicaciones, y el consumo de energía adicional es lo suficientemente bajo como para seguir siendo válido para aplicaciones alimentadas por batería.

### **2.7.3.3 Clase C Dispositivos bidireccionales de baja latencia**

Además de la estructura de clase A de enlace ascendente seguido de dos ventanas de enlace descendente, la clase C reduce aún más la latencia en el enlace descendente al mantener abierto el receptor del dispositivo final en todo momento en que éste no esté transmitiendo (semidúplex). De este modo, el servidor de red puede iniciar una transmisión de enlace descendente en cualquier momento suponiendo que el receptor del dispositivo final está abierto, por lo que no hay latencia. El compromiso es el consumo de energía del receptor (hasta ~50mW), por lo que la clase C es adecuada para aplicaciones en las que se dispone de energía continua.

En el caso de los dispositivos alimentados por batería, es posible cambiar temporalmente de modo entre las clases A y C, lo que resulta útil para tareas intermitentes como las actualizaciones de firmware por aire.

### **2.7.4 Ventajas de usar LoRa**

Con respecto al alcance, una sola pasarela basada en LoRa puede recibir y transmitir señales a más de 15 kilómetros de las zonas rurales. Incluso en entornos urbanos densamente poblados. Incluso en entornos urbanos densos, los mensajes pueden viajar hasta tres millas (cinco kilómetros), dependiendo de la profundidad en la que se encuentren los dispositivos finales (nodos finales).

En cuanto a la vida útil de la batería, la energía requerida para transmitir un paquete de datos es mínima, ya que los paquetes de datos son muy pequeños y sólo se transmiten unas pocas veces al día. Cuando los dispositivos finales están en reposo, el gasto de energía se mide en milivatios (mW), por lo que la batería puede funcionar durante muchos años, como, por ejemplo, se observa en la imagen 2.8.

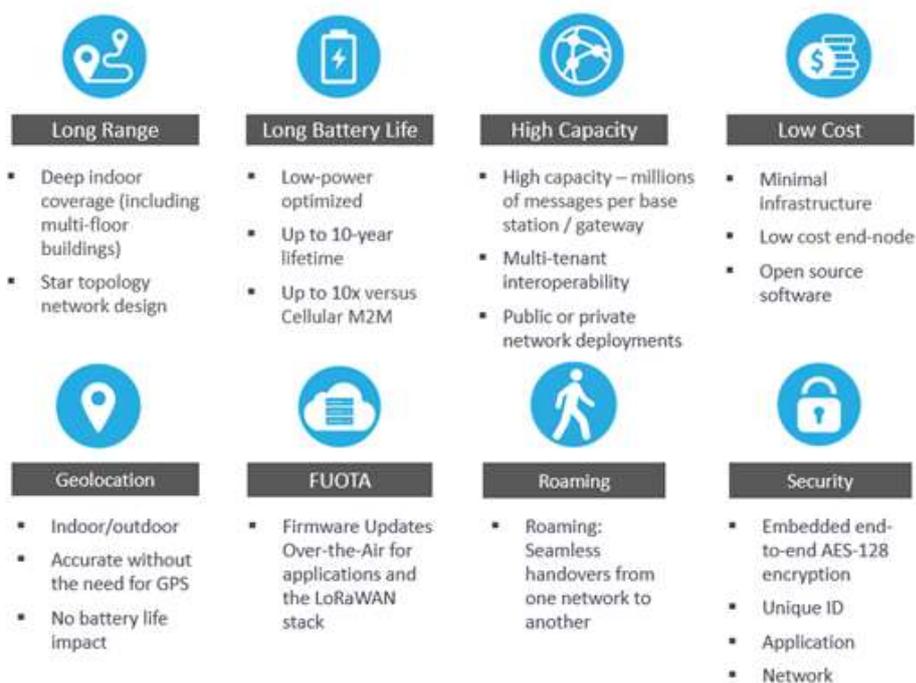


Figura 2. 8: Ventajas importantes del despliegue de una red LoRaWAN

Autor: (smart-lighting, 2023)

En cuanto a la capacidad, una red LoRaWAN puede soportar millones de mensajes. Sin embargo, el número de mensajes soportados en cualquier despliegue depende del número de pasarelas que se instalen. Una sola pasarela de ocho canales puede soportar unos cientos de miles de mensajes en el transcurso de un periodo de 24 horas. Si cada dispositivo final envía 10 mensajes al día, una pasarela de este tipo puede soportar unos 10.000 dispositivos<sup>1</sup>. Si la red dispone de 10 de estas pasarelas, la red puede soportar alrededor de 100.000 dispositivos y un millón de mensajes. Si se necesita más capacidad, basta con añadir más pasarelas a la red.

Luego está el coste. Dadas las capacidades de los nodos finales y las pasarelas basadas en LoRa, sólo se necesitan unas pocas pasarelas - configuradas en una red en estrella- para dar servicio a una multitud de nodos finales. Esto implica que los gastos de capital y de funcionamiento pueden mantenerse a un nivel relativamente bajo. Además, cuando los módulos económicos de LoRa RF integrados en nodos finales de bajo coste se

emplean junto con la norma abierta LoRaWAN, la inversión puede rentabilizarse considerablemente.

### **2.7.5 La tecnología LoRaWAN® se afianza como líder en el mercado**

LoRa Alliance®, la asociación mundial de empresas que están detrás del estándar abierto LoRaWAN® para redes de área extensa de baja potencia (LPWAN) del Internet de las Cosas (IoT), ha anunciado hoy importantes acciones impulsoras del mercado en muchos países que sitúan a LoRaWAN como la tecnología LPWAN de referencia en la región. LoRaWAN ya ha sido considerada la primera opción para LPWAN, con más de 225 millones de nodos de red LoRa/LoRaWAN y aumentando, y redes LoRaWAN disponibles en todo el mundo.

Por ejemplo, en Francia, 3,5 millones de activos ya están comunicados a través de LoRa/LoRaWAN, con más de 1,5 millones de equipos LoRaWAN adicionales en uso y múltiples redes locales. En España, ya hay 500.000 dispositivos que utilizan LoRaWAN, y el desarrollo está aumentando rápidamente, con más de 200.000 en uso para 2022, y el establecimiento de redes activas en curso. (Stephanie Quinn, 2022)

LoRaWAN es la única LPWAN a gran escala con despliegues masivos y disponibilidad de itinerancia global, que está respaldada por un amplio ecosistema global. Su crecimiento fue impulsado en gran parte por la aceleración de la transformación digital, que pasó de ser una necesidad para empresas y ciudades a nivel mundial, impulsada por las lecciones aprendidas sobre la COVID-19. En definitiva, la digitalización ha sido crítica para proporcionar más y mejores servicios a las personas, de cara a garantizar unos entornos seguros. (Stephanie Quinn, 2022)

Según autores de un artículo en el que (Sylvain Chevallier & Ouassim Driouchi, 2022) dicen: Apuntaba a que en los países a los que se escogió LoRa/LoRaWAN en el 64% de los nuevos proyectos de IoT, muy por delante del celular (29%) y Sigfox (25%). La LoRa Alliance espera que esa brecha se amplíe porque LoRaWAN ofrece la oportunidad de apoyar a los clientes con soluciones multimodo para dispositivos finales, permitiendo que el mismo dispositivo use LoRaWAN, Sigfox u otra conexión. Murata, AcSip y Nemeus,

por ejemplo, ofrecen módulos compatibles tanto con Sigfox como con LoRaWAN. Además de apoyar este enfoque, muchos operadores públicos pueden apoyar despliegues multi-RAN proporcionando múltiples opciones de conectividad a los usuarios finales. Los enfoques multimodo dan a los usuarios la posibilidad de elegir a largo plazo y un camino para permitir incluso más casos de uso del IoT debido a las posibilidades de la doble tecnología.(Stephanie Quinn, 2022)

### **2.7.6 La flexibilidad de la tecnología LoRa**

La tecnología LoRa es muy versátil y puede emplearse para solucionar diversos problemas gracias a sus topologías P2P, de malla y LoRaWAN privada o pública. Por su largo alcance y bajo consumo, LoRa es fácil de implementar, sobre todo en ambientes donde el suministro eléctrico a los dispositivos puede ser un contratiempo. En este proyecto, se lleva a cabo el desarrollo, el despliegue y la instalación de la antena LoRa por parte de empresas encargadas de manejar este tipo de tecnologías que gracias a los dispositivos que se manejan pueden poner a la disposición su plataforma IoT para la interconexión de los dispositivos, su posterior análisis de datos y la toma de decisiones inteligentes.(Jose Benitez, 2022)

### **2.7.7 LoRaWAN: nueva función de relés para ampliación de cobertura de red en entornos complicados**

Estos relés son dispositivos que operan con baterías y permiten una mayor cobertura de la red y un fácil despliegue a un coste mucho menor que añadir pasarelas adicionales. Esto hace posible que LoRaWAN logre una cobertura excelente en casos que exigen una cobertura profunda en interiores o en el metro, así como la retransmisión de datos en dispositivos LoRaWAN conectados a satélites que se hallen en las proximidades. La incorporación de relés al estándar LoRaWAN para lograr una cobertura incluso en los casos más difíciles (por ejemplo, contadores dentro de armarios metálicos) consolida significativamente la posición de mercado de LoRaWAN en la medición y los servicios, y más en general en sectores clave como las ciudades inteligentes, los edificios inteligentes y el IoT industrial. El relé es perfecto para su uso en

cualquier aplicación de monitorización estática de activos en entornos hostiles.(Smartlighting, 2022)

Según (Donna More, 2022) “Los miembros de LoRa Alliance han identificado que los usuarios finales de ciertos mercados estaban desarrollando sus propias soluciones registradas para lograr una cobertura completa de la red debido a los desafíos ambientales para sus despliegues. Con estos relés, ofrecemos una solución estandarizada que permite comunicaciones completas de extremo a extremo en entornos subterráneos, metálicos o de hormigón extremadamente complicados, en los que las señales de los sensores podrían necesitar un refuerzo o un redireccionamiento para llegar al gateway o al dispositivo del usuario. La nueva función de relés es una respuesta directa a las necesidades del mercado y proporciona un bloque de construcción esencial para permitir el desarrollo del IoT masivo”

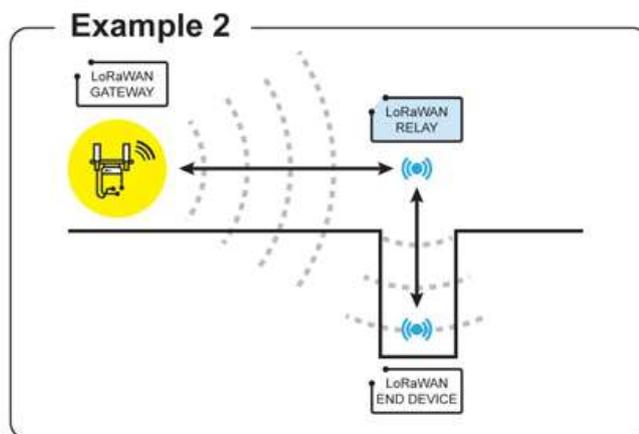
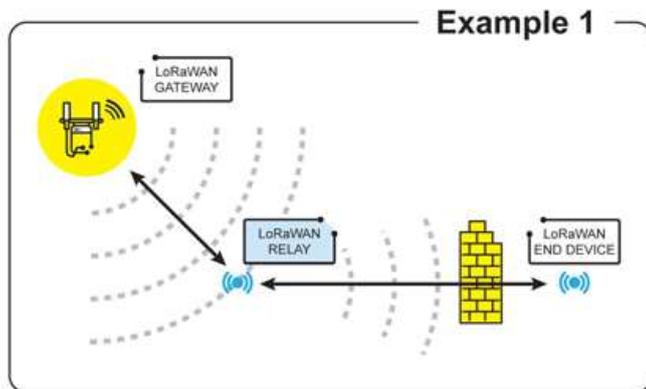
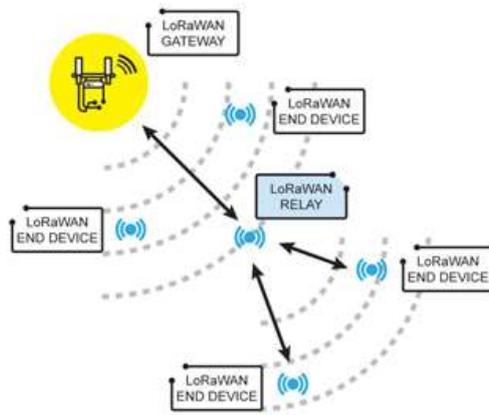
### **2.7.8 Función de relés de LoRaWAN**

El protocolo LoRaWAN está demostrado para comunicaciones de largo alcance; sin embargo, puede haber límites físicos a los que las comunicaciones LPWAN pueden llegar, como en las curvas del terreno o bajo tierra, donde una señal debe reflejarse o volver a transmitirse en un lugar específico, etc.

Los repetidores LoRaWAN facilitan que las señales lleguen donde antes no podían llegar físicamente. El documento LoRaWAN TS011-1.0.0 LoRaWAN Relay Specification explica el mecanismo de retransmisión que se utiliza para transportar tramas LoRaWAN bidireccionalmente entre un dispositivo de usuario final y la pasarela/servidor de red a un dispositivo alimentado por batería. Al activar la función de retransmisión, el dispositivo podrá transferir paquetes LoRaWAN entre un dispositivo de usuario final y la red cuando la cobertura de la pasarela sea deficiente.(Lora Alliance, 2020)



## LoRaWAN® Coverage Extended with Relay



LoRa Alliance® and LoRaWAN® are registered trademarks, used with permission.

Figura 2. 9 Cobertura extendida con relay

Autor: (smart-lighting, 2023)

### **2.7.9 Se anuncia la completa compatibilidad de LoRaWAN con el protocolo IPv6**

Al expandir la amplitud de las aplicaciones de dispositivo a aplicación con IPv6, el mercado de IoT al que se puede dirigir LoRaWAN también se amplía para incluir los estándares de Internet requeridos para la medición inteligente de la electricidad y nuevas aplicaciones en edificios inteligentes, industria, logística y hogares. La nueva función de conversión a IPv6 facilita y facilita el desarrollo de aplicaciones seguras e interoperables a través de LoRaWAN y se basa en el firme propósito de la alianza de facilitar su uso. Las tecnologías basadas en IP, frecuentes en soluciones empresariales e industriales, pueden ahora transmitirse a través de LoRaWAN e integrarse con facilidad en infraestructuras en la nube.

Esto permite a los desarrolladores activar rápidamente aplicaciones basadas en Internet, al tiempo que disminuye considerablemente el tiempo de comercialización y el coste total de propiedad.(Olaf Berlien, 2022)



Figura 2. 10 LoraWan en conjunto con el protocolo IPv6

Autor: (smart-lighting, 2023)

### **2.7.10 AWS IoT Core for LoRaWAN lanza dos nuevas características para administrar y supervisar comunicaciones entre los dispositivos y la nube**

AWS IoT Core para LoRaWAN es un servidor de red LoRaWAN (LNS) de AWS IoT Core totalmente gestionado que ayuda a los clientes a conectarse con dispositivos inalámbricos a la nube de AWS mediante la tecnología de red de área amplia de bajo consumo y largo alcance (LoRaWAN). AWS IoT Core para LoRaWAN ahora soporta dos nuevas características, Downlink Queue Management y Network Analyzer, que permiten a los clientes administrar y monitorizar más fácilmente las comunicaciones entre los dispositivos y la nube. La función Downlink Queue Management les permite a los clientes programar, eliminar e incluso depurar mensajes de enlace descendente, mientras que el Network Analyzer se puede emplear para monitorizar mensajes y ayudar a solucionar problemas relacionados con eventos de enlace ascendente o descendente.(Fernando Garcia, 2022)

La principal de las nuevas características, Downlink Queue Management (DQM), conserva una cola de mensajes de enlace descendente para los dispositivos a los que no se puede acceder de forma inmediata (por ejemplo, porque están desconectados) y envía esos mensajes a los dispositivos cuando vuelven a estar conectados. Los mensajes de enlace descendente son mensajes que se envían desde el núcleo de AWS IoT para LoRaWAN al dispositivo inalámbrico. Puede planificar y enviar mensajes de enlace descendente para cada dispositivo que haya incorporado al núcleo de AWS IoT para LoRaWAN. Si tiene múltiples dispositivos a los que desea enviar un mensaje de enlace descendente, también puede usar un grupo de multidifusión. Los dispositivos que se incluyen en un grupo de multidifusión también compartirán la misma dirección de multidifusión, que se distribuirá a todo un grupo de dispositivos de destino.

Aunque LoRaWAN es una tecnología madura de red de área extensa de baja potencia (LPWAN), los desarrolladores siempre necesitan formas de facilitar su despliegue y conexión a la nube.

El principal reto para los ingenieros que se inician en los proyectos IoT LoRaWAN es hacer frente a la dificultad de configurar no solo el dispositivo final inalámbrico, sino también la interfaz con la pasarela y la plataforma IoT en la nube. La labor es mucho más sencilla con los kits de iniciación de los proveedores, que contienen todos los elementos necesarios para crear y poner en marcha un prototipo.(Ronald Stordahl, 2021)

## **Capítulo 3: Desarrollo de la Investigación**

En este capítulo se dará a conocer la obtención de los objetivos descritos en el primer capítulo para el análisis de una red de comunicación LORA para la mina de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay.

### **3.1 Descripción de los fundamentos básicos de las Tecnologías de la Información y comunicación (TICs) y la red LORA**

La tecnología de la información (TI) es una tecnología que utiliza los ordenadores para reunir, procesar, almacenar y proteger la transferencia de información. Hoy en día es común utilizar el término Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) porque es imposible trabajar con un ordenador que no esté conectado a la red.

Los sitios web de ofertas de empleo utilizan habitualmente la categoría de TIC's en sus bases de datos. Esta modalidad incluye un amplio rango de puestos de trabajo en las áreas de arquitectura, ingeniería y administración. Las personas que trabajan en estas ramas suelen tener títulos universitarios en informática o sistemas de información. También pueden contar con certificaciones industriales relacionadas. También se pueden encontrar cursos breves sobre los fundamentos de la informática en Internet, que son particularmente útiles para los que quieren adquirir cierta experiencia en este campo antes de dedicarse a él como carrera profesional.

#### **3.1.1 Redes informáticas y tecnología de la información**

Dado que las redes juegan un papel fundamental en el manejo de muchas empresas, los temas de redes informáticas empresariales tienden a asociarse con las tecnologías de la información. Entre las tendencias de las redes que desempeñan un papel clave en las TI se incluyen:

- Capacidad y desempeño de la red: La demanda de ancho de banda de la red, tanto en Internet como en las redes informáticas, ha aumentado enormemente debido a la popularidad del vídeo en línea. Los nuevos

tipos de aplicaciones de software que soportan gráficos más ricos y una interacción más profunda con los ordenadores también acostumbran a generar mayores cantidades de datos y, por tanto, de tráfico de red. Los equipos de tecnologías de la información deben realizar una planificación adecuada no sólo para las necesidades actuales de su empresa, sino también para este crecimiento futuro.

- Usos móviles e inalámbricos: Los administradores de redes de TI actualmente deben admitir una amplia gama de teléfonos inteligentes y tabletas, además de los PC y puestos de trabajo tradicionales. Los ambientes de TI tienden a requerir puntos de acceso inalámbricos de alto desempeño con capacidad de roaming. En los grandes edificios de oficinas, las implantaciones se planifican y prueban cuidadosamente para eliminar los puntos muertos y las interferencias de la señal.
- Servicios en la nube: Mientras que en el pasado las tiendas de TI mantuvieron sus propias granjas de servidores para alojar el correo electrónico y las bases de datos empresariales, algunas han cambiado a entornos de computación en la nube en los que los proveedores de alojamiento de terceros se encargan de mantener los datos. Este modelo de computación cambia drásticamente los patrones de tráfico en la red de una empresa, pero también exige un importante esfuerzo de formación de los empleados en esta nueva clase de aplicaciones.

### **3.1.2 Fundamentos de la red LORA-LORAWAN**

LoRaWAN es una especie de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) creada para dispositivos inalámbricos que funcionan con baterías. Según la LoRa-Alliance, LoRa ya está implantada en millones de sensores. Algunos de los principales componentes que sirven de base a la especificación son la comunicación bidireccional, la movilidad y los servicios de localización.

Un ámbito en el que LoRaWAN se diferencia de otras características de red es que utiliza una arquitectura en estrella, con un nodo central al que se conectan todos los demás nodos, y las pasarelas sirven de puente transparente que reenvía los mensajes entre los dispositivos finales y un servidor de red central en el backend. Las pasarelas están conectadas al servidor de red a través de conexiones IP estándar, mientras que los dispositivos finales emplean una comunicación inalámbrica de un solo salto con una o varias pasarelas. Toda la comunicación de los terminales es bidireccional y soporta la multidifusión, lo que posibilita las actualizaciones de software en el aire. Según la LoRa-Alliance, la organización sin ánimo de lucro que creó las especificaciones de LoRaWAN, esto ayuda a conservar la duración de la batería y a conseguir una conexión de largo alcance.

El sistema inalámbrico LoRa emplea diferentes bandas de frecuencia en diversas regiones del mundo, como Estados Unidos, Europa y China. En la tabla 3.1. se indican las bandas de frecuencia junto con las frecuencias de los canales LoRa

	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 +8	In definition by Technical Committee			
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps- 50kbps	980bps-21.9kpbs				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

Tabla 3. 1: Bandas de frecuencias de una red LoraWAN

Autor: (NesPRA, s/f)

El sistema inalámbrico LoRa hace uso de las frecuencias sin licencia. Estas incluyen:

- 868 MHz para Europa
- 915 MHz para Norte America

### 3.1.3 Implementación de las TICs y LORA para la sociedad

Con el avance de las tecnologías de área amplia de baja potencia (LPWA), el surgimiento de diversas aplicaciones de la Internet de las Cosas (IoT) está transformando el modo de vida en el mundo. En particular, se calcula que los dispositivos LPWA crecerán hasta los 339 millones en 2025. Por sus características técnicas únicas, la red de largo alcance (LoRa) ha despertado una gran atención en los sectores industrial y académico en los últimos años.

Con el propósito de proporcionar información sobre el diseño y la aplicación del sistema LoRa, las contribuciones principales se resumen como muestra la figura 3.2:

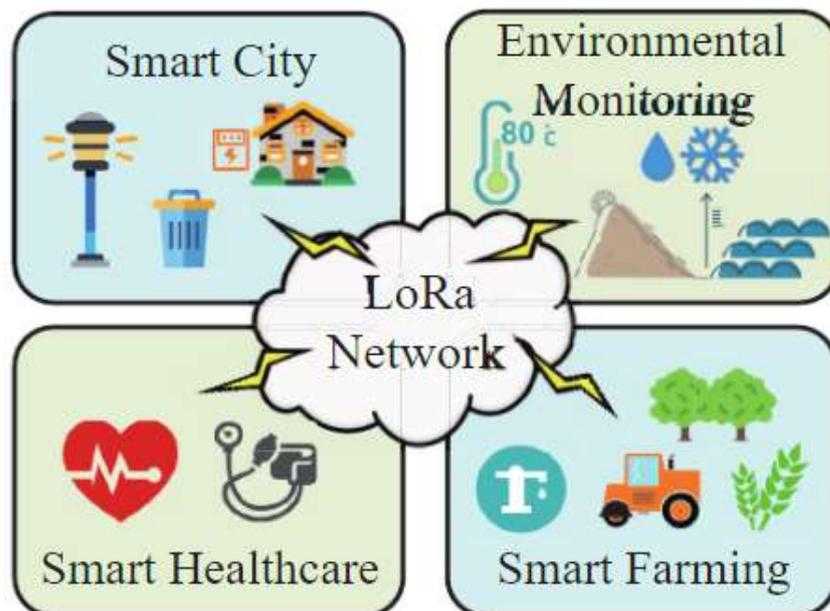


Figura 3. 2: Uso cotidiano de las TIC's y LoraWAN en el mundo cotidiano

Autor: (Wienke Giezeman, 2022)

“A medida que continúa la digitalización en todos los sectores del mercado y lugares, la integración de múltiples tecnologías para lograr soluciones de extremo a extremo es fundamental. Al mismo tiempo, las empresas requieren soluciones que proporcionen una mayor interoperabilidad y se adhieran a los estándares. Ahora que LoRaWAN se integra fácilmente con cualquier aplicación IP, los usuarios finales tienen ambas cosas” detalla (Wienke Giezeman, 2022)

Ahora bien, con un alcance de comunicación de más de diez kilómetros y una larga vida útil de la batería, la red LoRa es muy prometedora para las aplicaciones de IoT de largo alcance, bajo consumo y bajo coste. Sin embargo, para alcanzar estas excelentes características, la tecnología LoRa tiene como contrapartida una baja velocidad de datos. En esta sección, se analizan varias aplicaciones y escenarios típicos de la red LoRa.

- Una Ciudad Inteligente: La red LoRa es una solución fiable y viable para varias aplicaciones de IoT en ciudades inteligentes, como la medición inteligente y la gestión de residuos. De forma más eficiente, estos nodos LoRa pueden transmitir automáticamente los datos de detección y ser controlados de forma autónoma a través de la red LoRa. Al conectar los diferentes servicios de la ciudad, estas aplicaciones brindan la oportunidad de mejorar la eficiencia de las operaciones municipales y reducir los costes de mantenimiento.
- Control de medio ambiente: La monitorización del medio ambiente es fundamental para que nuestra sociedad suministre indicadores ambientales en tiempo real, como la calidad del aire, la temperatura y la humedad, y alerte de situaciones cruciales, como los desastres naturales y la contaminación ambiental. Considerando los requisitos financieros y energéticos, es conveniente implementar una red con tecnología LoRa en

grandes áreas geográficas. Los nodos LoRa de baja potencia con varios sensores son responsables de interactuar con el entorno e informar de los datos de forma oportuna para detectar los problemas antes de que se conviertan en crisis.

Sin embargo, la enorme carga de costes es un reto para la industria sanitaria. El coste reducido y el desempeño fiable de la red LoRa la hacen adecuada para las típicas aplicaciones sanitarias inteligentes, mostrado en la figura 3.3:

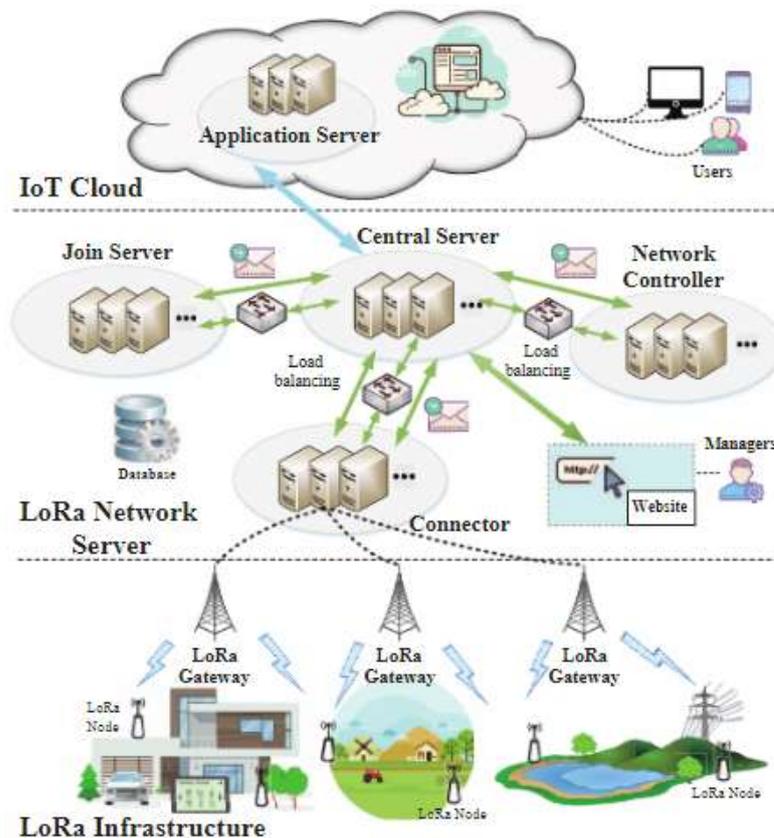


Figura 3. 3: Desglose del uso de la loraWAN

Autor: (smart-lighting, 2023)

### 3.1.4 Implementación de la tecnología LORA en minería

La minería ha sido desde hace mucho tiempo una importante industria del sector primario en muchos países. La ventilación es la base del suministro de oxígeno y el método principal para eliminar los gases peligrosos en la

minería subterránea. La mayoría de los sistemas de ventilación están pensados para los "peores escenarios" y los gestores de las minas acostumbran a hacer funcionar su sistema de ventilación a este nivel máximo sin tener en cuenta la necesidad real de ventilación. Por lo tanto, la ventilación constituye un porcentaje no despreciable del consumo global de energía en el subsuelo, pero la mayoría de ellos son prescindibles. En este sentido, es necesario desarrollar un sistema de ventilación a demanda para reducir el consumo de energía y conservar un entorno seguro para los trabajadores. Sin embargo, sigue siendo un reto la implantación de sistemas inteligentes de adquisición de datos ambientales y de control de la ventilación en las minas subterráneas. Por lo tanto, para hacer frente al desafío, se plantea una solución para mejorar el control de la ventilación inteligente para la minería subterránea con la tecnología LoRa.

Para la industria minera, LoRa ofrece ciertas ventajas. Se puede decir que parte de ellas son comunes a las tecnologías de área amplia de baja potencia, en general, y que algunas se materializan en los dispositivos LoRa que funcionan en redes LoRaWAN, las cuales tienen 4 beneficios que se presentan a continuación

- Largo alcance: El implante de una única estación base con dispositivos LoRa en ambientes desafiantes permite una capacidad de profunda penetración, a la vez que ofrece la posibilidad de conectarse a sensores en toda una mina que puede abarcar un área de 16 kilómetros.
- Bajo consumo: Una vida útil de la batería sin igual, de hasta 2 ó 3 años, se traduce en una mayor actividad de los mineros, ya que pueden centrarse en otros ámbitos de las operaciones mineras.
- Geolocalización: Los mineros pueden ubicar fácil e instantáneamente las zonas con problemas en toda la mina sin necesidad de GPS ni de consumo de energía adicional.
- Estandar abierto: El protocolo abierto LoRaWAN asegura la interconexión entre la mina, los proveedores de soluciones IoT y los

operadores de telecomunicaciones para acelerar su aprobación e implantación.

Las redes por cable tienen la carencia de un alcance limitado, un coste elevado, un alto coste de mantenimiento y la fragilidad en el entorno minero. Las opciones de corto alcance, como el Wi-Fi y el Bluetooth, no logran cubrir suficientes áreas y tienen un alto consumo de energía y la incapacidad de profundizar en el entorno de la mina. La capacidad de penetración profunda de LoRa permite la comunicación de datos a gran distancia con un uso muy reducido de energía, lo que la hace perfecta para las aplicaciones mineras subterráneas inteligentes.

## **3.2 Estudio técnico de la mina Sociedad de Producción Minera Jerusalén**

### **3.2.1 Ubicación Geográfica**

La Sociedad de Producción Minera Jerusalén (figura 3.4), titular de la concesión minera Muyuyacu (código 3622) de la Empresa Nacional Minera ENAMI EP, forma parte de la Asociación de Mineros Autónomos "12 de Octubre" y está localizada geográficamente en el oeste de la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez, parroquia Camilo Ponce Enríquez, en el sector Sta. Martha. Martha, específicamente La Independencia (642475,00 m E y 9663916,00 m N), a 270 m sobre el nivel del mar. El ingreso por tierra es por la carretera Panamericana Sur hasta Machala y después se toma una carretera asfaltada a la llegada al sector de San Alfonso hasta llegar a la mina.

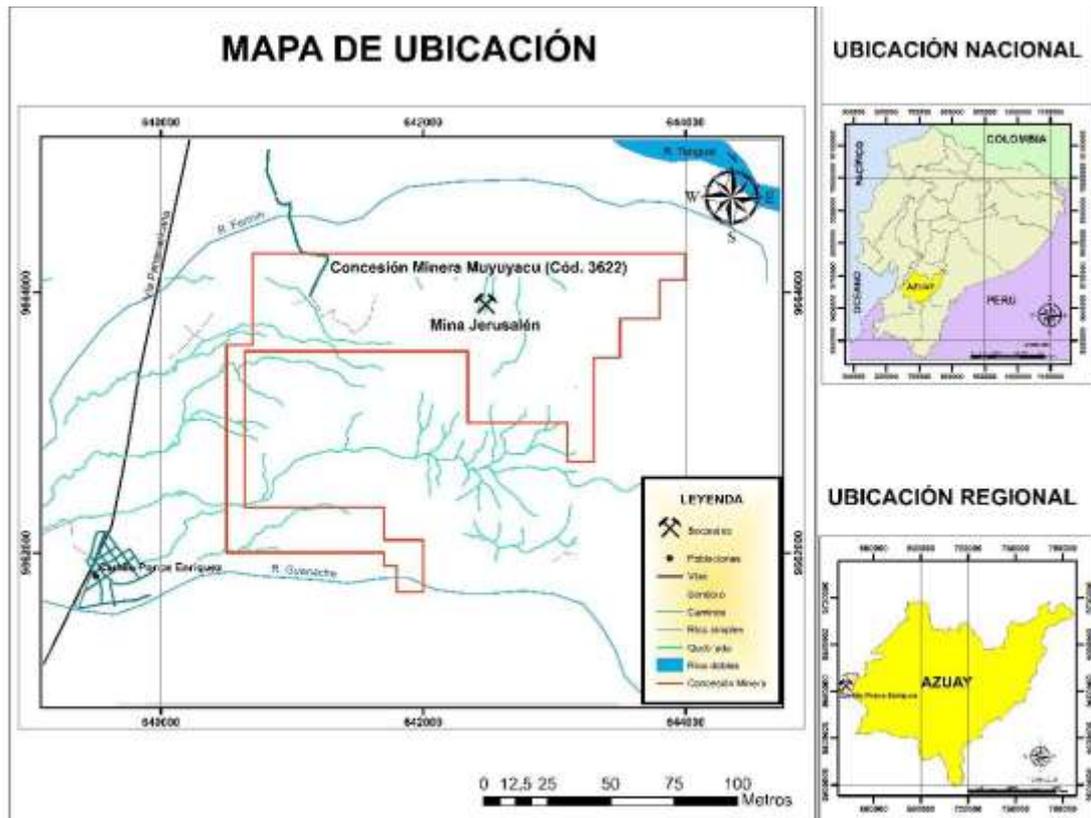


Figura 3. 4: Mapa de ubicación de la Sociedad Producción minera Jerusalén  
 Autor: (Llumiuinga Oña Katherine Alexandra, 2018)

### 3.2.2 Clima

De acuerdo con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI, 2011), el tipo de clima en la zona es subtropical con temperaturas de 8°C en las zonas altas y 26°C en las zonas bajas, con temperaturas que promedian los 22°C de agosto a noviembre, y temperaturas promedias de 30°C de diciembre a julio. La precipitación anual en el cantón es de 1.455 mm, con la temporada de lluvias de enero a julio y la temporada de sequía de agosto a diciembre.

### 3.2.3 Vegetación

La flora del cantón es muy abundante y está relacionada directamente con el clima. Hay una importante actividad agrícola en el cultivo de cacao, maíz, yuca y plátano. Cabe señalar que en las estribaciones de la Cordillera Occidental existen zonas de bosques subdesérticos, bosques tropicales y

subtropicales, donde existen especies arbóreas como la Figueroa, el nogal, la chonta, la tagua, el laurel, el guayacán, la canela, el cedro y otras especies.

### 3.2.4 Hidrología

El sector de estudio (Concesión Muyuyacu) (Figura 3.5) abarca los ríos Villa, Guanache y Siete que bordean el cantón Camilo Ponce Enríquez. Los ríos Nueve de Octubre y Fermín se originan en el SO de la Cordillera Occidental y las quebradas Caña Quemada, Chico y Guanache corren en forma paralela al río Tenguel, hasta llegar al Estrecho de Jambelí. Medina (2013) afirma: "En el sector de La Independencia, la red hídrica está constituida por los ríos Fermín, Villa y Guanache".

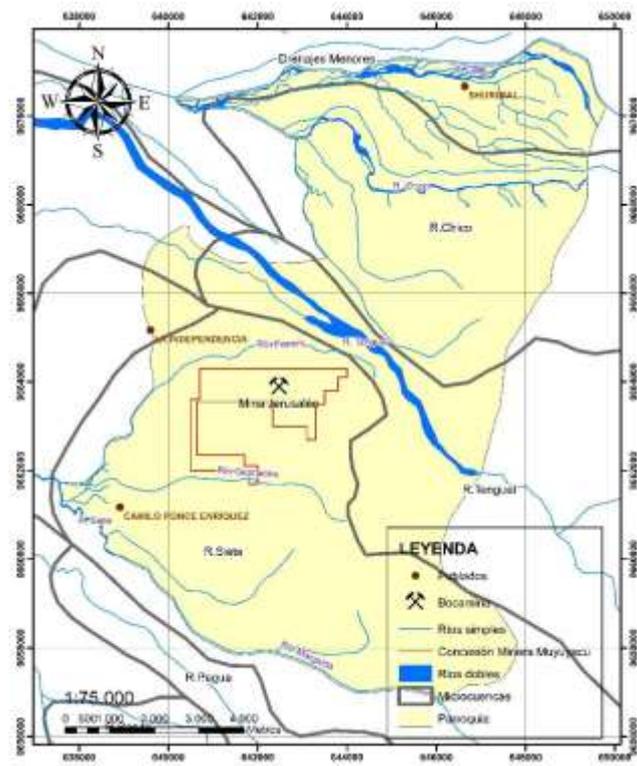


Figura 3. 5: Mapa hidrológico del cantón Camilo Ponce Enrique

Autor: (Llumiyinga Oña Katherine Alexandra, 2018)

### 3.2.5 Sistema de comunicación interno de la mina

Según el reglamento de la ley minera nacional establece que "La política minera nacional promoverá en todos los niveles, la innovación, la

tecnología y la investigación que permitan el fortalecimiento interno del sector, priorizando el desarrollo sustentable, la protección ambiental, el fomento de la participación social y el buen vivir.”

En la minería subterránea, la estructura de comunicaciones es un componente indispensable para la operación. Las redes de fibra óptica son una opción viable, de alta velocidad, baja latencia, de seguridad intrínseca, a prueba de interferencias, flexible y modular para la evolución de los sistemas de comunicación de las minas, las cuales muchas de estas utilizan algún tipo de teléfono como medio principal de comunicación entre la superficie y los mineros subterráneos. Es fácil imaginar dos teléfonos conectados directamente por cables para formar el enlace físico de comunicaciones. El cuál es el método que usa actualmente la mina Sociedad de Producción minera Jerusalén.

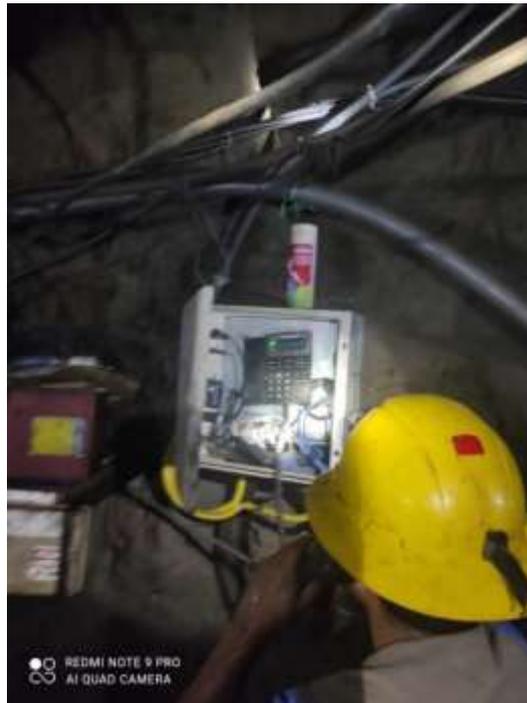


Figura 3. 6: Base de comunicación interna de la mina

Fuente: Autor



Figura 3. 7: Base de comunicación externa de la mina

Fuente: Autor

Sin embargo, Las redes de comunicación subterráneas son el vínculo esencial entre las operaciones en el subsuelo y el personal en la superficie. Las minas cambian continuamente y el proceso de explotación es muy móvil. Con el avance de las operaciones, los equipos y las personas están en constante movimiento. La probabilidad de que se produzcan gases explosivos, desprendimientos de rocas, lugares húmedos, temperaturas extremas, espacios confinados, alta tensión e interferencias electromagnéticas son algunas de las amenazas a las que debe sobrevivir la red subterránea.

La mina cuenta con varios teléfonos en el interior de la mina, conectados mediante fibra óptica hasta el exterior de la mina, la fibra se canaliza por las labores con recubrimiento plástico (figura 3.8).

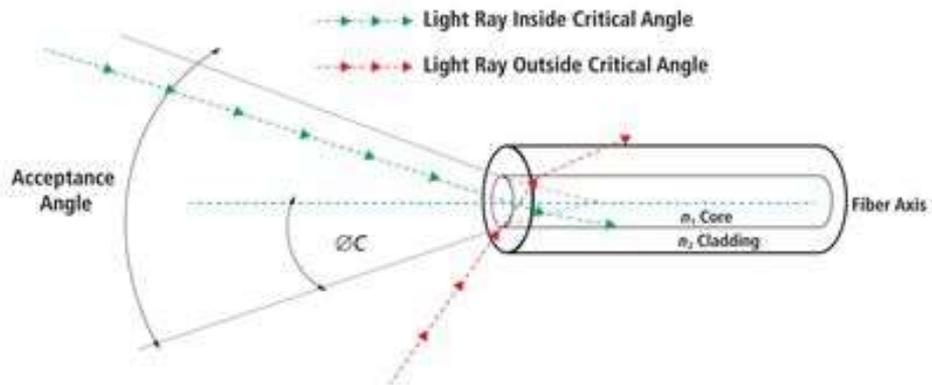


Figura 3. 8: Estructura de la fibra óptica que muestra la reflexión interna total

Autor: (Jorge Pierri, 2010)

Normalmente, las redes mineras subterráneas han utilizado fibra óptica multimodo. La fibra multimodo, como su nombre indica, hace posible que varios modos de luz viajen a lo largo de su longitud. Este modelo de fibra óptica tiene un diámetro de núcleo mayor y acepta luz acoplada desde un ángulo mayor y desde una fuente espectral más extensa, como un LED.

Uno de los grandes retos que enfrenta la mina Sociedad de Producción minera Jerusalén es la manipulación de la fibra ya que doblar los cables en un radio inferior al valor especificado puede provocar una macro atenuación por flexión. En este caso, se permite que la luz se escape a través de la región de envoltura de la fibra óptica debido a un cambio en el ángulo de incidencia del rayo de luz que viaja a través de la fibra. Otras causas de atenuación son la micro flexión de la fibra óptica. Esto ocurre cuando se aplica una fuerza lateral a una fibra óptica de manera que la guía de ondas se deforma microscópicamente.

### 3.3 Análisis de una red LORA para la comunicación interna de la mina sociedad de producción minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez

Como ya se ha hablado en capítulos anteriores, cabe recordar que LoRa es una de las tecnologías inalámbricas (como WiFi, Bluetooth, LTE, SigFox o Zigbee) que utiliza un tipo de modulación de radiofrecuencia patentado por Semtech, uno de los principales fabricantes de chips de radio.

La tecnología de modulación se conoce como Chirp Spread Spectrum (o CSS) y se ha utilizado durante décadas, en las telecomunicaciones militares y espaciales.

Lo cual es lo que vamos a analizar en este capítulo de como esta tecnología podría mejorar en el monitoreo y sobre todo en la comunicación interna de la mina, específicamente en la mina sociedad de producción minera Jerusalén.

La mina cuenta actualmente con galerías principales de transporte tienen una longitud de 1500 metros, de una sección promedio de 2\*2.50 metros, por donde se transporta el personal y mineral mediante una locomotora con capacidad para transportar hasta 15 toneladas.

Además, cuenta con aproximadamente 4000 metros de galerías secundarias con secciones variables, que se utilizan para la extracción de mineral, también se realizan chimeneas que son labores inclinadas que se utilizan para el transporte de mineral y ventilación en los diferentes subniveles de la mina.

Actualmente se está desarrollando un pozo que tiene una longitud de 150 metros con una inclinación de 45 grados, con dos subniveles para explotación. Un proyecto en el que la mina dispone de varios campos de pozos mineros en general, cada uno de ellos equipado con bombas y extractores que deben supervisarse a través de un sistema central de control y adquisición de datos (SCADA) para garantizar la seguridad y evitar anomalías.

La aplicación ofrecida al cliente tenía que ser capaz de transmitir los datos de los sensores al sistema SCADA del cliente a intervalos regulares. Cada campo de pozos cuenta con aproximadamente 70 bombas y extractores que deben ser supervisados mediante sensores digitales y analógicos, y los datos se transmitían al sistema SCADA del cliente. Si el sistema detectaba alguna anomalía, avisaba al usuario. Además, la solución tenía que suministrar energía a los sensores de los campos de pozos.

Estos requerimientos se vieron agravados por unos factores adicionales: En primer lugar, se había declarado en su preferencia por no cavar zanjas hasta cada campo de pozos por las líneas de datos y electricidad; en su vez, había que emplear una solución inalámbrica. En segundo lugar, la aplicación debía ser lo suficientemente robusta como para funcionar con normalidad en el entorno de la zona rural, que puede ser caluroso, soleado y polvoriento.

Como la solución más factible debido a la cantidad de trabajo y maquinaria que hay que monitorear se implementaría los siguientes dispositivos basados en el uso de LoraWAN:



Figura 3. 9: SABIO-4610P.

Autor: (smart-lighting, 2023)

Este dispositivo es un E/S modular inalámbrica LoRaWAN IoT avanzada el cual sirve para:

- Soporte de frecuencia inalámbrica LoraWAN con antena externa desmontable.
- Combinación de E/S lista para la aplicación con conectores M12 opcionales, IP65.
- GNSS y batería recargable del panel solar en el interior.
- Mayor alcance de comunicación y mejor penetración a través del hormigón y el acero.
- Amplia entrada de energía de voltaje con 10 ~ 50VDC



Figura 3. 10: WISE -S617.

Autor: (smart-lighting, 2023)

Este dispositivo es un E/S Modular Inalámbrica 2AI/2DI/1DO con conectores 1RS-485 y M12 con las siguientes características:

- Salida de alimentación de 12 V para los sensores
- 2 entradas analógicas, 2 entradas digitales, 1 salida digital, 2 salidas de potencia con 1 E/S RS-485
- Módulo de E/S IoT modular para emparejar con la serie WISE-4600
- Conectores M12



Figura 3. 11: WISE -6610-N100.

Autor: (smart-lighting, 2023)

Este dispositivo es una puerta de enlace de 8 canales LoraWAN reforzada US 915 MHz – soporta 100 nodos, este dispositivo tiene las siguientes características:

- Protocolo LoRaWAN para aplicaciones de sistemas cerrados y públicos
- Funciones mejoradas por redundancia para la transmisión continua de datos
- Memoria mejorada para alojar aplicaciones de software personalizadas
- Bajo consumo de energía para aplicaciones de energía solar y de batería
- Ethernet y E/S para conectar una amplia gama de activos de campo con carril DIN o montaje en pared
- Puerta de enlace IoT de área amplia de largo alcance
- Cumplimiento de RED

El WISE-6610 es una puerta de enlace LoRaWAN de alto rendimiento con opciones de conectividad confiables para entornos industriales y soporte de protocolo LoRaWAN para construir redes privadas y públicas LoRaWAN.

La propuesta se basa en el protocolo LoRaWAN. En cada campo de pozos se colocaría una pasarela LoRaWAN de alto desempeño WISE-6610 de Advantech, y las bombas y extractores de los campos de pozos serían equipados con la E/S modular inalámbrica WISE-4610P, que reportaría al WISE-6610. Los sensores y los paneles solares conectados al WISE-4610P.

Las características principales del protocolo LoRaWAN que lo hacen perfecto para esta solución son:

- El protocolo hace posible que un gran número de módulos se conecten a una pasarela; cada WISE-6610 puede soportar hasta 100 nodos.
- El bajo consumo de energía de LoRaWAN permite que los dispositivos individuales se alimenten simplemente con una batería solar recargable o con una entrada de 10-50V de corriente continua.

- LoRaWAN es capaz de proporcionar una amplia cobertura y largas distancias de transmisión; en zonas abiertas, los alcances de la transmisión pueden llegar a 10 km o más.
- Como sólo se requieren unas pocas pasarelas y no es necesario cavar zanjas para instalar los cables, el sistema puede implementarse más rápidamente y con un coste menor.
- La seguridad está cubierta por la encriptación AES-128 de extremo a extremo.



Figura 3. 12: Ejemplificación de como serían los equipos instalados

Autor:(smart-lighting, 2023)

En lo que respecta a los dispositivos terminales WISE-4610P, son muy apropiados para aplicaciones de exterior gracias a su carcasa con una resistencia IP65 al polvo y la humedad, su batería recargable (que puede cargarse a través de la red o de paneles solares) y su compatibilidad con el GPS. También son compatibles con varios puertos de E/S, como AI, DI, DO, PO y RS-485, lo que significa que se pueden conectar a los sensores directamente, y sus baterías internas pueden incluso suministrar energía a los sensores.

Tras caracterizar el área y obtener un área efectiva de lectura, se ha pasado a estudiar con más profundidad las comunicaciones entre el lector y el software proporcionado por el fabricante. Para ello se ha empleado el software que aporta LoraWAN, en el cual se puede verificar y revisar el tráfico de datos por el puerto de comunicaciones que se seleccione. (Miguel Najera Benitez, 2020)

Ahora si bien es cierto todavía hay detalles que no hay que dejar pasar, una de ellas es la interferencia en lo que son las RF (radio frecuencia) la cual Las interferencias de radiofrecuencia son la existencia de señales no deseadas en el espectro de radiofrecuencia utilizado por las redes WiFi (normalmente 2,4 GHz y 5 GHz). Estas señales no deseadas son transmitidas normalmente por otros dispositivos electrónicos que utilizan las mismas ondas de radio que las redes WiFi u otro dispositivo con sus características. Como consecuencia de las interferencias de radiofrecuencia, los puntos de acceso LoRaWAN y los usuarios pueden verse imposibilitados para transmitir datos, lo que reduce su capacidad de transmisión y causa retrasos y deterioro del rendimiento. (NetSpot, 2021)

La red LoRa de Worldsensing trabaja en una radiofrecuencia de subgigahercios. En los entornos de metro y como parte de la red LoRa Tree, los repetidores pueden reenviar datos de los nodos a la pasarela en una configuración multisalto. Cada repetidor puede alcanzar una pasarela de hasta varios kilómetros de distancia en un solo salto, siempre que en el trayecto se aproxime a una línea recta. En comparación, las redes de malla de alcance medio que utilizan frecuencias por debajo de los gigahercios pueden llegar a una pasarela a unos cientos de metros de distancia en un solo salto. Las redes de malla de corto alcance con configuraciones de 2,4 gigahercios pueden alcanzar distancias de un solo salto de unos pocos metros bajo tierra. (Gonzalo Martin, 2022)

Por ello, es fundamental eliminar de forma proactiva las interferencias de radiofrecuencia disminuyendo sus fuentes y diseñando puntos para que se acomoden a ciertos tipos de interferencias.



## **Conclusiones.**

A partir del análisis precedente este es un sistema de supervisión para campos de pozos mineros en general basado en el protocolo LoRaWAN, que hace posible una solución inalámbrica que consume poca energía, económica y fácil de configurar, es resistente a las condiciones meteorológicas y a los entornos más adversos, y cuenta con una alta seguridad. El sistema se conecta al sistema SCADA del cliente y vigila los incidentes de seguridad y las irregularidades.

Los dispositivos empleados para este sistema fueron básicamente la pasarela WISE-6610 de Advantech y la E/S modular inalámbrica WISE-4610P, con cada pasarela capaz de conectar de forma inalámbrica hasta 100 módulos.

Aquí el IoT juega un papel importante ya que cada nodo sensor relacionado con la red de la WSN y el IoT proporcionarán datos precisos de la zona en la que se encuentra. Esta precisión es factible porque todo (aquí los nodos sensores) en la WSN tendrá su propia dirección IP a la que accederá la arquitectura de IoT. Así se reducirá el tiempo de cálculo y se tomarán los resultados medios. Se puede aplicar algoritmos computacionales adecuados para obtener predicciones y utilizarlas para generar alarmas tempranas. Aunque los sistemas de monitorización de la WSN se dejen desatendidos durante un mes, siguen funcionando en tiempo real de forma continua.

Por lo tanto, es más estable. Esto contribuirá a que IoT tenga una comunicación estable en la capa de red y a que la estación base reciba de forma automática los datos a través de la pasarela. De este modo, se podría elaborar un sistema eficaz de supervisión y alerta temprana.

Por consiguiente, se puede concluir que la actividad minera sigue y podría seguir siendo uno de los grandes pilares que sostiene la economía de un país, generando actividad que contribuye al desarrollo también de la región

en la que se encuentra. Hay que recalcar que si bien se conoce, la minería es altamente competitiva a nivel internacional, pues sus resultados dependen muchísimo de los movimientos mundiales y de cómo se la trabaje tecnológicamente y aquí entra la implementación del uso de la red LoraWAN en la mina Sociedad de Producción Minera Jerusalén se beneficiaría de tal forma que reduciría costos tanto en implementación, equipos y en energía, la seguridad que cuenta este tipo de red tanto en paquetes de datos y comunicaciones las cuales van encriptados de extremo a extremo, también el amplio alcance de rango el cual supera los 15Km de cobertura y uno de los puntos clave de este es la geolocalización de activos o personas el cual gracias a LoraWAN se puede hacer un seguimiento preciso.

## **Recomendaciones.**

Para futuros estudios similares a este, se recomienda que se realice su respectiva simulación dentro de la mina para así tener mejor lectura y predicción al momento de aplicarla y de su correcta implementación de ser posible.

Todo ingeniero en minas debe tener un interés por conocer más las TICs y las IoT las cuales le darán un plus en lo que es el monitoreo y manejo de su trabajo de una forma sumamente eficiente, lo cual aportaría en un futuro en el desarrollo minero y económico del país.

## REFERENCIAS

Anthony M. Townsed & Mitchell L. Moss. (2005). *TELECOMMUNICATIONS INFRASTRUCTURE IN DISASTERS*.

<https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/nyu-disastercommunications1-final.pdf>

Donna More. (2022). *El avance y desarrollo de los relés con Lora*. CEO Lora Alliance.

Fernando Garcia. (2022). *AWS IoT Core for LoRaWAN lanza dos nuevas características para administrar y supervisar comunicaciones entre los dispositivos y la nube*. <https://aws.amazon.com/es/about-aws/whats-new/2022/01/aws-iot-core-lorawan-monitor-device-cloud/>

Figueiras Vidal. (s/f). *Una panorámica de las telecomunicaciones*. Prentice Hall.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=mCVSS4LVuO8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=telecomunicaciones&ots=Eg0pnReh6x&sig=r7xKRJV21RSkCmmQnqy1eA2rLK0#v=onepage&q=telecomunicaciones&f=false>

Gonzalo Martin. (2022). *Worldsensing una solución de red adaptada a la minería subterránea*.

<https://internetdelascosas.xyz/articulo.php?id=1657&titulo=->

Jannery Rivas. (2021). *Modulación Lora* [Map]. <https://lorapanama.com/modulacion-de-lora/>

Jorge Pierri. (2010). *Estructura de la fibra óptica que muestra la reflexión interna total*.

Jose Benitez. (2022). *La flexibilidad de la tecnología LoRa*.

[https://www.interempresas.net/Smart\\_Cities/Articulos/410449-Lanzarote-cuenta-ya-con-una-red-publica-LoRa.html](https://www.interempresas.net/Smart_Cities/Articulos/410449-Lanzarote-cuenta-ya-con-una-red-publica-LoRa.html)

Jose Huidobro. (s/f). *Servicios de telecomunicaciones*. thomson paraninfo.

[https://books.google.com.ec/books?id=m58VnOVcApsC&printsec=frontcover&dq=telecomunicaciones&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=telecomunicaciones&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=m58VnOVcApsC&printsec=frontcover&dq=telecomunicaciones&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=telecomunicaciones&f=false)

Llumiyinga Oña Katherine Alexandra. (2018). *Análisis geomecánico del Bloque N° 1 de explotación de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén, distrito de Ponce Enríquez*. Universidad Central de Ecuador.

Lora Alliance. (2020). *LoRaWAN Coverage Extended with Relay* [Lora]. Lora Alliance.

Miguel Najera Benitez. (2020). *Implementacion de tecnicas RF en control de activos Urbanos*.

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/99313/TFG%20N%C3%A1j%20era%20Benitez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

NesPRA. (s/f). *Bandas de frecuencias de una red LoraWAN* [Map].

<https://www.nespra.net/blog/que-es-lora-y-cuales-son-sus-ventajas/#:~:text=As%C3%AD%20pues%2C%20LoRa%20suele%20operar,868%20MHz%20y%20915%20MHz.>

NetSpot. (2021). *Interferencia de radiofrecuencia*.

<https://www.netspotapp.com/es/wifi-troubleshooting/what-is-rf-interference.html>

Olaf Berlien. (2022, mayo 25). *Se anuncia la completa compatibilidad de*

*LoRaWAN con el protocolo IPv6*. <https://smart-lighting.es/compatibilidad-entre-lorawan-protocolo-ipv6/>

Pedro Bertoleti. (2019). *Proyectos con ESP32 y LoRa*.

[https://books.google.com.ec/books?id=Doi0DwAAQBAJ&pg=PT10&dq=protocolo+lora&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj7i4Kb\\_Ov0AhUSQjABHY1WBwEQ6AF6BAgGEA#v=onepage&q=protocolo%20lora&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Doi0DwAAQBAJ&pg=PT10&dq=protocolo+lora&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj7i4Kb_Ov0AhUSQjABHY1WBwEQ6AF6BAgGEA#v=onepage&q=protocolo%20lora&f=false)

Ronald Stordahl. (2021). *Acelere los proyectos de IoT de LoRaWAN con un kit de inicio de extremo a extremo*.

<https://www.digikey.com/es/articles/accelerate-lorawan-iot-projects-with-an-end-to-end-starter-kit>

Smartlighting. (2022). *LoRaWAN: nueva función de relés para ampliación de*

*cobertura de red en entornos complicados*. <https://smart-lighting.es/nueva-funcion-de-reles-del-estandar-lorawan-para-ampliacion-de-cobertura-de-red-en-entornos-complicados/>

smart-lighting. (2023). *Smart-lighting* [Map]. <https://smart-lighting.es/>

Stephanie Quinn. (2022). *La tecnología LoRaWAN® se afianza como líder*

*en el mercado; Proporciona la mejor ROI para el IoT en todo el espectro de industrias*. <https://lora-alliance.org/lora-alliance-press-release/la-tecnologia-lorawan-se-afianza-como-lider-en-el-mercado-proporciona-la-mejor-roi-para-el-iot-en-todo-el-espectro-de-industrias-de-francia-y-espana/>

Sylvain Chevallier & Ouassim Driouchi. (2022). *Crecimiento de LoraWan*.

BearingPoint.

Wienke Giezeman. (2022). *Implementacion de LowaWAN con la adaptacion IPv6.*

Xavier Hesselbach Serra, Jordi Altés Bosch. (2002). *Analisis de redes y sistemas de comunicaciones.*

[https://books.google.com.ec/books?id=11DSMYKvL0C&printsec=frontcover&dq=red+de+telecomunicaciones&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=red%20de%20telecomunicaciones&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=11DSMYKvL0C&printsec=frontcover&dq=red+de+telecomunicaciones&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=red%20de%20telecomunicaciones&f=false)



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



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

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **León Ordoñez, Ronald Giovanni** con C.C: # 0931059976 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis de una red de comunicación LORA para la mina de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 26 de enero del 2023

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

Nombre: León Ordoñez, Ronald Giovanni

C.C: 0931059976



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



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

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Análisis de una red de comunicación LORA para la mina de la Sociedad de Producción Minera Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay		
<b>AUTOR(ES)</b>	León Ordoñez Ronald Giovanni		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Efraín Vélez Tacuri		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	16 de febrero de 2023	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	54 de páginas.
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Redes informáticas, Sistemas telemáticos		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Lora, loraWAN, TIC's, Telecomunicaciones, LPWAN, minería, SCADA		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>	<p>Estudio del terreno en el sector de Ponce Enrique para el respectivo análisis del uso de una red loraWan en la mina Sociedad minera Jerusalén.</p> <p>En primer lugar, nosotros queremos establecer el estudio del lugar en el cual queremos establecer el análisis de una red LoraWan y para ello fue necesario la descripción de los fundamentos básicos de las tecnologías de la información y comunicación y fundamentos básicos de como es una red Lora.</p> <p>Seguido por el estudio técnico de la mina Sociedad minera Jerusalén en el cual se hizo el respectivo mapeo de la zona, viendo su flora, fauna, analizando también como es su propia comunicación interna.</p> <p>Finalmente, hemos analizado como serviría la red LoraWAN en la mejora de la comunicación de la mina Sociedad minera Jerusalén, también como encajarían los diferentes equipos para dicha comunicación y sus características para la misma.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-931059976	E-mail: ronaldleon-97@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Celso Bohórquez Escobar, MSc		
<b>COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-95147293		
	<b>E-mail:</b> celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			