

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO
PARA MINERA EL PEÑÓN

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Isaías Neciel Sánchez González

Profesor Guía:

Franz Yurjevic Perin

2023

RESUMEN

KEYWORDS: INTERNET DE LAS COSAS (IOT), GATEWAY, LORA, TTN.

El proyecto se centra en la implementación de un sistema de telemetría en una empresa minera utilizando la tecnología LoRa como base de la red. Se busca medir variables críticas como el consumo de energía eléctrica, el consumo hídrico y la temperatura ambiente.

En los antecedentes generales, se describen la minera El Peñón y el concepto de Internet de las Cosas (IOT) industrial, así como su funcionamiento y aplicaciones.

La problemática se presenta detalladamente, describiendo el problema y su importancia. También se mencionan los involucrados en el proyecto.

Se propone una solución al problema y se establecen los requerimientos necesarios. Luego, se presentan tres alternativas de solución: la implementación de un sistema de monitoreo con tecnología LoRa, un sistema basado en Wi-Fi y la implementación de SCADA con PLC S7-1500.

Se evalúan las alternativas de solución y se selecciona la más adecuada. A continuación, se establecen los objetivos del proyecto.

En el capítulo del diseño de la solución para el sistema de monitoreo, se proporciona el fundamento teórico de la tecnología LoRa, incluyendo Lora WAN, la modulación Lora y los parámetros principales. Se explican las topologías de red, los medios de transmisión y los componentes principales de una red LoRa. También se abordan las bandas de frecuencia utilizadas, la interferencia, la seguridad y los métodos de activación.

Se detalla la selección de hardware y software, incluyendo la elección de la puerta de enlace, los sensores de flujo, el medidor de energía eléctrica y el sensor de temperatura. Se selecciona una plataforma web para el sistema y se describen las ubicaciones de los componentes de la red.

Se presenta la conexión y configuración de los dispositivos finales, incluyendo los sensores y la puerta de enlace. Se explican los pasos de configuración, desde la creación de una cuenta en The Things Network hasta el registro de dispositivos y la programación de los decodificadores.

En el capítulo de evaluación económica, se justifican los costos del proyecto, incluyendo los costos de diseño, adquisición de materiales, mano de obra y mantenimiento. Se presenta el flujo de caja y se muestran los indicadores de viabilidad económica. También se incluye una carta Gantt y un análisis de sensibilidad.

Finalmente, se presentan las conclusiones del proyecto y se incluye la bibliografía utilizada.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 2

1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS 3

1.1 ANTECEDENTES GENERALES 3

1.2 MINERA EL PEÑÓN 3

1.3 INTERNET DE LAS COSAS (IOT) 4

1.3.1 IOT Industrial 4

1.3.2 Funcionamiento de IOT 4

1.3.3 Aplicaciones de IOT 5

1.4 PROBLEMÁTICA 5

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....6

1.6 IMPORTANCIA DE RESOLVERLO 7

1.7 INVOLUCRADOS 7

1.8 PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA 7

1.9 REQUERIMIENTOS.....8

1.10 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 8

1.10.1 Alternativa N°1: “Diseño de sistema de monitoreo con tecnología LoRa” 8

1.10.2 Alternativa N°2: “Sistema de monitoreo basado en Wi-fi” 9

1.10.3 Alternativa N°3: “Implementación de SCADA con PLC S7-1500” 9

1.11 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 9

1.12 ALTERNATIVA SELECCIONADA 10

1.13 OBJETIVOS 11

1.14 OBJETIVO GENERAL.....11

1.15 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE SOLUCIÓN PARA SISTEMA DE MONITOREO 12

2 DISEÑO DE SOLUCIÓN PARA SISTEMA DE MONITOREO 13

2.1 FUNDAMENTO TEÓRICO.....13

2.1.1 LoRa 13

2.1.2 Lora WAN 14

2.1.3 Modulación LoRa.....14

2.1.4 Parámetros principales en modulación CSS.....15

2.1.5 Factor de dispersión (Spreading Factor) 15

- 2.1.6 Ancho de banda..... 16
 - 2.1.7 Ratio de codificación 16
 - 2.1.8 Topologías de Red 17
 - 2.1.9 Medios de transmisión..... 18
 - 2.1.10 Componentes principales de una red LoRa 19
 - 2.1.11 Bandas de frecuencia utilizadas 23
 - 2.1.12 Interferencia 23
 - 2.1.13 Fresnel 25
 - 2.1.14 Seguridad LoRa 26
 - 2.1.15 Métodos de activación 27
- 2.2 SELECCIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE..... 30**
 - 2.2.1 Selección de hardware 30
 - 2.2.2 Selección de software 36
 - 2.2.3 Evaluación de alternativas para plataforma web 39
- 2.3 UBICACIONES DE COMPONENTES DE RED 41**
 - 2.3.1 Imagen de ubicación de módulos 42
 - 2.3.2 Ubicación de sensores de flujo 42
 - 2.3.3 Ubicación de sensores de energía..... 43
 - 2.3.4 Ubicación de sensor de temperatura..... 44
- 2.4 DIAGRAMA DE RED 44**
- 2.5 CONEXIÓN Y CONFIGURACIÓN 45**
 - 2.5.1 Conexión de dispositivos finales 46
 - 2.5.2 Configuración 51
- 2.6 DECODIFICADOR DE CARGA..... 59**
 - 2.6.1 Programación de decodificador 60
 - 2.6.2 Código para medidor de energía eléctrica..... 60
 - 2.6.3 Código para sensor de temperatura 60
 - 2.6.4 Código para sensor de flujo..... 60
- 2.7 REGISTRO DE GATEWAY 61**
- 2.8 CONEXIÓN ENTRE TTN Y THINGSPEAK..... 62**
- 2.9 DIAGRAMA DE FLUJO DE FUNCIONAMIENTO DE RED..... 64**
- CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA..... 66**
 - 3 Evaluación económica..... 67**
 - 3.1 DETERMINACIÓN DE COSTOS 68**
 - 3.1.1 Costos de diseño 68

3.1.2 Costos de materiales 69

3.1.3 Mano de obra 71

3.1.4 Costos de mantenimiento 73

3.2 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO.....75

3.3 FLUJO DE CAJA 75

3.4 INDICADORES DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....76

3.5 FLUJO DE CAJA 77

3.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 82

CONCLUSIONES.....85

BIBLIOGRAFÍA 86

ANEXO – A: CÓDIGO PARA MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA 88

ANEXO – B: CÓDIGO PARA SENSOR DE TEMPERATURA.....89

ANEXO – C: CÓDIGO PARA SENSOR DE FLUJO 90

ANEXO – D: DETALLES DE PERSONAL INVOLUCRADOS Y TAREAS 93

ANEXO – E: GRÁFICO VALOR EURO BANCO CENTRAL DE CHILE 94

ANEXO – F: FLUJOS DE CAJA CON VARIACIÓN DE VALOR DE TASA DE CAMBIO EUR/CLP 94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Planta procesadora minera El Peñón	3
Figura 1-2	Funcionamiento IOT.....	5
Figura 2-1	Referencia IOT	13
Figura 2-2	Funcionamiento LoRa Wan	14
Figura 2-3	Chirp Spread Spectrum	15
Figura 2-4	Factor de dispersión.....	16
Figura 2-5	Topología de red tipo estrella.....	17
Figura 2-6	Topología de red tipo anillo	18
Figura 2-7	Topología de red tipo bus.....	18
Figura 2-8	Funcionamiento dispositivos finales clase A	20
Figura 2-9	Funcionamiento dispositivos finales clase B	21
Figura 2-10	Funcionamiento dispositivos finales clase C.....	21
Figura 2-11	Componentes principales de una red LoRa Wan	23
Figura 2-12	Capacidad de propagación de señal.....	24
Figura 2-13	Ejemplos de propagación de señal.....	25
Figura 2-14	Ejemplo de Fresnel.....	25
Figura 2-15	Seguridad en una red Lora.....	26
Figura 2-16	Activación por aire OTTA.....	28
Figura 2-17	Activación ABP.....	30
Figura 2-18	Puerta de enlace o Gateway Dragino.....	31
Figura 2-18	Sensor de flujo SW3L Dragino.....	33
Figura 2-20	Medidor de energía eléctrica AWD ADL.....	35
Figura 2-21	Medidor de temperatura LTC2 Dragino	36
Figura 2-22	Logo de plataforma Ubidots	38
Figura 2-23	Logo de plataforma Grafana.....	38
Figura 2-24	Logo de plataforma ThingSpeak	39
Figura 2-25	Ejemplo de Dashboard en ThingSpeak	41
Figura 2-26	Ubicación y numeración de módulos	42
Figura 2-27	Ubicación de sensores de flujo	42
Figura 2-28	Ubicación de medidores de energía eléctrica	43
Figura 2-29	Ubicación de sensores de temperatura.....	44
Figura 2-30	Diagrama de red	45
Figura 2-31	Conexión de sensor de flujo	47

Figura 2-32 Conexión de sensor de temperatura.....48

Figura 2-33 Diagrama de conexión para medidor de energía eléctrica 50

Figura 2-34 Referencia parte trasera de Gateway Dragino 51

Figura 2-35 Creación nombre de red.....53

Figura 2-36 Identificación de red 53

Figura 2-37 Selección de grupo de red (frecuencias).....54

Figura 2-38 Opciones de grupos disponibles 54

Figura 2-39 Página de ingreso a plataforma TTN 55

Figura 2-40 Consola página principal 55

Figura 2-41 Creación de aplicación en consola TTN 56

Figura 2-42 Registro de dispositivos en TTN 56

Figura 2-43 Ejemplo de datos de fábrica de cada dispositivo 57

Figura 2-44 Selección de banda de frecuencia de End Devices 58

Figura 2-45 Registro de AppKey de un End Device.....58

Figura 2-46 Código para decodificador de carga en TTN 59

Figura 2-47 Primer paso para registrar una puerta de enlace 61

Figura 2-48 Segundo paso para registrar una puerta de enlace 61

Figura 2-49 Diagrama de flujo comunicación TTN y ThingSpeak 63

Figura 2-50 Diagrama de flujo funcionamiento de red 64

Figura 3-1 Precio de plataforma ThingSpeak 74

Figura 3-2 Precio de plataforma TTN.....75

Figura 3-3 Gráfico de sensibilidad del proyecto.....84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Análisis de requerimientos.....8

Tabla 1-2 Escalas de calificaciones de alternativas 9

Tabla 1-3 Puntuación y selección de alternativas 10

Tabla 2-1 Bandas de frecuencias.....23

Tabla 2-2 Características de Gateway LG308 Dragino 32

Tabla 2-3 Características de sensores SW3L 33

Tabla 2-4 Características de medidor de energía eléctrica AWD ADL 34

Tabla 2-5 Características de medidor de temperatura LTC2 Dragino.....36

Tabla 2-6 Comparativa de plataformas Web 40

Tabla 2-7 Módulos en faena minera El Peñón 41

Tabla 2-8 Ubicación de medidores de energía eléctrica.....43

Tabla 2-9 Puntos de conexión medidor de energía eléctrica AWD ADL 49

Tabla 3-1 Valores USD, UF y euros 68

Tabla 3-2 Costos de diseño 69

Tabla 3-3 Características específicas según requerimientos 69

Tabla 3-5 Carta Gantt del proyecto 72

Tabla 3-5 Costos de mano de obra.....73

Tabla 3-6 Conversión de costos de plataformas web.....73

Tabla 3-7 Costos de mantenimiento 74

Tabla 3-8 Costos totales con IVA incluido 75

Tabla 3-9 Cálculo valor anual en registro de consumos 78

Tabla 3-10 Cálculo valor anual en ingreso y envío de datos 79

Tabla 3-11 Cálculo valor anual de análisis de datos 80

Tabla 3-11 Gastos generados Sin proyecto/Con proyecto 81

Tabla 3-12 Flujo de caja del proyecto.....81

Tabla 3-13 Resultados indicadores 82

Tabla 3-14 Tabla de resultados para análisis de sensibilidad 84

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLA

IOT	:	Internet of Things (Internet de las cosas)
UTFSM	:	Universidad Técnica Federico Santa María
SCADA	:	Supervisory Control and Data Acquisition
PLC	:	Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable)
CSS	:	Chirp Spread Spectrum
TTN	:	The Things Network
MQTT	:	Message Queuing Telemetry Transport
VAN	:	Valor Actual Neto
TIR	:	Tasa Interna de Retorno
TMAR	:	Tasa Mínima Aceptable de Retorno
UF	:	Unidades de Fomento

B. SIMBOLOGÍA

A	:	Amperios
V	:	Voltios
mm	:	Milímetros
kWh	:	Kilo-Watts-Hora
GHz	:	Giga-Hertz
ms	:	milisegundo
l/m	:	Litros por minuto

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se está viviendo la cuarta revolución industrial, que busca lograr la interconectividad a través del IOT (Internet de las cosas). La telemetría de datos desempeña un papel fundamental en esta revolución, ya que la capacidad de visualizar información en tiempo real a partir de hojas de datos en internet permite generar informes diarios sobre el proceso y, por lo tanto, optimizar los recursos y mejorar la toma de decisiones.

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de monitoreo IOT para medir diferentes tipos de variables, especialmente consumo energético, consumo de agua potable y temperatura en el campamento de la faena “Minera el Peñón”.

La ubicación crítica de las instalaciones donde se llevará a cabo el proyecto justifica la medición de estas variables. Estas instalaciones se encuentran en el desierto de Atacama, el desierto más árido del mundo, por lo que los recursos son muy limitados.

El proyecto está dividido en 3 capítulos. El primer capítulo incluirá temas como la descripción de la situación actual, la ubicación del proyecto, las soluciones posibles, entre otros. En el segundo capítulo, se desarrollará la solución seleccionada en el primer capítulo, y en el tercer capítulo se presentarán los resultados obtenidos y se realizará un análisis económico.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS

El presente capítulo tiene por objetivo dar a conocer las problemáticas que se presentan al realizar la tarea de registro de consumos en la minera “El Peñón” como también exponer las distintas soluciones para dichos problemas.

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Actualmente, en la minera El Peñón, se utiliza un sistema obsoleto de registro de consumo energético y consumo de agua potable, que requiere que un conjunto de colaboradores tome registros diarios caminando aproximadamente 3 kilómetros. Esta ineficiente tarea genera pérdidas económicas significativas debido al tiempo empleado en ello. Por lo tanto, se propone el diseño de un sistema de monitoreo remoto como solución a este problema, con el objetivo de reducir las pérdidas económicas asociadas.

1.2 MINERA EL PEÑÓN

La minera El Peñón es una mina de oro y plata, ubicada en el desierto de Atacama, en la segunda región de Chile y a 160 kilómetros al sudeste de la ciudad de Antofagasta y a 1800 metros sobre el nivel del mar. El Yacimiento El Peñón es explotado subterráneamente por la compañía Yamana Gold y posee una capacidad de producción de 2,5 millones de toneladas de mineral. Tiene una dotación de aproximadamente 1400 trabajadores y 1800 contratistas, lo cual incluye servicios de campamento y transporte de personal. El abastecimiento de agua se hace desde pozos profundos, los cuales se ubican a aproximadamente 16 kilómetros del campamento.



Fuente: <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2021/03/el-penon-yamana-gold-antofagasta-mineria>

Figura 1-1 Planta procesadora minera El Peñón

1.3 INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

El internet de las cosas (Internet of Things – IoT), es una red colectiva de dispositivos físicos que cuentan con una dirección IP para lograr una conexión a internet. Los dispositivos mencionados anteriormente son sensores, actuadores, programas computacionales, cloud, entre otros.

Hoy en día hay aproximadamente 13.100 millones de dispositivos IOT conectados alrededor del mundo y según múltiples estudios para el año 2025 habrán aproximadamente más de 20.000 millones de dispositivos IOT conectados a la red a nivel mundial.

1.3.1 IOT Industrial

El IOT en la industria, también conocido como IOT industrial, hace referencia al uso de sensores inteligentes y mecanismos de automatización que permiten mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos en todos sus niveles. Consiste en conectar máquinas, dispositivos y softwares mediante una arquitectura de red específica para que puedan comunicarse, recopilar información y analizar todos estos datos en tiempo real.

1.3.2 Funcionamiento de IOT

Un sistema IOT funciona mediante la recopilación y el intercambio de datos en tiempo real. Un sistema de IOT posee tres componentes principales:

- Dispositivos Inteligentes: se trata de dispositivos que poseen características tales como la transmisión de información mediante internet o algún medio de comunicación (alámbrica o inalámbrica). Es capaz de recopilar información de su entorno para el cual fue diseñado, procesarla y comunicarla a través de internet hacia un Gateway.
- Aplicación IOT: es un conjunto de servicios y softwares encargados de integrar todos los datos recibidos por parte de los “*Dispositivos inteligentes*”, para poder trabajar con la información entregada. Utiliza tecnología de Machine Learning o Inteligencia Artificial (IA) para analizar estos datos y tomar decisiones previamente programadas.

- Interfaz de usuario gráfica: es una hoja de datos (dashboard), en donde se puede ver de manera fácil para el operador o usuario, todos los parámetros medidos y entregados por los dispositivos inteligentes. Con esta información ya ordenada, el operador o usuario, es capaz de tomar decisiones con respecto al proceso.



Fuente: <https://www.aepd.es/es/prensa-y-comunicacion/blog/iot-i-que-es-iot-y-cuales-son-sus-riesgos>

Figura 1-2 Funcionamiento IOT

1.3.3 Aplicaciones de IOT

- Automotriz
- Procesos de fabricación
- Transporte y logística
- Comercio
- Sector público
- Atención sanitaria
- Seguridad industrial

1.4 PROBLEMÁTICA

Como se mencionó previamente, la problemática principal surge cuando un colaborador, responsable de recolectar los reportes diarios de consumos en el campamento de la minera El Peñón, debe caminar aproximadamente 3 kilómetros al día, lo que le lleva un aproximado de 2 horas diarias. Una vez completada esta tarea, el colaborador debe entregar la planilla a la persona encargada de ingresar los datos al sistema, para luego ser revisados y enviados por correo al encargado de recursos energéticos e hídricos del campamento.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema se centra en dos factores principales: el tiempo que se requiere para generar el reporte de consumos y la exposición a los elementos climáticos a los que los colaboradores están expuestos al realizar esta tarea.

- Tiempo para ejecutar la tarea: si se considera el tiempo desde que el colaborador inicia el trayecto para la toma de consumos, hasta que la información recopilada llega al encargado, se obtienen los siguientes resultados:

En donde:

- $T_{tc} = \text{Tiempo de toma de consumos}$
- $T_{ID} = \text{Tiempo de ingreso de consumos}$
- $T_{AD} = \text{Tiempo análisis de datos}$

Considerando lo anterior se tiene:

$$Tiempo_{Total} = T_{tc} + T_{ID} + T_{AD}$$

$$Tiempo_{Total} = 2[h] + 1[h] + 0.5[h]$$

$$Tiempo_{Total} = 3,5[h]$$

Como se puede observar el tiempo diario para lograr ejecutar el registro de consumos es de 3,5 horas, lo cual, si se lleva a una perspectiva anual, son alrededor de 1.277 (horas/hombre) que se necesitan para el desarrollo del monitoreo de consumos.

- Exposición a factores climáticos: el campamento, al estar ubicado en el desierto de atacama, la radiación solar, las altas temperaturas y los caminos rocosos, son factores que pueden influir de gran manera a un accidente laboral.

1.6 IMPORTANCIA DE RESOLVERLO

Para resolver la problemática antes mencionada, se implementará un sistema de monitoreo remoto, el cual generará grandes beneficios, desde el ámbito económico hasta el ámbito del día a día de los trabajadores.

El gran beneficio que se generará desde la perspectiva del trabajador es que este, ya no deberá estar sometido a las altas temperaturas ni a la radiación solar, que múltiples veces generaban altas deshidrataciones.

Si se analiza la problemática desde una perspectiva económica, se logrará generar un ahorro de 1.277 horas hombre, las cuales podrán ser redirigidas a otras labores, con lo cual aumentará indirectamente las utilidades de la compañía.

Por último, un factor no menos importante a tomar en cuenta es la disminución del tiempo de detección de fallas por cortes de suministro eléctrico en los distintos módulos, debido que, al tener un sistema de monitoreo remoto, el encargado de la supervisión logrará detectar de manera inmediata que módulos presentan cortes de suministro. También tendrá de manera clara los consumos eléctricos e hídricos de cada módulo, lo cual al detectarse una medición fuera de los rangos normales, se podrá alertar de alguna posible falla.

1.7 INVOLUCRADOS

Dentro de los involucrados, están los colaboradores que desarrollan el registro diario, la compañía Yamana Gold, los contratistas que usan los datos registrados y por último todos los trabajadores que usan las instalaciones del campamento.

1.8 PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

La digitalización a través de plataformas IOT permite a las empresas ahorrar tiempo y recursos en tareas repetitivas, como la toma de consumos. Esto facilita la resolución de problemas que podrían haber requerido supervisión presencial o intervención manual.

Gracias al análisis de datos recopilados por la plataforma IOT, las empresas pueden acceder a información valiosa, como el consumo de agua y energía eléctrica en el desierto, para

obtener una visión general del funcionamiento de sus procesos productivos, lo cual contribuirá a una mejor toma de decisiones.

Es por lo que la solución propuesta consiste en la modernización del sistema de toma de consumos que se lleva a cabo en la minera El Peñón. Esto implicará la instalación de sensores IOT capaces de medir la energía eléctrica y el consumo de agua, lo que permitirá tener un registro en tiempo real con datos de consumos promedios diarios, gráficos en un Dashboard y un sistema de alarmas en caso de que alguna medición esté fuera de los parámetros normales, como por ejemplo la rotura de una matriz de agua. Además, se instalarán sensores de temperatura, lo cual añadirá un valor adicional a los datos proporcionados en el Dashboard.

1.9 REQUERIMIENTOS

Tabla 1-1 Análisis de requerimientos

N°	Requerimiento	Descripción
1	Implementación de sistema de monitoreo remoto, para la medición de consumos energéticos, consumos hídricos y temperatura dentro del campamento de Yamana Gold	Incorporar un sistema de monitoreo remoto que permita a un operador poder tener toda la información medida en tiempo real, mediante un Dashboard, el cual emitirá reportes diarios, reportes promedios y a su vez tendrá alarmas en el caso de que exista alguna falla, ya sea en el sistema eléctrico o en el sistema hídrico, como también poseerá alarmas dependiendo del nivel de temperatura.

Fuente: Elaboración propia basada en las necesidades del proyecto.

1.10 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

A continuación, se presentarán tres posibles soluciones para resolver la problemática planteada, en donde al final de la presentación de las alternativas, se realizará una evaluación a cada una de estas, abarcando distintos tópicos, tales como, innovación, factibilidad técnica, escalabilidad, entre otros.

1.10.1 Alternativa N°1: “Diseño de sistema de monitoreo con tecnología LoRa”

La primera alternativa es la implementación de un sistema de monitoreo mediante redes LoRa y IOT. Instalando sensores de caudal en tuberías, medidores de energía eléctrica en tableros específicos del campamento y también la instalación de sensores de temperatura. Se diseñará un

sistema de monitoreo mediante un Dashboard para que un operario pueda estar monitoreando todo el tiempo las variables medidas.

1.10.2 Alternativa N°2: “Sistema de monitoreo basado en Wi-fi”

La segunda alternativa es un sistema de monitoreo basado en Wi-Fi, este sistema utiliza dispositivos conectados a una red Wi-Fi para recopilar datos sobre temperatura, energía eléctrica y consumo hídrico a un servidor central. Los datos se visualizan en una plataforma de monitoreo en línea que permite a los usuarios ver la información en tiempo real y generar informes detallados de la información recibida

1.10.3 Alternativa N°3: “Implementación de SCADA con PLC S7-1500”

La tercera y última alternativa es la implementación de un sistema SCADA mediante un PLC s7-1500, en donde al igual que en la alternativa anterior, se instalarán sensores de caudal en todos los módulos como también sensores de corriente y voltaje. Se implementará una pantalla HMI en el taller encargado de la monitorización, para que pueda ser supervisada por el operario.

1.11 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Con las tres alternativas presentadas anteriormente, se generará una calificación mediante distintos criterios, para ver en qué nivel cumple o no. La escala de medición será de 1 a 5, en donde 1 corresponde a “Muy deficiente” y 5 corresponde a “Óptimo”. Luego se realizará la suma de los puntajes a cada alternativa y se escogerá la alternativa que posea el puntaje más elevado.

A continuación, se presenta la tabla con la cual se realizará la evaluación a las tres alternativas presentadas.

Tabla 1-2 Escalas de calificaciones de alternativas

Muy Deficiente	Deficiente	Aceptable	Bueno	Óptimo
1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia en base a escala de evaluación.

Los parámetros para evaluar la solución propuesta son cruciales para determinar su viabilidad y éxito en la implementación. Estos criterios son:

- **Innovación:** se evaluará el grado de utilización de nuevas tecnologías en la solución propuesta. Se busca que la solución sea innovadora y aproveche al máximo el potencial de las tecnologías emergentes, como los sensores IOT, para optimizar la toma de consumos en la minera El Peñón.
- **Factibilidad técnica:** se analizará si la solución propuesta es técnicamente viable en el entorno de la minera. Se considerarán aspectos como la infraestructura existente, los recursos disponibles y la compatibilidad con los sistemas y procesos actuales de la minera.
- **Escalabilidad:** se evaluará la capacidad de la solución propuesta para adaptarse y responder a futuros cambios en el entorno y en los requisitos del sistema. Se busca que la solución sea escalable y pueda ser ampliada o modificada según las necesidades futuras de la minera.
- **Seguridad de información y red:** se evaluarán las medidas de seguridad implementadas en la transmisión de datos recopilados por los sensores IOT. Se busca garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos, así como protegerlos contra posibles amenazas y vulnerabilidades.

Tabla 1-3 Puntuación y selección de alternativas

Alternativa	Innovación	Factibilidad técnica	Escalabilidad	Seguridad	Total
1	5	4	5	5	19
2	5	2	4	5	16
3	3	3	5	5	16

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas.

1.12 ALTERNATIVA SELECCIONADA

A partir de los resultados obtenidos en el punto 1.8.1, la alternativa que mejor cumple con los criterios anteriormente mencionados, es la alternativa número 1, ya que posee un alto grado de innovación al estar implementando tecnologías de vanguardia, la factibilidad técnica obtuvo una puntuación de 4, debido a que son sensores IOT que se comunican inalámbricamente, la escalabilidad que poseen estos sistemas son inmensos, ya que si la Gateway soporta una

cantidad considerable de sensores, no se presentará ningún inconveniente. En el punto de “Seguridad” obtuvo una puntuación de 5 debido a que las redes LoRa implementan autenticación y autorización de dispositivos, lo que significa que solos los dispositivos confiables y autorizados pueden conectarse y pertenecer a la red. Lo anterior reduce significativamente los riesgos de intrusiones y garantiza que la red esté protegida contra dispositivos no autorizados.

1.13 OBJETIVOS

En esta sección, se presentarán los objetivos generales y específicos que se deben cumplir al desarrollar el siguiente proyecto denominado “Diseño de un sistema de monitoreo remoto para minera El Peñón”.

1.14 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de monitoreo remoto para la medición de variables de flujo, energía eléctrica y temperatura ambiente, para minera El Peñón.

1.15 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la situación actual de toma de consumos energéticos y consumos hídricos en el campamento de “Minera El Peñón”.
- Elaborar proyecto de ingeniería para la comunicación de los distintos sensores encargados de medir variables de flujo, energía eléctrica y temperatura ambiente.
- Realizar evaluación económica del proyecto.

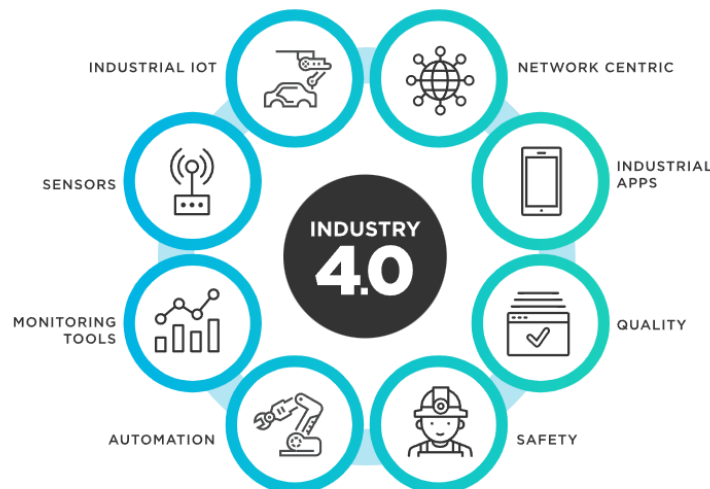
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE SOLUCIÓN PARA SISTEMA DE MONITOREO

2 DISEÑO DE SOLUCIÓN PARA SISTEMA DE MONITOREO

En este capítulo se presenta el desarrollo de la ingeniería del sistema de monitoreo, basándose en los análisis realizados en el capítulo 1. Se desarrollarán temas como arquitecturas de red, selección de sensores, plataforma que se utilizará para la visualización de datos, protocolos de comunicación, entre otros tópicos.

2.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

El internet de las cosas (IOT) ha generado una revolución en la forma en que los dispositivos y sensores se conectan a la red para transmitir datos en tiempo real. En este contexto, la tecnología de comunicación inalámbrica LoRa (Long Range) se ha posicionado como una opción ampliamente utilizada para las aplicaciones de telemetría.



Fuente: <https://www.google.com>

Figura 2-1 Referencia IOT

2.1.1 LoRa

LoRa (Long Range) es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance diseñada para la Internet de las cosas (IOT). Utiliza un protocolo de modulación de espectro ensanchado que permite la transmisión de datos a larga distancia con un bajo consumo de energía y una alta capacidad de penetración en estructuras y terrenos difíciles.

En términos técnicos, LoRa utiliza una técnica de modulación llamada espectro ensanchado mediante difusión espectral (CSS), que permite que múltiples transmisiones de datos compartan un mismo canal sin interferirse entre sí. Además, utiliza una técnica de modulación de

fase llamada Modulación de Desplazamiento de Frecuencia (FSK) para transmitir información binaria.

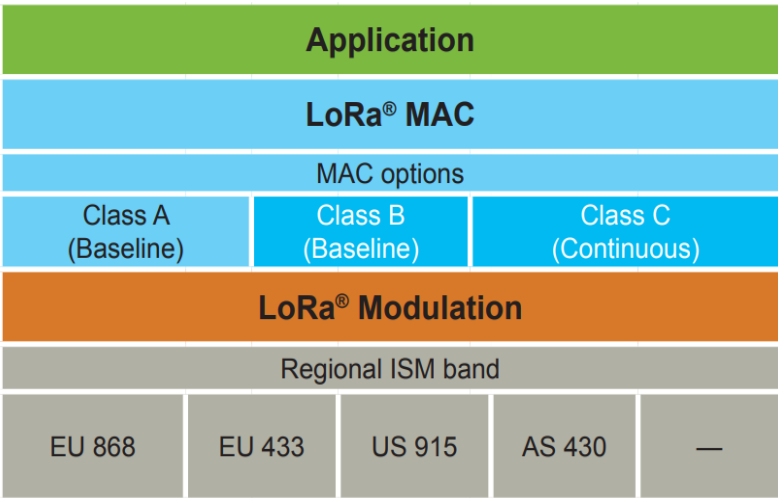
LoRa opera en frecuencias de radio no licenciadas y licenciadas, lo que permite una mayor flexibilidad en su implementación. En bandas de frecuencia no licenciadas, puede alcanzar distancias de hasta varios kilómetros, mientras que, en bandas licenciadas, puede cubrir distancias aún mayores.

Con su capacidad de comunicación de largo alcance y bajo consumo de energía, LoRa se ha convertido en una opción popular para aplicaciones de IOT como monitoreo y control remoto de dispositivos, seguimiento de activos, medición inteligente, agricultura de precisión, ciudades inteligentes y más.

2.1.2 Lora WAN

Lora WAN es un protocolo de comunicación para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network), la cual se basa en LoRa.

Lora WAN se encarga de realizar la comunicación entre todos los dispositivos finales en un área amplia y con bajos consumos de energía.



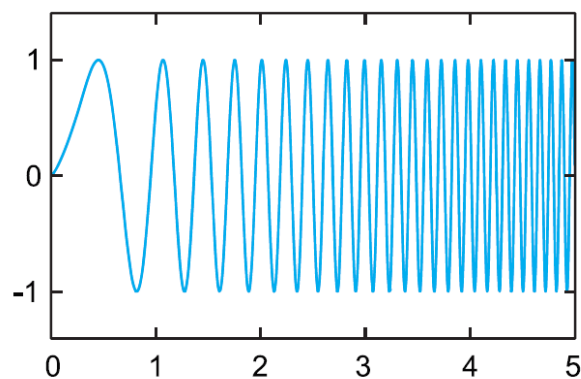
Fuente: <https://www.lora-alliance.com>

Figura 2-2 Funcionamiento LoRa Wan

2.1.3 Modulación LoRa

La Modulación de Espectro Ensanchado mediante Difusión Espectral (CSS) es una técnica de modulación utilizada en LoRa, una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance para IOT. La CSS difunde la señal en múltiples señales subportadoras, distribuyendo la energía en un amplio espectro de frecuencias. Cada señal subportadora lleva información modulada con una

secuencia única de pseudo-ruido (PN). La difusión en el espectro permite la superposición de múltiples transmisiones en el mismo canal sin interferencias. La secuencia PN actúa como una etiqueta para identificar y separar las transmisiones en el receptor. La CSS proporciona mayor resistencia a interferencias y ruido, y permite mayor cobertura y alcance de transmisión. Sin embargo, tiene una tasa de transmisión de datos más baja. LoRa utiliza la CSS para habilitar la comunicación de datos a larga distancia con bajo consumo de energía en aplicaciones de IOT con requisitos de batería de larga duración. En resumen, la CSS en LoRa es una técnica de modulación que difunde la señal en un amplio espectro, permitiendo la superposición de múltiples transmisiones y brindando mayor cobertura y duración de batería en aplicaciones de IOT.



Fuente: <https://www.semtech.com>

Figura 2-3 Chirp Spread Spectrum

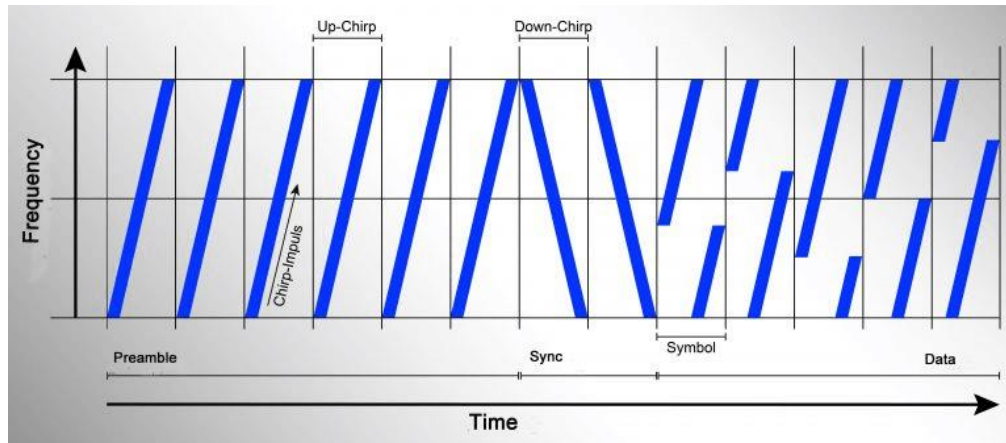
2.1.4 Parámetros principales en modulación CSS

En la modulación LoRa, se pueden ajustar tres parámetros principales: el ancho de banda (BW), el factor de dispersión (SF) y el ratio de codificación (CR). Estos parámetros se pueden optimizar para una aplicación específica mediante el uso del Adaptive Data Rate (ADR). El ajuste de estos parámetros afecta la velocidad de transmisión de datos (bit-rate), la capacidad de resistencia a la interferencia y la ocupación del canal durante cada transmisión.

2.1.5 Factor de dispersión (Spreading Factor)

Este factor hace referencia al parámetro que determina la duración y la distancia entre los chirps, los cuales son las señales transmitidas en formas de ondas chirp. Un SF mayor indica una mayor dispersión temporal y una mayor inmunidad al ruido, lo cual conlleva a una mayor distancia de transmisión, por otro lado, esto también implica una menor velocidad de transmisión.

En contraparte un SF menos, posee una menor dispersión temporal, lo que conlleva a una mayor velocidad de transmisión y una menor distancia de recorrido de los datos como también la señal es más susceptible al ruido.



Fuente: <https://www.2cigroup.com/>

Figura 2-4 Factor de dispersión

2.1.6 Ancho de banda

Es el rango de frecuencias utilizadas para transmitir la señal. Un mayor ancho de banda permite una mayor capacidad de transmisión de datos, ya que se puede transmitir más información en un período de tiempo dado. Sin embargo, también puede aumentar la vulnerabilidad a la interferencia y reducir la eficiencia espectral de la red.

En la modulación CSS de LoRa, el ancho de banda se ajusta para adaptarse a las necesidades específicas de la aplicación. Por ejemplo, un ancho de banda más estrecho puede ser utilizado en aplicaciones que requieren mayor alcance de transmisión, ya que permite una mayor inmunidad al ruido y una mejor penetración en el medio ambiente. Por otro lado, un ancho de banda más amplio puede ser utilizado en aplicaciones que requieren una mayor capacidad de transmisión de datos, pero a costa de una menor inmunidad al ruido y una mayor probabilidad de interferencia.

2.1.7 Ratio de codificación

Se refiere a la proporción de bits de código utilizados para transmitir una cantidad determinada de bits de información. Un mayor ratio de codificación permite una mayor corrección de errores en la transmisión de datos, lo que aumenta la confiabilidad de la

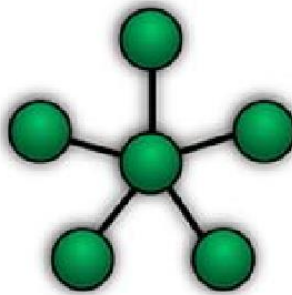
comunicación. Sin embargo, también implica una menor eficiencia espectral, ya que se utilizan más bits de código para transmitir la misma cantidad de información

2.1.8 Topologías de Red

Una topología de red hace referencia a la forma en la cual los dispositivos de una red están interconectados físicamente y también como se comunican entre sí.

Existen múltiples topologías de red, en donde las principales son:

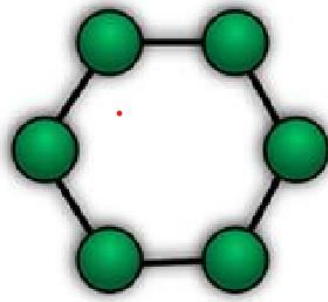
- Topología de estrella: En esta configuración, todos los dispositivos de la red se conectan a un nodo central, como un switch o un concentrador, a través de enlaces punto a punto. El nodo central actúa como punto de control de la red y maneja la distribución de datos entre los dispositivos conectados. Cada dispositivo envía y recibe datos a través del nodo central, que actúa como un hub de comunicación.



Fuente: pdf Profesor Víctor Cárdenas

Figura 2-5 Topología de red tipo estrella

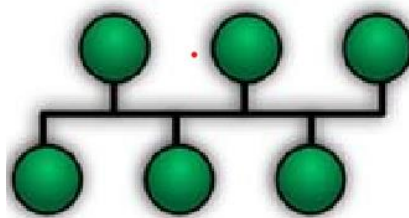
- Topología de anillo: En esta configuración, los dispositivos de la red se conectan formando un anillo cerrado, donde cada dispositivo está conectado al dispositivo anterior y posterior en el anillo. Los datos se transmiten en un solo sentido a lo largo del anillo, y cada dispositivo amplifica y retransmite los datos recibidos. Si un dispositivo en el anillo falla, puede interrumpir la comunicación en el anillo completo.



Fuente: pdf Profesor Víctor Cárdenas

Figura 2-6 Topología de red tipo anillo

- Topología tipo bus: En esta configuración, todos los dispositivos de la red se conectan a un único cable de transmisión en forma de bus, donde los datos se transmiten en ambos sentidos. Cada dispositivo tiene acceso al bus y puede enviar y recibir datos en función de su dirección física o lógica en el bus. Sin embargo, si se produce una falla en el bus, toda la red puede quedar afectada.



Fuente: pdf Profesor Víctor Cárdenas

Figura 2-7 Topología de red tipo bus

2.1.9 Medios de transmisión

Los medios de transmisión son los medios físicos a través de los cuales los datos se transmiten de un dispositivo a otro en una red de comunicación.

Dentro de los medios de comunicación comunes, se tienen los siguientes:

- Cable coaxial
- Fibra Óptica
- Cable de par trenzado
- Medios inalámbricos

Todos los medios de transmisión tienen ventajas y desventajas en términos de velocidad, ancho de banda, alcance, costo y seguridad.

2.1.10 Componentes principales de una red LoRa

Dentro de una red LoRa, los componentes principales son:

- End Nodes/Devices
- Puerta de enlace / Gateway
- Network Server
- Application Server

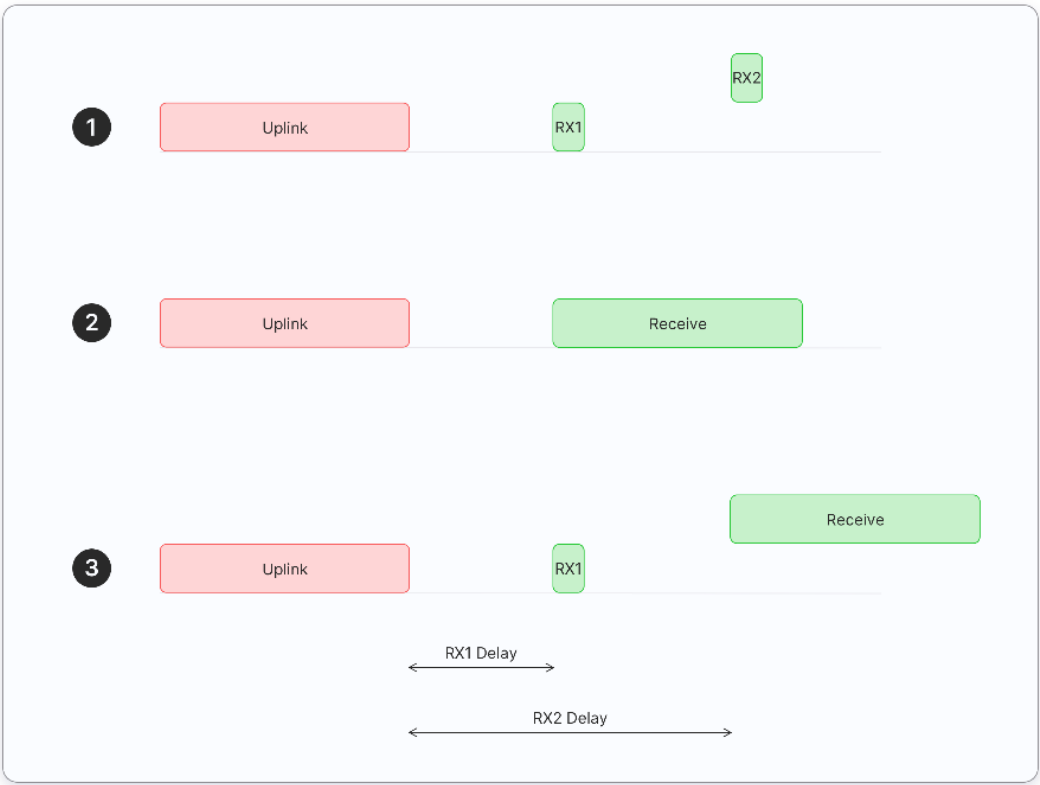
2.1.10.1 End nodes / End device

Son dispositivos finales de la red, también conocidos como sensores o actuadores, los cuales se comunican y transmiten información a las puertas de enlace de la red LoRa.

Son los nodos los que generan paquetes de datos, para luego transmitirlos a la puerta de enlace. Dentro de estos dispositivos finales, se encuentran 3 tipos de clases:

- Clase A:

Esta clase permite una comunicación bidireccional, la cual se logra debido a que luego de cada transmisión de enlace ascendente (Uplink), se habilitan dos ventanas de tiempo reducido para la recepción del enlace descendente. Si el servidor no responde durante las dos ventanas anteriores, el proceso de envío de paquetes de datos se repetirá. En la siguiente figura se muestra la transmisión y recepción de datos.



Fuente: The Things Network

Figura 2-8 Funcionamiento dispositivos finales clase A

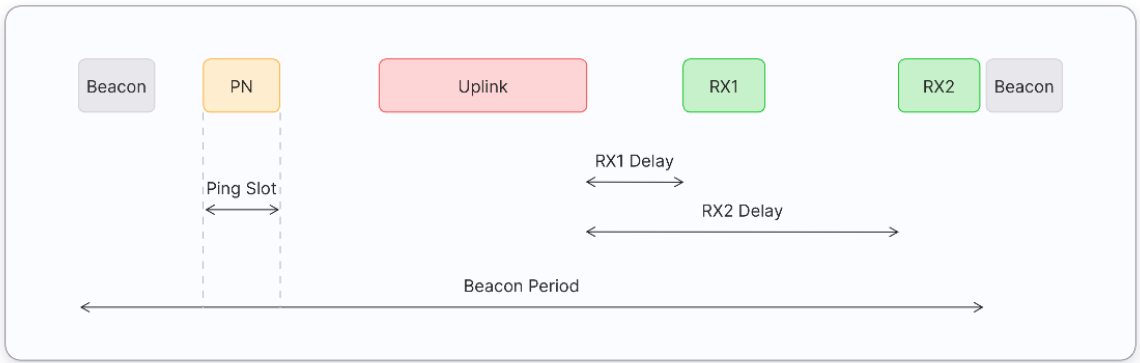
Como se puede observar, en el caso (1) se envía un paquete de datos (Uplink), luego de un tiempo determinado, se abre una ventana “RX1”, al no recibir ninguna información se cierra dicha ventana. Transcurrido el tiempo determinado (RX2 Delay), se abre una nueva ventana para la recepción de información, si nuevamente no se recibe ningún paquete de información, este ciclo se repetirá.

En el caso (2) se envía un paquete de información desde los dispositivos finales, y se recibe dicha información en la ventana RX1.

Finalmente, en el caso (3) se envía un paquete de información una vez se cerró la ventana RX1, por lo que el paquete de datos es recibido en la ventana RX2 una vez transcurrido el tiempo RX2 Delay.

- Clase B:

Los dispositivos clase B poseen las mismas características de los dispositivos clase A, pero a estos dispositivos se les agrega otra característica la cual es que están sincronizados con la red mediante balizas periódicas (Beacons). Al usar estas balizas periódicas, la puerta de enlace y los dispositivos finales pueden activar tiempos de apertura de ventanas de transmisión extra a las de la clase A.

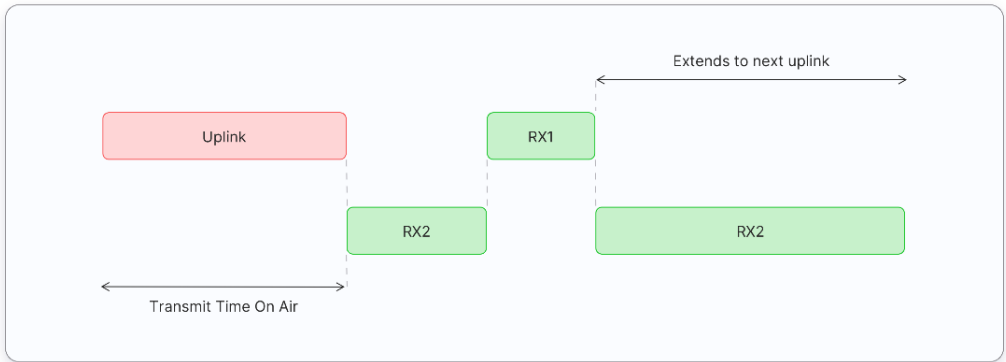


Fuente: The Things Network

Figura 2-9 Funcionamiento dispositivos finales clase B

• Clase C:

Por último, los dispositivos Clase C, poseen las mismas características que los dispositivos clase A, pero dichas características están ampliadas, ya que mantiene las ventanas de recepción abiertas. Esto permite poseer menores tiempos de latencia, pero mayores consumos energéticos, ya que el dispositivo se encuentra la mayor parte del tiempo activado.



Fuente: The Things Network

Figura 2-10 Funcionamiento dispositivos finales clase C

2.1.10.2 Puerta de enlace / Gateway

La puerta de enlace o Gateway es un concentrador encargado de recibir paquetes de datos enviados desde los nodos, para luego enviarlos mediante LoRaWan al Network Server.

2.1.10.3 Network Server

El Network Server (Servidor de Red), es el encargado de recibir la información transmitida desde los Gateways, procesar los paquetes de datos y luego enviarlos al Application Server (Servidor de aplicación)

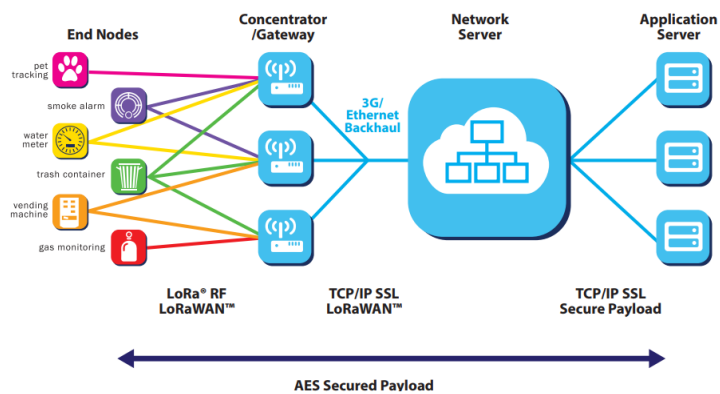
El Network Server tiene como principales funciones:

- Administración de dispositivos y Gateways.
- Control y supervisión de la red.
- Enviar información al servidor de aplicaciones.
- La comprobación de las direcciones de los dispositivos.
- El reenvío de Uplinks al Application Server.
- Almacenar los Downlinks en espera, hasta la apertura de una nueva ventana de comunicación de recepción del dispositivo final.

Una característica relevante del Network Server es que este debe discriminar mensajes duplicados. Esto es debido a que, si en la red física hay más de una puerta de enlace, pueden enviar paquetes de información duplicadas, por lo tanto, el Network Server, debe de recibir los paquetes duplicados, reenviar solo uno al Application Server y eliminar el resto de los paquetes duplicados.

2.1.10.4 Application Server

El Application Server (Servidor de Aplicaciones), es el encargado de recibir la información enviada desde el Network Server, para luego procesar, administrar y por último visualizar los datos en una hoja de datos (DashBoard).



Fuente: The Things Network

Figura 2-11 Componentes principales de una red LoRa Wan

2.1.11 Bandas de frecuencia utilizadas

LoRa trabaja en un espectro de frecuencia denominado ISM (Industria, Ciencia y Medicina), por lo cual, cualquier persona puede ocupar estas bandas sin pagar licencias. Las bandas en las que trabaja LoRa son las siguientes:

Tabla 2-1 Bandas de frecuencias

Región	Banda de frecuencia
China	779 [MHz] - 897 [MHz]
Europa	868 [MHz] - 870 [MHz]
EE.UU.	902 [MHz] - 928 [MHz]

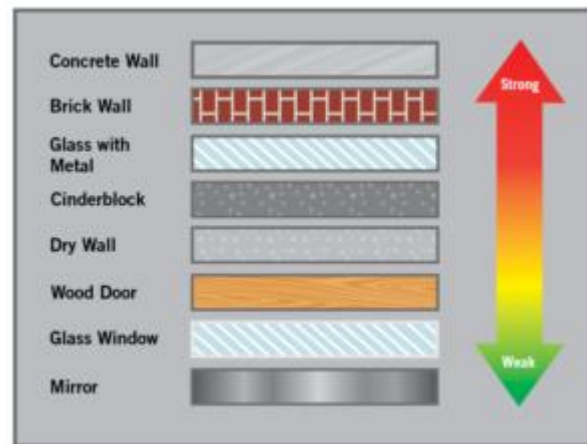
Fuente: Creación propia

Para el caso específico de Chile, la banda de frecuencia que se utiliza corresponde a la de EE.UU., entre 902[MHz] y 928[MHz].

2.1.12 Interferencia

LoRa tiene la capacidad de cubrir distancias de varios cientos de kilómetros en espacios abiertos, pero en entornos terrestres enfrenta desafíos debido a factores como la atenuación estructural, la reflexión, la difracción y la zona de Fresnel.

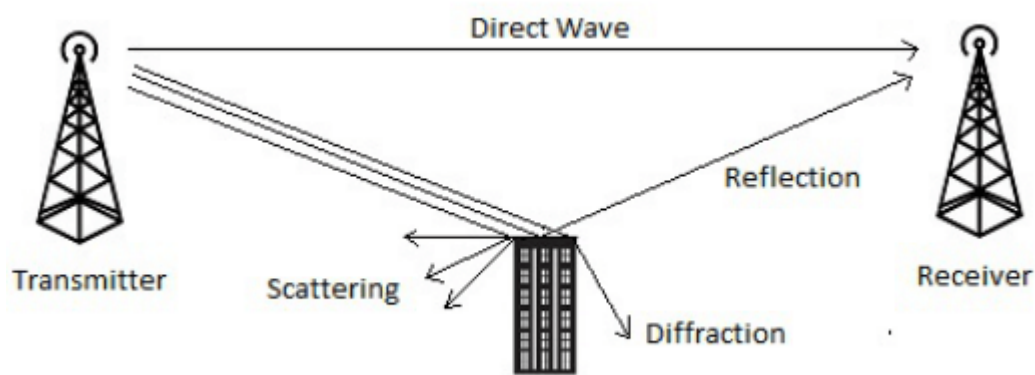
- La atenuación estructural: se refiere a la disminución de la intensidad de la señal LoRa al atravesar diferentes materiales como paredes y ventanas. Aunque la puerta de enlace y el dispositivo final estén ubicados en proximidad, es posible que la señal experimente una interferencia significativa al pasar a través de obstáculos específicos. Por ejemplo, si la señal atraviesa un muro de hormigón, su intensidad se debilitará considerablemente.



Fuente: The Things Network

Figura 2-12 Capacidad de propagación de señal

- **Reflexión:** similar a la reflexión de la luz visible en superficies, las señales LoRa también pueden experimentar rebotes en objetos metálicos, muebles, ventanas, etc. Estos rebotes pueden ocurrir en múltiples direcciones y pueden interferir con la calidad de la señal, lo cual se conoce como desvanecimiento por trayectos múltiples. La señal LoRa de un transmisor puede reflejarse en múltiples copias o componentes en el camino de propagación, y el receptor recibirá varias copias de la señal original. Posteriormente, el receptor intentará reconstruir la señal original, lo cual puede tener un efecto positivo o negativo en la calidad de la señal, ya que los diferentes componentes pueden enriquecer o degradar la calidad de la señal. Además, en estas condiciones, también puede observarse un cambio rápido de frecuencia.
- **Difracción:** Este fenómeno ocurre cuando una señal de radio encuentra un obstáculo con bordes afilados o una rendija que es comparable en tamaño con su longitud de onda. Generalmente se refiere a la flexión de señales alrededor de un objeto, y es común en entornos al aire libre. La energía de las señales que llegan detrás del objeto se verá afectada, resultando en pérdidas de energía. La pérdida es mayor a mayor frecuencia, ya que las longitudes de onda más bajas no pueden superar las sombras con la misma eficacia que las longitudes de onda más altas.
- **Dispersión:** la dispersión de las ondas de radio ocurre cuando las señales chocan con superficies rugosas. En lugar de reflejarse, las señales se dispersan en múltiples direcciones. La dispersión también puede ser causada por elementos como polvo, humedad, lluvia, vegetación, entre otros. La dispersión reduce la calidad de las señales recibidas.

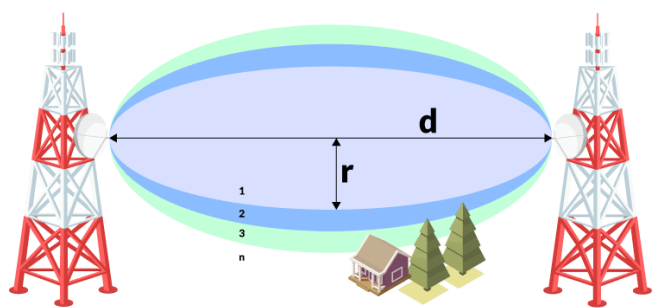


Fuente: The Things Network

Figura 2-13 Ejemplos de propagación de señal

2.1.13 Fresnel

La zona de Fresnel es una región en la que los efectos de difracción y reflexión de la señal son significativos en un enlace de comunicación inalámbrica. Esta zona se representa como una elipse tridimensional y su forma y tamaño dependen de la distancia entre los dispositivos de transmisión y recepción, así como de la frecuencia de la señal utilizada. En la zona de Fresnel, la señal puede experimentar cambios en su amplitud, fase y polarización debido a la difracción y reflexión en el entorno cercano al enlace. Es importante considerar la zona de Fresnel al diseñar enlaces de comunicación inalámbrica, teniendo en cuenta el perfil del terreno, la altura de las antenas y otros obstáculos en la trayectoria de propagación de la señal, con el fin de asegurar una calidad de señal adecuada y minimizar la interferencia.



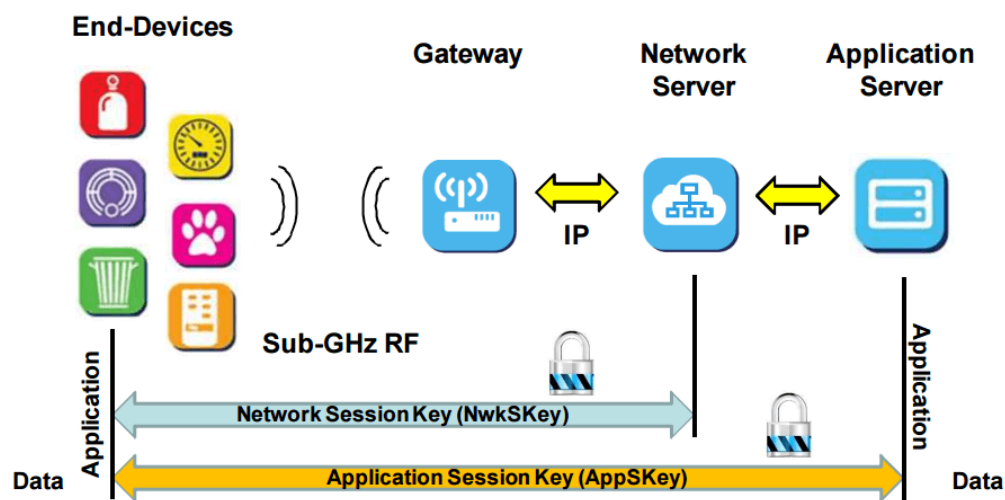
Fuente: PDF Profesor Víctor Cardenas

Figura 2-14 Ejemplo de Fresnel

2.1.14 Seguridad LoRa

La seguridad es una preocupación primordial en cualquier implementación masiva de IOT, y Lora WAN® aborda este tema mediante la implementación de medidas de seguridad en dos capas distintas:

- Seguridad a nivel de red: se utiliza una clave AES de 128 bits única para generar un código de integridad de mensajes (MIC) en cada mensaje que se comparte entre el dispositivo final y el servidor de red. Esta clave es conocida como Clave de Sesión de Red (NwkSKey).
- Seguridad a nivel de aplicación: las cargas útiles (payloads) siempre se cifran entre el dispositivo final y el servidor de aplicaciones. Se emplea una clave AES de 128 bits única para este propósito, también conocida como Clave de Sesión de Aplicación (AppSKey).



Fuente: Lora Alliance

Figura 2-15 Seguridad en una red Lora

Los algoritmos AES son utilizados para brindar autenticación e integridad de paquetes al servidor de red y cifrado de extremo a extremo al servidor de aplicaciones. Al proporcionar estos dos niveles de seguridad, es posible implementar redes compartidas sin que el operador de red tenga visibilidad de los datos de carga útil del usuario.

En el caso de LoRaWAN 1.0, se especifica el uso de tres claves de seguridad, a saber: NwkSKey, AppSKey y AppKey, todas con una longitud de 128 bits. Estas claves son utilizadas en un algoritmo AES-128.

La autenticación del dispositivo se realiza mediante un identificador único global (DevEUI) y una clave AES única de 128 bits (AppKey) que se utiliza para autenticar el dispositivo.

Para asegurar la **integridad y confidencialidad** de los datos, el tráfico de Lora WAN se protege mediante dos claves de sesión derivadas. Cada carga útil se cifra mediante AES-CTR y se calcula un código de integridad de mensaje (MIC) con AES-CMAC para evitar la manipulación de paquetes. La clave de sesión de red (NwkSKey) se utiliza para verificar la autenticidad e integridad de los paquetes y para cifrar los comandos MAC de Lora WAN y la carga útil de la aplicación.

Además, se utiliza una clave de sesión de la aplicación (AppSKey) para cifrar y descifrar la carga útil de la aplicación, lo que proporciona cifrado de extremo a extremo.

Las claves de sesión, **AppSKey** y **NwkSKey**, se generan a partir de **AppKey** y se utilizan para proteger todo el tráfico Lora WAN.

El servidor de red registra el **DevNonce** recibido en el mensaje de "solicitud de unión" para evitar ataques de repetición. Esto permite detectar si un atacante transmite la misma "solicitud de unión" repetidamente, lo cual indica un posible ataque.

Para detectar y bloquear ataques de repetición, se utilizan contadores de tramas (FCntUp y FCntDown). Estos contadores se establecen en 0 cuando se activa un dispositivo. Cada vez que el dispositivo envía un mensaje de enlace ascendente, FCntUp se incrementa, y cada vez que la red envía un mensaje de enlace descendente, FCntDown se incrementa. Si se recibe un mensaje con un contador de tramas inferior al valor anterior, el mensaje se ignora.

2.1.15 Métodos de activación

Los datos de Lora WAN son transmitidos inicialmente como una transmisión de radio LoRa inalámbrica desde el dispositivo hasta la puerta de enlace. Una vez allí, son enviados a través de un back-haul de comunicaciones, como celular, Ethernet o satélite, hacia un servidor de red en la nube. El servidor de red lleva a cabo las funciones necesarias para procesar los datos antes de enviarlos al servidor de aplicaciones correspondiente. A lo largo de este proceso, los datos son cifrados para garantizar su seguridad, primero mediante una clave de sesión de red (NwkSKey) y luego mediante una clave de sesión de aplicación (AppSKey).

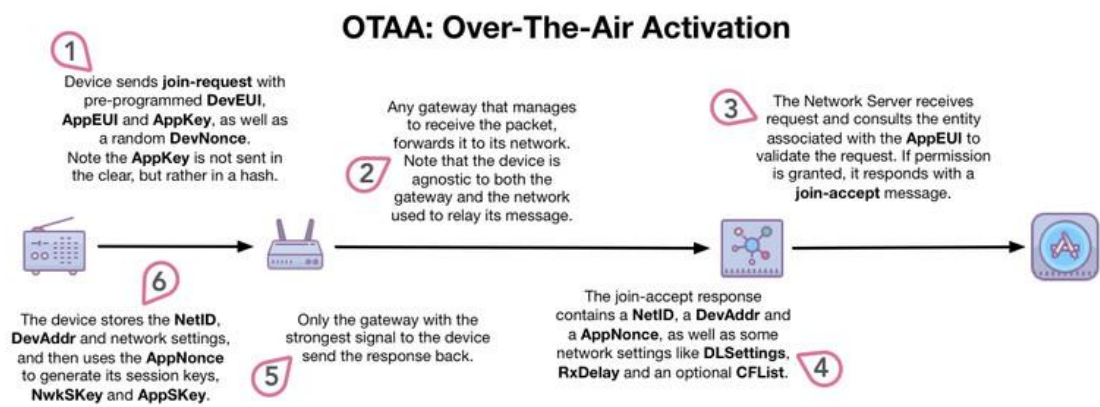
2.1.15.1 OTAA

La activación por aire (OTAA, por sus siglas en inglés) es un método de activación utilizado en redes LoRa WAN que permite a un dispositivo final registrarse y conectarse a una red LoRa WAN de forma segura. En el proceso de OTAA, el dispositivo final realiza una "solicitud de unión" (Join Request) a la puerta de enlace más cercana. Esta solicitud contiene información específica del dispositivo, como su identificador único global (DevEUI) y otros parámetros de configuración.

La puerta de enlace recibe la solicitud de unión y la envía al servidor de red en la nube para su procesamiento. El servidor de red autentica y verifica la solicitud del dispositivo final utilizando las claves de seguridad previamente establecidas, como la AppKey y la NwkKey. Si la solicitud es válida, el servidor de red genera y envía una "respuesta de unión" (Join Accept) al dispositivo final a través de la puerta de enlace.

El dispositivo final recibe la respuesta de unión, que contiene información necesaria para establecer una conexión segura con la red LoRaWAN, como las claves de sesión de red (NwkSKey) y de sesión de aplicación (AppSKey). Estas claves son utilizadas posteriormente para cifrar y descifrar los datos transmitidos entre el dispositivo final y la red LoRa WAN.

La activación por aire OTAA ofrece ventajas en términos de seguridad, ya que utiliza claves de seguridad únicas para cada dispositivo final y establece una conexión segura con la red LoRa WAN. Además, permite la administración centralizada de las claves de seguridad y ofrece una mayor flexibilidad en la gestión de dispositivos en la red Lora WAN.



Fuente: The Things Network

Figura 2-16 Activación por aire OTTA

- 1) El dispositivo envía una solicitud de unión con DevEUI, AppEUI y AppKey preprogramados.
- 2) Cualquier puerta de enlace que logra recibir el paquete de datos, lo reenvía a su red.
- 3) El servidor de red recibe la solicitud y consulta la identidad asociada a la AppEUI para validar la solicitud. Si se concede el permiso, responde con un mensaje de aceptación de unión.
- 4) La respuesta de aceptación de unión contiene un NetID, un DevAddr y un AppNonce, así como también algunas configuraciones de red como DLSettings, RxDelay y un CFList opcional.
- 5) La puerta de enlace (Gateway) que posea la señal más fuerte, envía la respuesta al End Device.
- 6) El dispositivo final (End Device), almacena la configuración de NetID, DevAddr y red. Luego usa la AppNonce para generar sus claves de sesión (NwkSKey y AppKey).

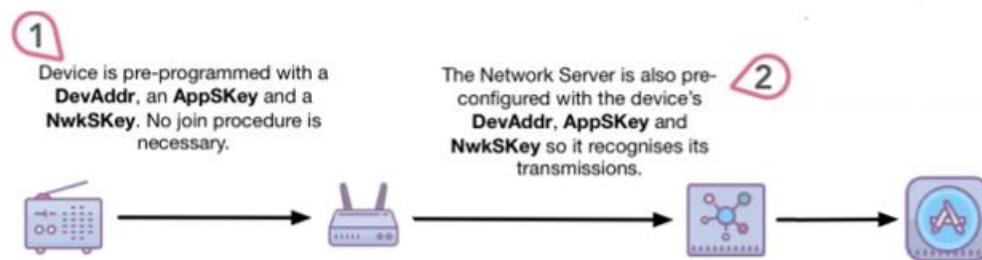
2.1.15.2 ABP

En el método de activación ABP (Activation by Personalization) en redes LoRa WAN, el dispositivo final es programado con anticipación con las claves de sesión de red (NwkSKey) y de aplicación (AppSKey), así como con otros parámetros de configuración, como el DevAddr y los contadores de tramas (FCntUp y FCntDown). Estos valores son preconfigurados en el dispositivo durante la fase de fabricación o programación.

Una vez que el dispositivo se activa, se comunica directamente con la puerta de enlace y el servidor de red sin tener que realizar un proceso de unión o solicitud de activación. Esto significa que el dispositivo ya tiene las claves de sesión necesarias para cifrar y descifrar los mensajes, así como para verificar la integridad y autenticidad de los paquetes de datos.

El método ABP ofrece una activación más rápida y simplificada en comparación con el OTAA, ya que no requiere el proceso de unión con el servidor de red. Sin embargo, también implica que las claves de sesión y otros parámetros de configuración son programados previamente en el dispositivo, lo que puede presentar un riesgo de seguridad si no se manejan adecuadamente. Por lo tanto, se recomienda utilizar el método ABP solo en casos donde la seguridad y la confidencialidad de las claves de sesión puedan ser garantizadas de manera adecuada, como en aplicaciones con dispositivos de confianza en entornos controlados. Es importante seguir las mejores prácticas de seguridad y gestión de claves al implementar el

método ABP para garantizar la protección adecuada de los datos transmitidos en la red LoRa WAN.



Fuente: The Things Network

Figura 2-17 Activación ABP

- 1) El dispositivo final (End Device) está preprogramado con DevAddr, AppSKey y NwkSKey.
- 2) El servidor de red también se programa con la NwkSKey del DevAddr, AppSKey. Con esta configuración se permite que reconozca al dispositivo final y logre aceptar los paquetes de datos enviados.

2.2 SELECCIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE

La selección del hardware y software adecuado es un proceso crítico que requiere validar múltiples aspectos técnicos. En este sentido, se debe evaluar la elección de los sensores (dispositivos finales o End Device), las puertas de enlace (Gateway), como también en el aspecto de software, se debe elegir un servidor de aplicaciones adecuado a las necesidades del proyecto para una correcta visualización de los datos extraídos.

2.2.1 Selección de hardware

En esta sección se seleccionarán los componentes físicos de la red, tales como puertas de enlace, sensor de flujo, medidor de energía eléctrica, sensor de temperatura y microcontroladores.

2.2.1.1 Gateway

El Gateway LG308 de Dragino es un dispositivo de red de comunicación inalámbrica LoRa que opera en la banda de frecuencia de 868/915 MHz. Este Gateway está diseñado para ser utilizado como un punto de acceso centralizado para recibir y transmitir datos de dispositivos

finales LoRa en una red de monitoreo. El LG308 cuenta con múltiples interfaces de red, incluyendo Ethernet, Wi-Fi y 3G/4G, lo que permite una conectividad versátil y flexible con diferentes opciones de conectividad a la red de monitoreo.

El LG308 de Dragino utiliza el protocolo de red Lora WAN, lo que le permite comunicarse con dispositivos finales Lora WAN en su área de cobertura. Este Gateway es capaz de recibir datos de múltiples dispositivos finales LoRa de forma simultánea y enviarlos a un servidor de red en la nube a través de su interfaz de red seleccionada. Además, el LG308 cuenta con características de seguridad avanzadas, como cifrado de datos y autenticación de dispositivos, para garantizar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos.

El LG308 es un dispositivo de Gateway de alto rendimiento, con capacidad para manejar un alto volumen de tráfico de datos de dispositivos finales LoRa en una red de monitoreo. Su diseño robusto y sus características técnicas avanzadas lo convierten en una opción ideal para aplicaciones de monitoreo industrial, agrícola, ambiental y otras aplicaciones que requieren una comunicación inalámbrica confiable y de largo alcance.



Fuente: Dragino.com

Figura 2-18 Puerta de enlace o Gateway Dragino

Sus características principales son:

Tabla 2-2 Características de Gateway LG308 Dragino

Característica	Descripción
Modelo	LG308
Fabricante	Dragino
Frecuencia de operación	868/915 [MHz]
Protocolo de red	LoRaWan
Interfaces de red	Ethernet, Wi-Fi, 3G/4G
Capacidad de recepción de datos	Recepción simultánea de múltiples dispositivos LoRa (1000 dispositivos aproximadamente)
Conectividad a la nube	Envío de datos a un servidor de red en la nube
Seguridad	Cifrado de datos, autenticación de dispositivos
Rendimiento	Alto rendimiento para manejar un alto volumen de tráfico de datos
Diseño	Robusto y confiable
Aplicaciones	Monitoreo industrial, agrícola, ambiental, entre otros.

Fuente: Hoja de datos LG308, Dragino.com

2.2.1.2 Sensor de flujo

El sensor de flujo SW3L de Dragino es un dispositivo de monitoreo de flujo de agua que cuenta con características técnicas avanzadas. Este sensor opera en la banda de frecuencia Lora WAN, lo que permite una comunicación inalámbrica de larga distancia con una red Lora WAN existente.

El SW3L está equipado con un sensor de flujo de alta precisión que utiliza la tecnología de medición basada en el efecto hall para detectar con precisión la velocidad y el volumen de flujo de agua en una tubería. El sensor cuenta con una amplia gama de medición que puede ser configurada para adaptarse a diferentes necesidades de aplicación.

Además, el sensor SW3L está diseñado para funcionar con bajo consumo de energía, lo que permite una larga vida útil de la batería. También cuenta con una interfaz de usuario sencilla y amigable para la configuración y calibración del sensor.

El sensor está equipado con una batería de 8500 [mAh], con lo cual su vida útil puede llegar fácilmente hasta los 10 años sin recambio, esto puede variar dependiendo el periodo de envío de datos (Up Link).



Fuente: Dragino.com

Figura 2-18 Sensor de flujo SW3L Dragino

Para este sensor SW3L, Dragino desarrolló 3 versiones, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 2-3 Características de sensores SW3L

Modelo Sensor	Diámetro	Cantidad de pulsos	Equivalencia en litros
SW3L - 004	1/2"	450	1
SW3L - 006	3/4"	390	1
SW3L - 010	1"	64	1

Fuente: Hoja de datos SW3L, Dragino.com

Tomando en cuenta los requerimientos del sistema, específicamente para la medición del consumo hídrico, se seleccionará el sensor SW3L – 010.

2.2.1.3 Medidor de energía eléctrica

El medidor de energía eléctrica AWD ADL de Acrel es un dispositivo electrónico diseñado para la medición precisa de la energía eléctrica en sistemas trifásicos. Posee una carcasa robusta y resistente a impactos y a la intemperie, lo que lo hace adecuado para su uso en entornos industriales y comerciales. Además, cuenta con varios protocolos de comunicación, entre ellos RS485 y LoRa, lo que permite la transmisión a larga distancia.

Sus características técnicas son:

Tabla 2-4 Características de medidor de energía eléctrica AWD ADL

Característica	Especificación
Tipo	Medidor de energía eléctrica trifásica
Marca	Acrel
Modelo	AWD ADL
IP	54
Protocolos de comunicación	RS485 y LoRa
Rango de medición de tensión	0 a 500 [V]
Presición de medición de energía	0,50%
Frecuencia de muestreo	120 veces por segundo
Pantalla	LCD retroiluminada
Medición de otros parámetros	Voltaje, corriente y frecuencia

Fuente: Hoja de datos AWD ADL, aliexpress.com

Se seleccionó el medidor de energía eléctrica trifásico de la marca Acrel, modelo AWD ADL, porque ofrece una amplia gama de características técnicas que lo hacen adecuado para un proyecto de monitorización de variables con LoRa.

En primer lugar, la carcasa robusta y resistente a impactos y a la intemperie del medidor lo hace ideal para su uso en entornos industriales. Además, el medidor cuenta con la capacidad de comunicarse a través de RS485 y LoRa, lo que facilita la integración con otros sistemas de monitorización.

El rango de medición de voltaje de 0 a 500V permite su uso en una amplia variedad de aplicaciones, y la precisión de medición de energía del 0.5% asegura la obtención de datos precisos. Además, la frecuencia de muestreo de 120 veces por segundo permite una monitorización en tiempo real de los parámetros de energía.

La pantalla LCD retroiluminada del medidor ofrece una visualización clara y fácil de usar de los datos, y la memoria incorporada permite el almacenamiento de datos históricos para su análisis posterior. Finalmente, la capacidad de medición de otros parámetros como el voltaje, corriente y frecuencia lo hacen una solución completa para la monitorización de variables eléctricas.



Fuente: Aliexpress.com

Figura 2-20 Medidor de energía eléctrica AWD ADL

2.2.1.4 Sensor de temperatura

El sensor Dragino LTC2 Lora WAN es un dispositivo diseñado para la monitorización de variables eléctricas en un entorno industrial. Este sensor cuenta con una carcasa resistente y robusta que lo hace apto para su uso en ambientes difíciles.

El Dragino LTC2 Lora WAN cuenta con una amplia gama de características técnicas que lo hacen adecuado para una amplia variedad de aplicaciones. En primer lugar, cuenta con una conectividad Lora WAN, lo que permite la transmisión de datos a larga distancia sin la necesidad de una conexión directa a una red Ethernet o Wi-Fi. Además, el sensor cuenta con la capacidad de medición de voltaje, corriente y frecuencia, lo que permite una monitorización completa de las variables eléctricas.

La precisión de medición de voltaje y corriente es del 1%, lo que garantiza la obtención de datos precisos y confiables. Además, la frecuencia de muestreo de 120 veces por segundo permite una monitorización en tiempo real de los parámetros de energía.

Finalmente, el Dragino LTC2 Lora WAN cuenta con una batería recargable incorporada que permite su uso en entornos sin acceso a la red eléctrica, lo que lo hace adecuado para una amplia variedad de aplicaciones de monitorización de energía eléctrica. En resumen, el Dragino LTC2 Lora WAN es una solución completa y confiable para la monitorización de variables eléctricas en un entorno industrial.



Fuente: Dragino.com

Figura 2-21 Medidor de temperatura LTC2 Dragino

El sensor de temperatura posee las siguientes características:

Tabla 2-5 Características de medidor de temperatura LTC2 Dragino

Características técnicas
LoRaWan v10.3 Clase A
Soporte PT100 de 3 hilos
Batería Li-SOC2 de 8500 [mAh]
Montable en pared
IP 68

Fuente: Hoja de datos LTC2, Dragino.com

2.2.2 Selección de software

La elección de programas para el diseño de redes es una tarea crucial en el ámbito de las tecnologías de la información y la comunicación. Estos programas brindan a los profesionales herramientas y funciones especializadas que les permiten planificar, configurar y optimizar redes informáticas con eficiencia y seguridad. Con características como la simulación y análisis de redes, estos programas son esenciales para crear redes robustas y funcionales.

Por otro lado, contar con un software adecuado para la visualización de datos recopilados por los dispositivos de la red fundamental. El objetivo de estos programas o plataformas web es ofrecer una interfaz intuitiva y amigable que permita representar

gráficamente los datos en tiempo real o a partir de registros almacenados. Además, facilitan la realización de análisis detallados o la generación de informes para comprender de mejor manera los datos obtenidos por los sensores.

2.2.2.1 Selección de plataforma web

En la actualidad, existen una gran cantidad de plataformas web disponibles para la monitorización con LoRa (Long Range), como Ubidots, Grafana y Thingspeak. La selección de la plataforma adecuada para un proyecto es un proceso importante que puede afectar el éxito de la implementación. Para determinar cuál es la mejor opción, es necesario evaluar cuidadosamente varios factores, como los requisitos específicos del proyecto, el presupuesto, la escalabilidad y la compatibilidad con los dispositivos y sensores existentes.

En esta evaluación, se deben considerar las características y funcionalidades ofrecidas por cada plataforma, así como las opiniones y recomendaciones de expertos en la materia. Una vez se han evaluado estos factores, se puede tomar una decisión informada y seleccionar la plataforma web que mejor se adapte a las necesidades del proyecto.

2.2.2.2 Ubidots

Es una plataforma basada en la nube que ofrece servicios de visualización de datos y análisis en tiempo real para aplicaciones de internet de las cosas (IOT). La plataforma permite a los usuarios crear paneles de visualización personalizados para representar datos en tiempo real proveniente de sensores y otros dispositivos conectados. Ubidots ofrece capacidades de análisis básicas, como cálculos de promedios, mínimos, máximos y sumas, así como la capacidad de establecer umbrales de alerta y notificaciones basadas en reglas predefinidas. Además, Ubidots permite la integración con una variedad de dispositivos y protocolos de comunicación, como MQTT, HTTP, Modbus y otros, lo que la hace compatible con una amplia gama de sistemas de sensores y dispositivos IOT.



Fuente: Ubidots.com

Figura 2-22 Logo de plataforma Ubidots

2.2.2.3 Grafana

Grafana es una plataforma de visualización y análisis de datos de código abierto que permite a los usuarios crear y compartir paneles y gráficos personalizados con sus datos.

Esta plataforma se puede integrar con una amplia gama de fuentes de datos, incluyendo bases de datos de series de tiempo, como InfluxDB, y proveedores de datos en la nube, como Google Cloud Platform y Amazon Web Services. Con Grafana, los usuarios pueden crear dashboards dinámicos y atractivos que incluyen elementos como gráficos, tablas, alertas y métricas en tiempo real. Además, Grafana ofrece una amplia variedad de plugins que se pueden instalar para agregar funcionalidades adicionales, como la integración con aplicaciones externas, como Slack. La plataforma Grafana es una herramienta valiosa para cualquier organización que desee visualizar y analizar sus datos en tiempo real y tomar decisiones informadas.



Fuente: Grafana.com

Figura 2-23 Logo de plataforma Grafana

2.2.2.4 Thingspeak

Thingspeak es una plataforma en la nube que permite a los usuarios recopilar, analizar y visualizar datos en tiempo real. Esta plataforma es especialmente útil para aplicaciones de Internet de las cosas (IOT), ya que permite la conexión de dispositivos IOT y la transmisión de datos a través de protocolos de comunicación como HTTP y MQTT.

Con Thingspeak, los usuarios pueden crear canales para almacenar sus datos y luego visualizarlos en gráficos y tablas en tiempo real. Además, Thingspeak ofrece herramientas para analizar y procesar los datos, como la integración con MATLAB para el análisis y la manipulación de datos. La plataforma Thingspeak es fácil de usar y configurar, lo que la hace ideal para proyectos de IOT y aplicaciones de monitoreo de datos en tiempo real.

Posee una amplia integración con dispositivos de hardware y software, los cuales se detallan a continuación:

- Arduino
- Raspberry Pi
- IoBridge/RealTime.io
- Electric Imp
- Móviles/aplicaciones web
- Redes sociales
- Análisis de datos con MATLAB



Fuente: thingspeak.com

Figura 2-24 Logo de plataforma ThingSpeak

2.2.3 Evaluación de alternativas para plataforma web

Ubidots es una plataforma robusta y fácil de usar, con una amplia gama de herramientas para la recopilación, análisis y visualización de datos. Sin embargo, su precio puede ser un factor limitante para algunos proyectos.

Grafana es una herramienta de análisis de datos altamente personalizable y avanzada, con una amplia gama de paneles y plugins disponibles. Sin embargo, su curva de aprendizaje puede ser mayor que la de otras plataformas y puede requerir una mayor inversión de tiempo para aprender a usarla efectivamente.

Por otro lado, Thingspeak es una plataforma fácil de usar y configurar, que ofrece una amplia gama de herramientas para la visualización de datos en tiempo real. Además, Thingspeak es una plataforma de bajo costo que es accesible para proyectos con presupuestos limitados.

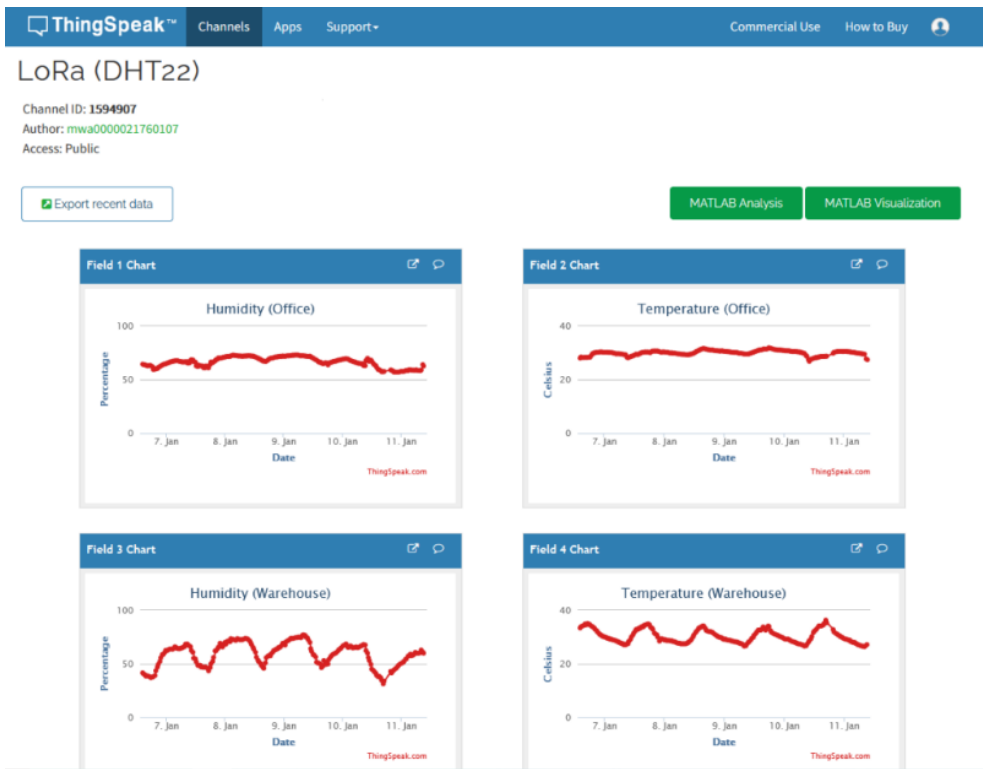
A continuación, se presenta una tabla con las características y funcionalidades principales de las plataformas mencionadas anteriormente:

Tabla 2-6 Comparativa de plataformas Web

Características	Grafana	Ubidots	ThingSpeak
Soporte de datos en tiempo real	Sí	Sí	Sí
Personalización de paneles de visualización	Muy alta	Alta	Alta
Integración con múltiples fuentes de datos	Sí	Sí	Sí
Capacidad de almacenamiento de datos	Depende de la fuente de da	Hasta 30 días	Ilimitada
Herramientas de análisis y transformación de datos	Sí	Sí	Sí
Notificaciones y alertas	Sí	Sí	Sí
Capacidad de compartir paneles y visualizaciones	Sí	Sí	Sí
Integración con sistemas de automatización y control	Sí	Sí	Sí
Escalabilidad y rendimiento	Alta	Alta	Muy alta
Comunidad y soporte	Amplia comunidad y soporte	Comunidad y soporte limitados	Comunidad y soporte activos
Precio	Gratuito y opciones comerciales	Opciones comerciales	Gratuito y opciones comerciales
Conclusión	Amplias funcionalidades y personalización, pero con limitaciones de almacenamiento de datos	Ofrece funcionalidades básicas y limitaciones de almacenamiento de datos	Ofrece funcionalidades avanzadas, almacenamiento ilimitado de datos y comunidad activa

Fuente: Creación propia

En resumen, Thingspeak es la mejor opción para este proyecto de IOT y monitoreo de datos en tiempo real, debido a su facilidad de uso, accesibilidad y amplia gama de herramientas para la visualización de datos en tiempo real.



Fuente: thingspeak.com/examples

Figura 2-25 Ejemplo de Dashboard en ThingSpeak

2.3 UBICACIONES DE COMPONENTES DE RED

En la actualidad el campamento de la Minera El Peñón posee un área de 134.506 [m²], en donde se encuentran 17 módulos, entre ellos, dormitorios, enfermería, casinos y salas de entretenimiento.

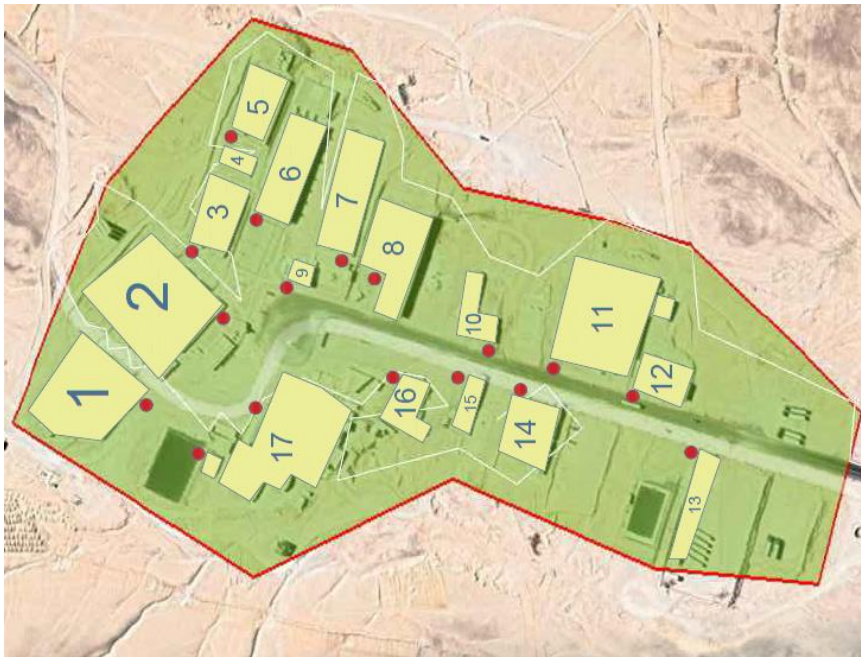
La siguiente tabla muestra los nombres de cada uno de ellos:

Tabla 2-7 Módulos en faena minera El Peñón

N°	Nombre Módulo
1	Magenta
2	Amarillo
3	Sala recreación
4	Campana
5	Dominador 1
6	Dominador 2
7	Providencia
8	Hotel minero
9	W128
10	Proyecta
11	Bonanza
12	Paisaje
13	Cerro tostado
14	Valle
15	Escarlata
16	Cerro fortuna
17	Casino principal

Fuente: Creación propia

2.3.1 Imagen de ubicación de módulos



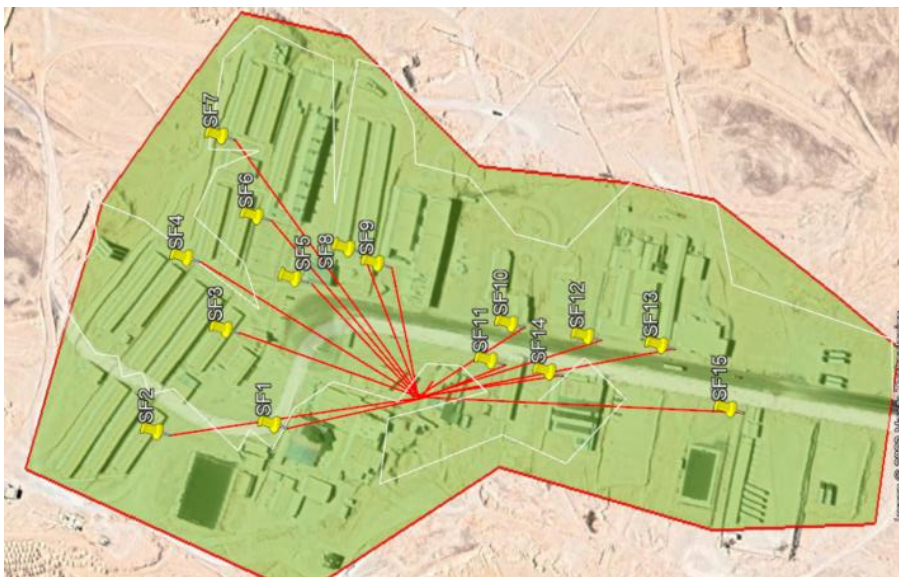
Fuente: Google Earth

Figura 2-26 Ubicación y numeración de módulos

2.3.2 Ubicación de sensores de flujo

Se proyectan 15 sensores de flujo en todo el campamento, los cuales medirán los consumos de agua en cada módulo. Cada sensor tiene un diámetro de 1” y puede medir alrededor de 60 [L/min].

Las ubicaciones exactas de los sensores de flujo (SF), se detalla a continuación:



Fuente: Google Earth

Figura 2-27 Ubicación de sensores de flujo

2.3.3 Ubicación de sensores de energía

A diferencia de los medidores de flujo, solo se proyectarán tres medidores de energía eléctrica, debido a que, dentro del campamento, hay 3 tableros eléctricos que suplen el todo el consumo de energía eléctrica.

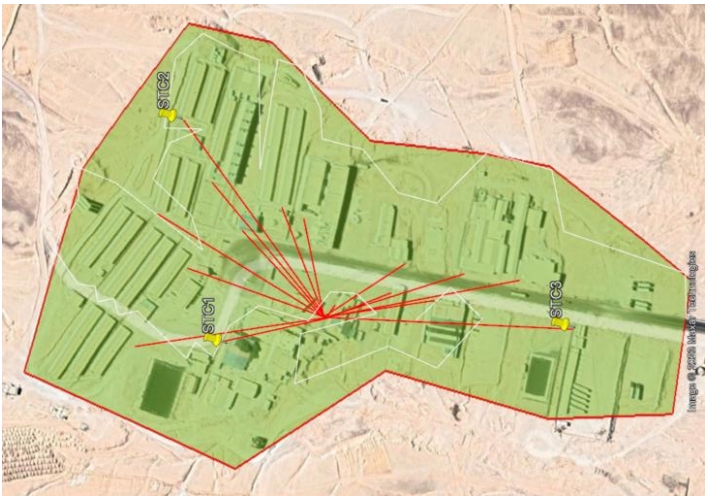
Los módulos que abarcan cada sensor de energía eléctrica se detallan a continuación:

Tabla 2-8 Ubicación de medidores de energía eléctrica

Medidor de energía eléctrica	Ubicación
ME1	Magenta
	Amarillo
	Cerro fortuna
	Casino
ME2	Campana
	Dominador 1
	Dominador 2
	Providencia
	Hotel minero
	W128
	Proyecta
	Bonanza
ME3	Paisaje
	Cerro tostado
	Valle
	Escarlata

Fuente: Creación propia

La ubicación de los medidores de energía eléctrica se detalla a continuación:



Fuente: Google Earth

Figura 2-28 Ubicación de medidores de energía eléctrica

2.3.4 Ubicación de sensor de temperatura

La ubicación de los sensores de temperatura se proyectará en 2 sectores del campamento, como se detalla a continuación:



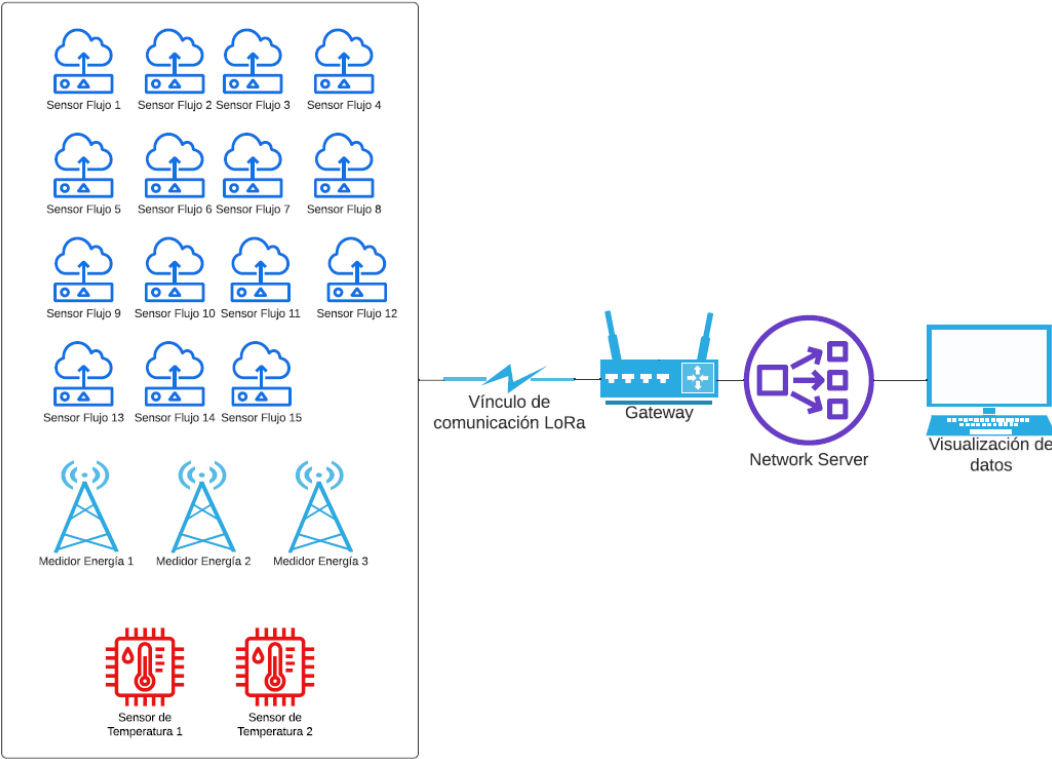
Fuente: Google Earth

Figura 2-29 Ubicación de sensores de temperatura

2.4 DIAGRAMA DE RED

A continuación, se presenta un diagrama de red el cual se proyecta para la visualización y gestión de datos adquiridos por los diversos sensores. La implementación de esta infraestructura se llevará a cabo mediante una arquitectura de red de área local (LAN) que consta de una topología de red en estrella.

Cada sensor estará ubicado en una posición estratégica para capturar los datos relevantes para el monitoreo del sistema. Los datos recopilados por los sensores serán enviados a dispositivos de procesamiento de datos (en este caso el Gateway) a través de una conexión de red local inalámbrica utilizando como medio de comunicación LoRa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-30 Diagrama de red

2.5 CONEXIÓN Y CONFIGURACIÓN

En esta sección se abordarán los pasos esenciales que se deben seguir para asegurar una correcta configuración y registro en la red, así como la programación necesaria para su funcionamiento adecuado.

El proceso de conexión y configuración de una red consta de varios pasos interconectados. En primer lugar, es crucial seleccionar los componentes adecuados para la red, como los dispositivos finales (End Devices), las estaciones base (Gateways) y los servidores de red. Cada uno de estos componentes tiene especificaciones técnicas y requisitos de configuración, los cuales se detallaron en la sección anterior.

Una vez que se hayan seleccionado los componentes apropiados, es importante seguir los procedimientos específicos para su configuración. Esto puede incluir la asignación de direcciones de red, la configuración de las claves de seguridad para proteger la comunicación, la selección de las frecuencias de operación y la configuración de los parámetros de red, como la potencia de transmisión y la velocidad de datos. Es fundamental asegurarse de que todas las configuraciones sean coherentes y estén correctamente establecidas en todos los componentes de la red.

Además, es esencial llevar a cabo un registro adecuado de los componentes en la red. Esto puede implicar la creación de cuentas de usuario en los servidores de red, la asignación de identificadores únicos a los dispositivos finales y la verificación de la conectividad entre los componentes de la red. Un registro preciso y completo es fundamental para garantizar un funcionamiento sin problemas de la red y una gestión efectiva de los dispositivos.

Por último, la programación es un aspecto clave en la configuración de una red. Esto implica la codificación y configuración del firmware en los dispositivos finales y la configuración de reglas de transmisión y recepción en las estaciones base y los servidores de red. La programación adecuada permite el intercambio eficiente de datos entre los componentes de la red y asegura un funcionamiento correcto de la red en general.

En resumen, el proceso de conexión y configuración de una red abarca la selección adecuada de componentes, la configuración precisa de los parámetros de red, el registro completo de los componentes y la programación adecuada de los dispositivos. Es esencial seguir los procedimientos adecuados y garantizar una configuración coherente y precisa para asegurar un funcionamiento exitoso de la red de comunicaciones.

2.5.1 Conexión de dispositivos finales

A continuación, se expondrán las conexiones de los dispositivos finales o end device, dentro de los cuales están los sensores de flujo, sensores de temperatura y medidores de energía eléctrica.

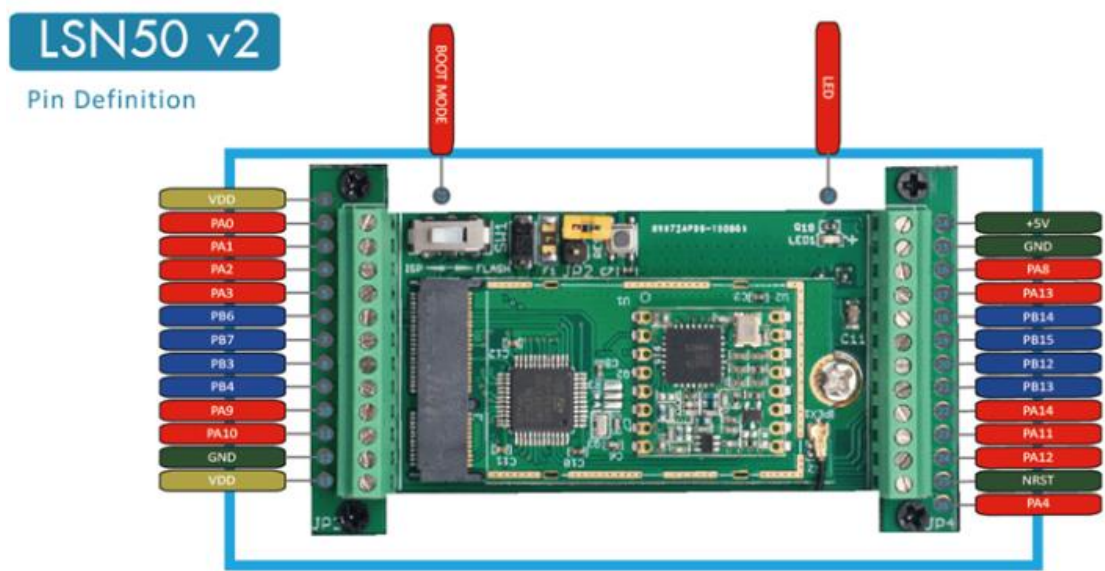
2.5.1.1 Conexión de sensores de flujo

En primer lugar, es importante realizar la instalación del sensor de flujo de manera adecuada en las tuberías de agua donde se necesite su funcionamiento. Esto implica seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante para asegurarse de que el sensor esté colocado en la posición correcta y de acuerdo con las especificaciones del sistema en el que se va a utilizar.

Una vez que el sensor de flujo esté correctamente instalado, se debe abrir la tapa posterior de la caja del sensor. Esto puede implicar retirar cualquier cubierta o protección que tenga el sensor para acceder a la parte posterior. Es importante hacerlo con cuidado para evitar dañar el sensor o cualquier otro componente del sistema.

Una vez que se tenga acceso a la parte posterior del sensor de flujo, se debe conectar un puente en los pines JP2. Estos pines son puntos de conexión que permiten establecer una conexión eléctrica entre diferentes componentes del sensor. Es necesario seguir las indicaciones del fabricante o de las instrucciones del sistema para asegurarse de conectar el puente de manera adecuada, evitando cualquier error o malentendido.

La conexión del puente en los pines JP2 es un paso importante en el proceso de instalación del sensor de flujo, ya que permite que el sensor funcione correctamente y se integre adecuadamente en el sistema en el que se está utilizando. Es importante verificar que el puente esté firmemente conectado y que no haya ninguna conexión suelta o mal posicionada que pueda afectar el rendimiento del sensor.



Fuente: Dragino.com

Figura 2-31 Conexión de sensor de flujo

En resumen, la instalación del sensor de flujo en las tuberías de agua requiere seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante, abrir la tapa posterior de la caja del sensor y conectar el puente en los pines JP2 de manera adecuada. Es esencial realizar estos pasos con precisión para asegurarse de que el sensor funcione correctamente y se integre adecuadamente en el sistema en el que se está utilizando.

2.5.1.2 Conexión de sensores de temperatura

Para asegurar un correcto funcionamiento del sensor de temperatura, es fundamental llevar a cabo una instalación precisa y adecuada en la ubicación específica donde se requiere.

medir los datos de temperatura, tal como se detalló en la sección previa. Similar a la instalación del sensor previo, se deben seguir las instrucciones del fabricante o del sistema en el que se está utilizando el sensor.

Una vez que se tenga acceso a la parte posterior del sensor de temperatura, se realiza la conexión eléctrica del mismo mediante la colocación de un puente en los pines JP2, de acuerdo con las indicaciones del fabricante o del sistema. Estos pines son puntos de conexión que permiten establecer una conexión eléctrica entre diferentes componentes del sensor. Es crucial seguir las instrucciones al pie de la letra para asegurarse de que el puente se coloque de manera adecuada y se establezca una conexión sólida y segura.

La conexión del puente en los pines JP2 es un paso crucial en el proceso de instalación del sensor de temperatura, ya que asegura que el sensor esté correctamente conectado al sistema y pueda transmitir de manera precisa y confiable los datos de temperatura requeridos. Es esencial verificar que el puente esté correctamente colocado y que no haya ninguna conexión suelta o mal posicionada que pueda afectar la precisión del sensor.



Fuente: Dragino.com

Figura 2-32 Conexión de sensor de temperatura

En conclusión, la instalación del sensor de temperatura requiere seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante o del sistema en el que se está utilizando, abrir la tapa posterior de la caja del sensor y realizar la conexión eléctrica mediante un puente en los pines JP2 de manera precisa. Una instalación adecuada garantiza un funcionamiento óptimo del sensor y una medición precisa de los datos de temperatura en la ubicación deseada.

2.5.1.3 Conexión de medidor de energía eléctrica

Para realizar la conexión del medidor de energía eléctrica, se debe posicionar en el tablero correspondiente en donde se realizará la medición. Una vez montado en el riel din, se deberá realizar la conexión eléctrica de los distintos componentes del medidor, tales como unión de conexiones entre diferentes pines, como también, la conexión adecuada de los transformadores de corrientes.

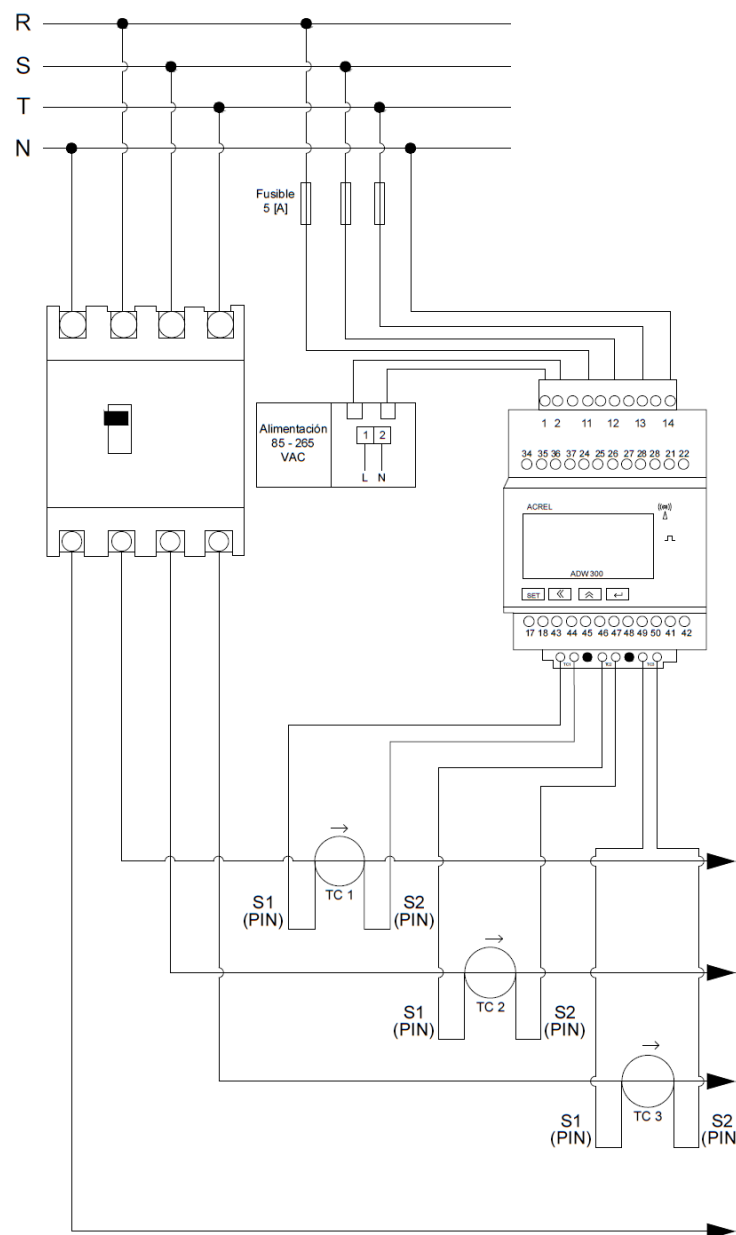
A continuación, se detalla una tabla de conexiones:

Tabla 2-9 Puntos de conexión medidor de energía eléctrica AWD ADL

	Protección	Número PIN
Fase R	Fusible 5 [A]	11
Fase S	Fusible 5 [A]	12
Fase T	Fusible 5 [A]	13
Neutro	-	14
Fase R	-	1
Neutro	-	2
TC1 (PIN 1)	-	4
TC1 (PIN 2)	-	5
TC2 (PIN 1)	-	6
TC2 (PIN 2)	-	7
TC3 (PIN 1)	-	8
TC3 (PIN 2)	-	9

Fuente: Creación propia

A continuación, se presenta un diagrama detallado de las conexiones, el cual proporciona una representación gráfica y completa de la interconexión de elementos o componentes dentro de un sistema o proceso. Este diagrama ofrece una visión más amplia y detallada de las relaciones y enlaces existentes, lo que permite comprender de manera más profunda la estructura y funcionamiento del sistema en cuestión.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-33 Diagrama de conexión para medidor de energía eléctrica

2.5.1.4 Conexión de Gateway

La conexión física del Gateway LG308 se realiza mediante la utilización de varios puertos e interfaces que permiten establecer conexiones con otros dispositivos y redes en un entorno de red. El LG308 es un dispositivo de red que actúa como un punto de acceso y control para la gestión de dispositivos IOT (Internet de las cosas) en una red Lora WAN.

En primer lugar, el Gateway LG308 cuenta con puertos Ethernet, que son utilizados para establecer conexiones cableadas con otros dispositivos o redes a través de cables Ethernet. Estos puertos Ethernet permiten la conexión a una red local o a Internet, lo que brinda al Gateway la

capacidad de conectarse con otros dispositivos o sistemas en la red y transmitir datos hacia y desde ellos.

Además, el Gateway LG308 cuenta con una antena LoRa, que es utilizada para establecer conexiones inalámbricas con dispositivos IOT que operan en la banda de frecuencia de Lora WAN. Esta antena es esencial para la comunicación de largo alcance con los dispositivos IOT que se encuentran dentro del rango de cobertura del Gateway.

El LG308 también puede contar con puertos de entrada/salida (GPIO, por sus siglas en inglés), que permiten la conexión de dispositivos externos, como sensores o actuadores, a través de conexiones físicas. Estos puertos GPIO proporcionan una interfaz para interactuar con los dispositivos IOT conectados, permitiendo la entrada de datos desde los sensores y la salida de comandos a los actuadores.

En resumen, la conexión física del Gateway LG308 se realiza mediante puertos Ethernet para la conexión cableada a una red local o a Internet, una antena LoRa para la conexión inalámbrica con dispositivos IOT en la banda de frecuencia de Lora WAN, y posibles puertos GPIO para la conexión de dispositivos externos. Estas conexiones físicas son esenciales para la comunicación y gestión de dispositivos IOT en la red Lora WAN a través del Gateway LG308.



Fuente: Dragino.com

Figura 2-34 Referencia parte trasera de Gateway Dragino

2.5.2 Configuración

Una vez que todos los componentes de la red hayan sido instalados correctamente, es crucial proceder con la configuración de cada uno de ellos de manera individual. La configuración de los dispositivos es un paso esencial en la puesta en marcha de la red, ya que garantiza el correcto funcionamiento y la comunicación adecuada entre los diferentes elementos de la red.

Para llevar a cabo la configuración de los dispositivos, es fundamental asegurarse de que estén debidamente alimentados con energía eléctrica. Esto es necesario para asegurar su pleno funcionamiento y permitir la verificación del envío de datos desde los dispositivos finales, también conocidos como end devices, hacia el Gateway.

La alimentación eléctrica de los dispositivos es un requisito esencial para habilitar la comunicación bidireccional entre los End Devices y el Gateway. Los dispositivos IOT, como sensores o actuadores, requieren de energía para realizar la transmisión de datos a través de la red. Por lo tanto, es fundamental asegurarse de que los dispositivos estén debidamente energizados para que puedan enviar y recibir datos de manera adecuada.

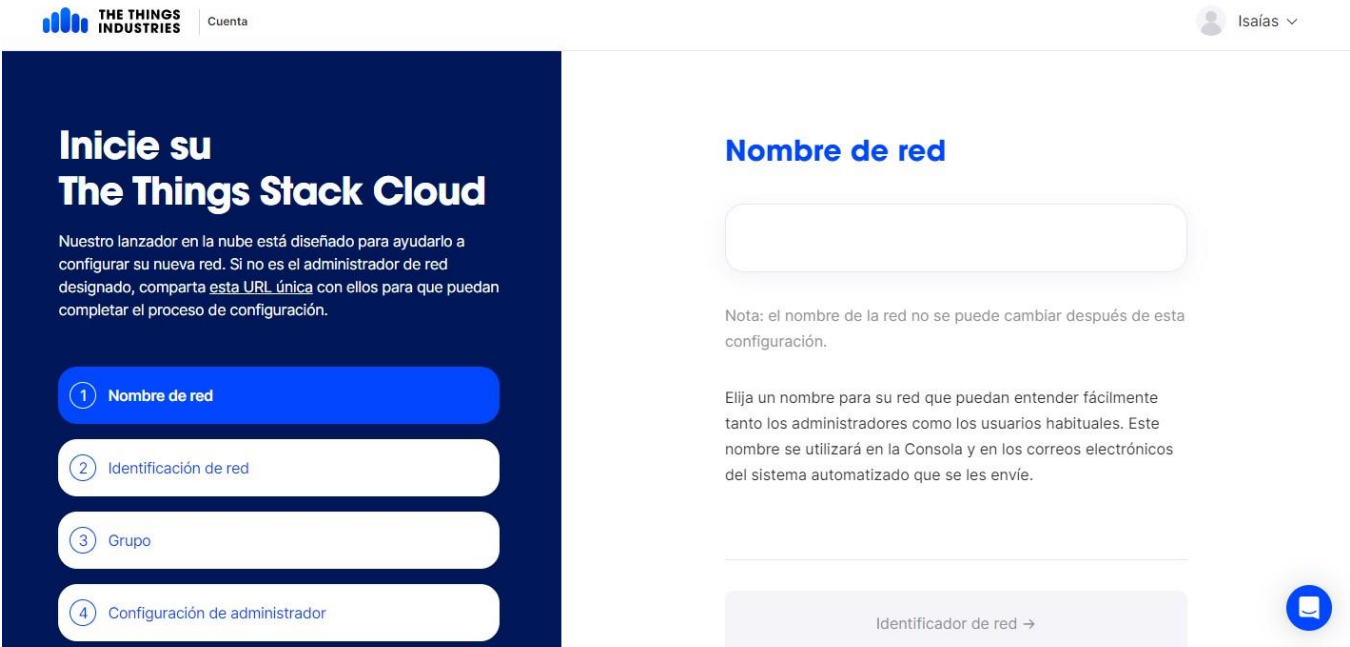
Una vez que los dispositivos estén alimentados con energía, se podrá proceder con la configuración de cada uno de ellos. Esto puede implicar la configuración de parámetros específicos, como direcciones IP, puertos de comunicación, modos de transmisión, niveles de potencia, entre otros. La configuración precisa de cada dispositivo es esencial para garantizar la correcta operación de la red en su conjunto.

En resumen, una vez que todos los componentes de la red estén instalados, la configuración de los dispositivos es un paso esencial que requiere que los dispositivos estén debidamente energizados para asegurar la transmisión de datos desde los End Devices hacia el Gateway. La configuración precisa de los dispositivos es esencial para garantizar la operación adecuada de la red y debe realizarse siguiendo las especificaciones y recomendaciones del fabricante, así como las normas y estándares aplicables.

2.5.2.1 Creación de cuenta en The Things Stack

Para lograr registrar todos nuestros dispositivos finales como también el Gateway, se debe realizar el registro en el servidor de red, el cual es “The Things Network” o también abreviado como TTN.

Una vez creado el usuario en el servidor TTN, se deberá crear la red, indicando como primer paso el nombre de la red, el cual será utilizado tanto en la consola como también en los correos electrónicos enviados desde la plataforma.

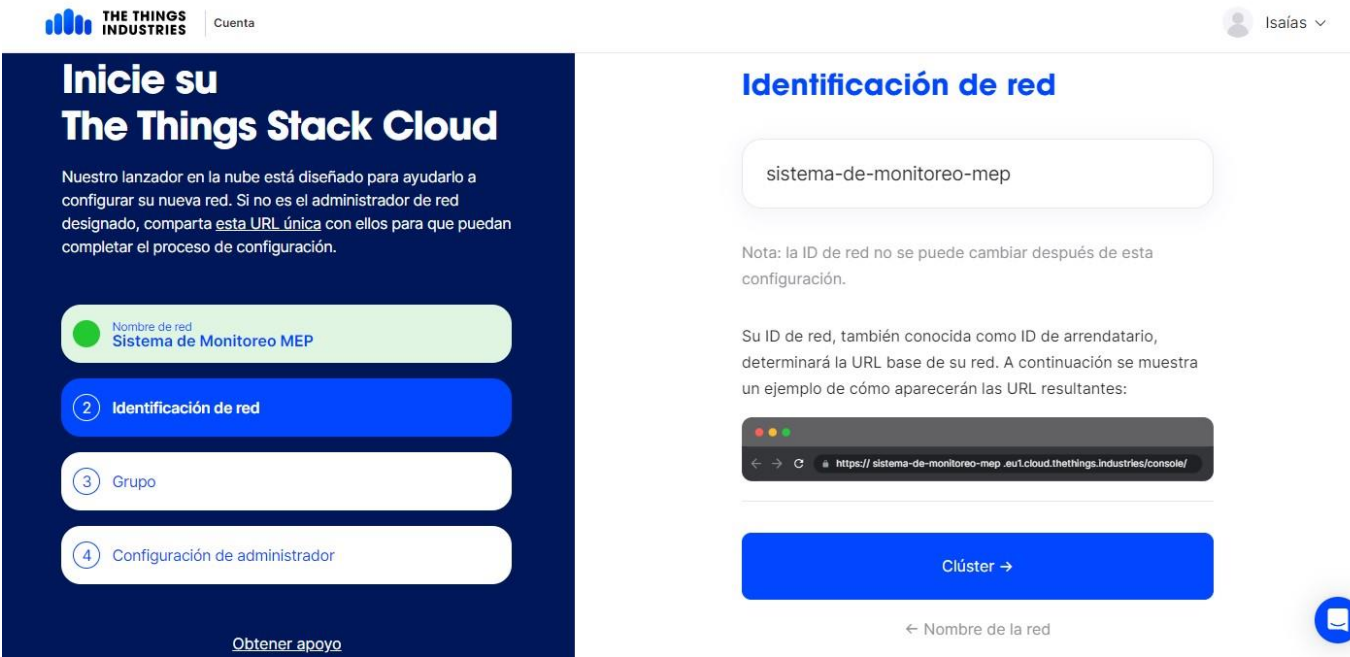


Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-35 Creación nombre de red

Una vez ingresado el nombre de la red (en este caso se le asignó el nombre “Sistema de monitore MEP”), se deberá continuar a la identificación de la red.

Una vez ingresada la identificación de la red, la plataforma TTN, entregará una url base de la red creada, como se muestra a continuación:

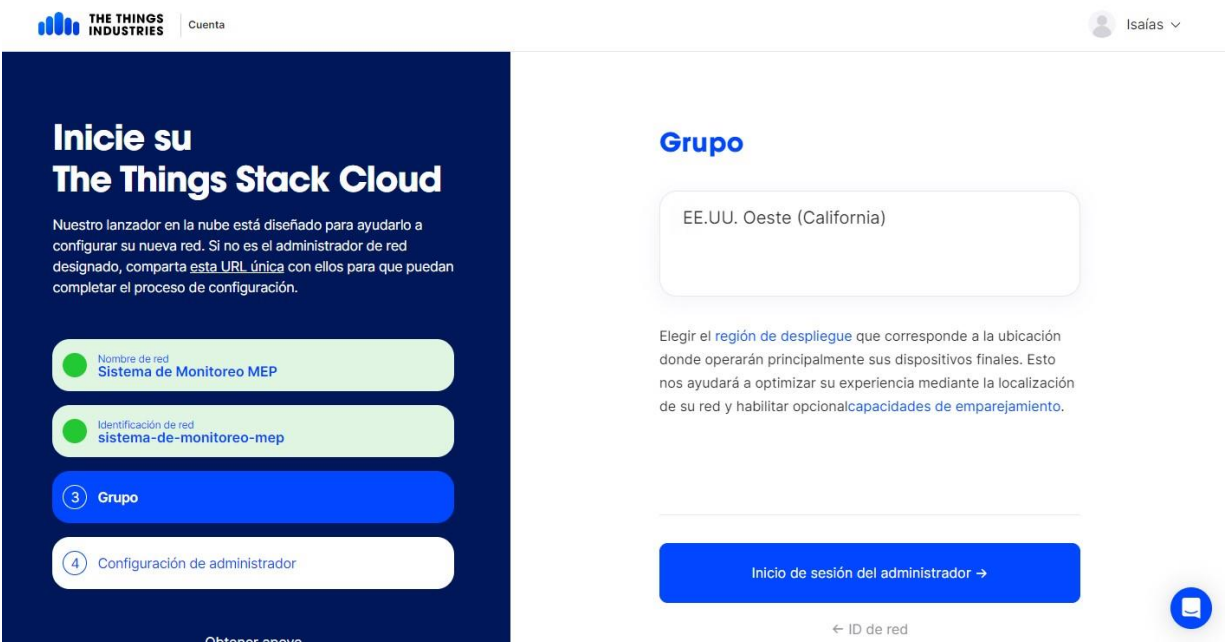


Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-36 Identificación de red

La URL base que entrega TTN, no es modificable una vez creada y servirá para ingresar directamente a la consola de la plataforma, para este caso en particular la URL base es la siguiente: <https://sistema-de-monitoreo-mep.eu1.cloud.thethingsindustries>

El siguiente paso, es elegir la región en la cual estará desplegada nuestra red, para este caso en particular se debe escoger “EE. UU. Oeste (California)”, la cual corresponde al rango de frecuencias de 902 – 928 [MHz].



Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-37 Selección de grupo de red (frecuencias)

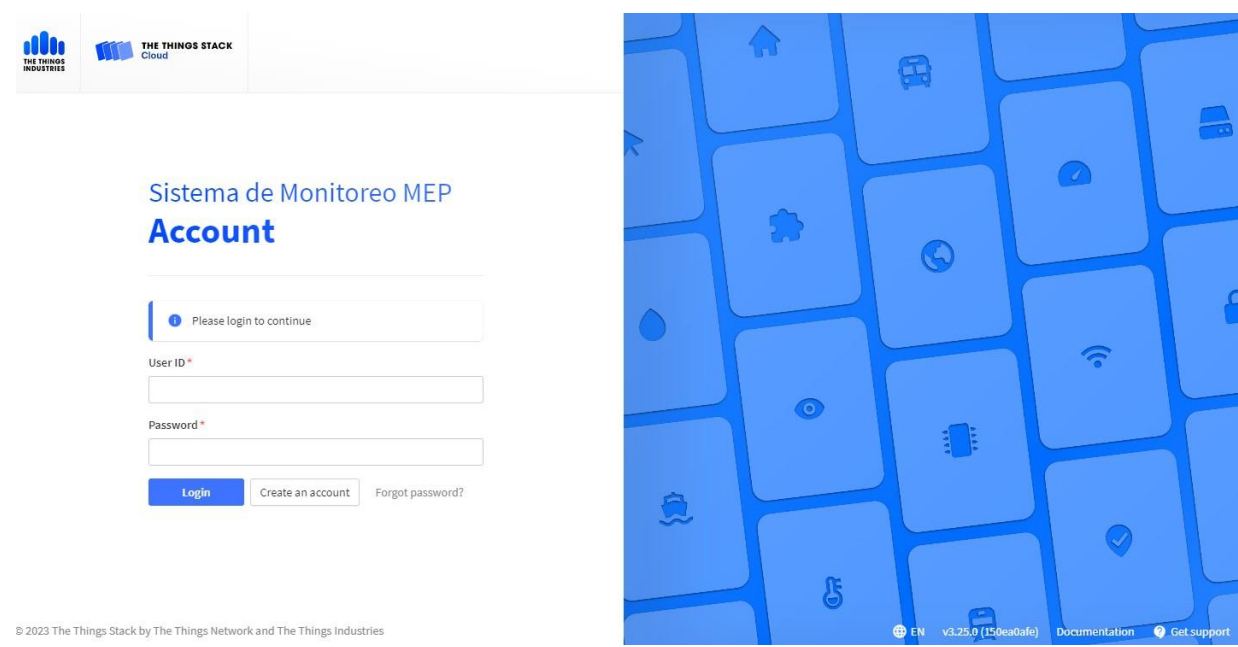
En la siguiente imagen se muestran las opciones que TTN da para escoger:



Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-38 Opciones de grupos disponibles

Como último paso, se debe iniciar sesión como administrados, con los datos registrados anteriormente.



Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-39 Página de ingreso a plataforma TTN

2.5.2.2 Creación de aplicación e ingreso

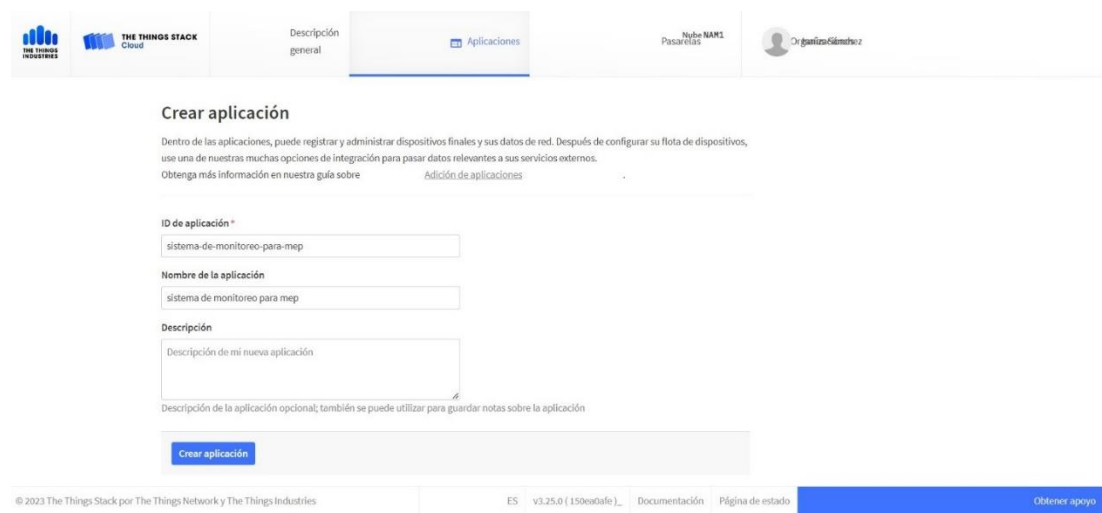
Una vez completados los pasos de la sección anterior, se debe realizar la creación de la aplicación (dentro de la cuenta de administrador). La siguiente imagen representa la pantalla de inicio luego de haber ingresado.



Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-40 Consola página principal

Se debe crear una aplicación para posteriormente realizar el registro de cada dispositivo de la red.

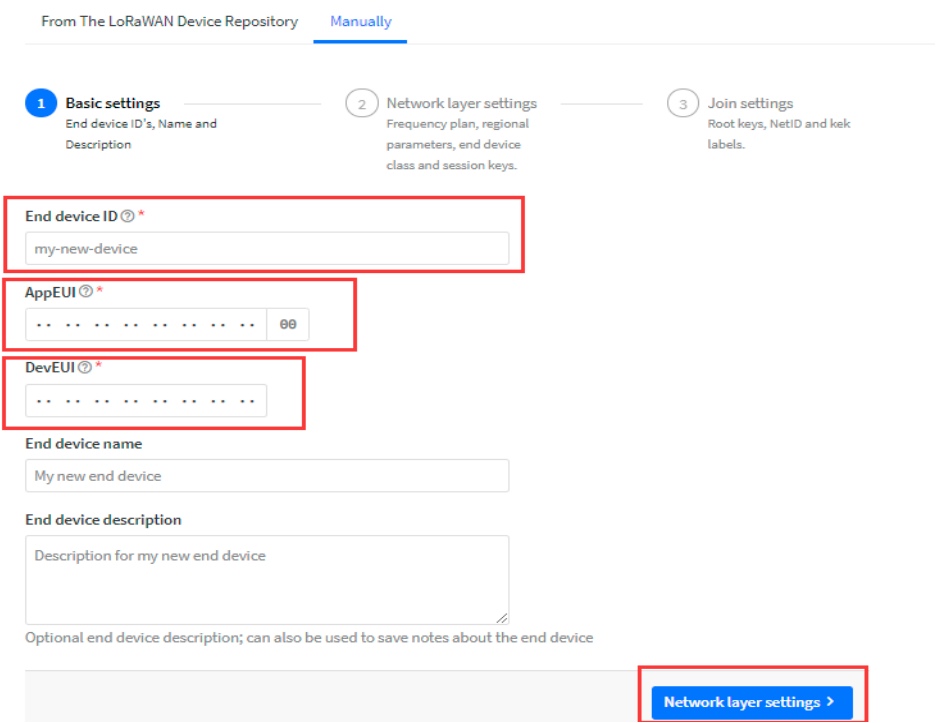


Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-41 Creación de aplicación en consola TTN

2.5.2.3 Registro de dispositivos en servidor de red

Ahora es necesario realizar el registro de cada dispositivo en la plataforma TTN, por lo cual para registrar los End Device, se deberá tener disponible el nombre del End Device (End Device ID), también se debe tener la AppEUI y por último el DevEUI.



Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-42 Registro de dispositivos en TTN

Los datos mencionados anteriormente, todos los dispositivos los traen de fábrica, como se muestra a continuación en el siguiente ejemplo:



Fuente: Dragino.com

Figura 2-43 Ejemplo de datos de fábrica de cada dispositivo

En orden correlativo, la etiqueta muestra la siguiente información:

- **DEV ADDR:** 01818548
- **DEV EUI:** A840410001818548
- **APP EUI:** 3F77ADE36BCAAB65
- **APP KEY:** S74E37E68AECFCCDB3B93D87A93B4B2C
- **APPSKEY:** C948A56F21258524BE2ED27FA8BCC8C9
- **NETSKEY:** FFA2F546BFFF65DD62FB26685A9B94F3

Lo descrito anteriormente hace referencia al primer paso para el registro de los End Device lo cual corresponde a “**Basic Settings**”.

En el siguiente paso (Network layer settings), se debe seleccionar la banda de frecuencias en la cual trabajarán los End Device’s, como también la clase correspondiente a este mismo.

From The LoRaWAN Device Repository Manually

✓ Basic settings
End device ID's, Name and Description

2 Network layer settings
Frequency plan, regional parameters, end device class and session keys.

3 Join settings
Root keys, NetID and kek labels.

Frequency plan ⓘ *

Europe 863-870 MHz (SF9 for RX2 - recommended) | ▾

LoRaWAN version ⓘ *

MAC V1.0.3 | ▾

Regional Parameters version ⓘ *

PHY V1.0.3 REV A | ▾

LoRaWAN class capabilities ⓘ

☐ Supports class B

☐ Supports class C

Advanced settings ▾

< Basic settings

Join settings >

Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-44 Selección de banda de frecuencia de End Devices

Por último, en el tercer paso, se debe ingresar la Appkey del dispositivo que se está registrando.

Applications > LTC2-V1.0 > End devices > Register manually > Join settings

Register end device

From The LoRaWAN Device Repository Manually

✓ Basic settings
End device ID's, Name and Description

✓ Network layer settings
Frequency plan, regional parameters, end device class and session keys.

3 Join settings
Root keys, NetID and kek labels.

Root keys

AppKey ⓘ *

..... | ↺

Advanced settings ▾

< Network layer settings

Add end device

Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-45 Registro de AppKey de un End Device

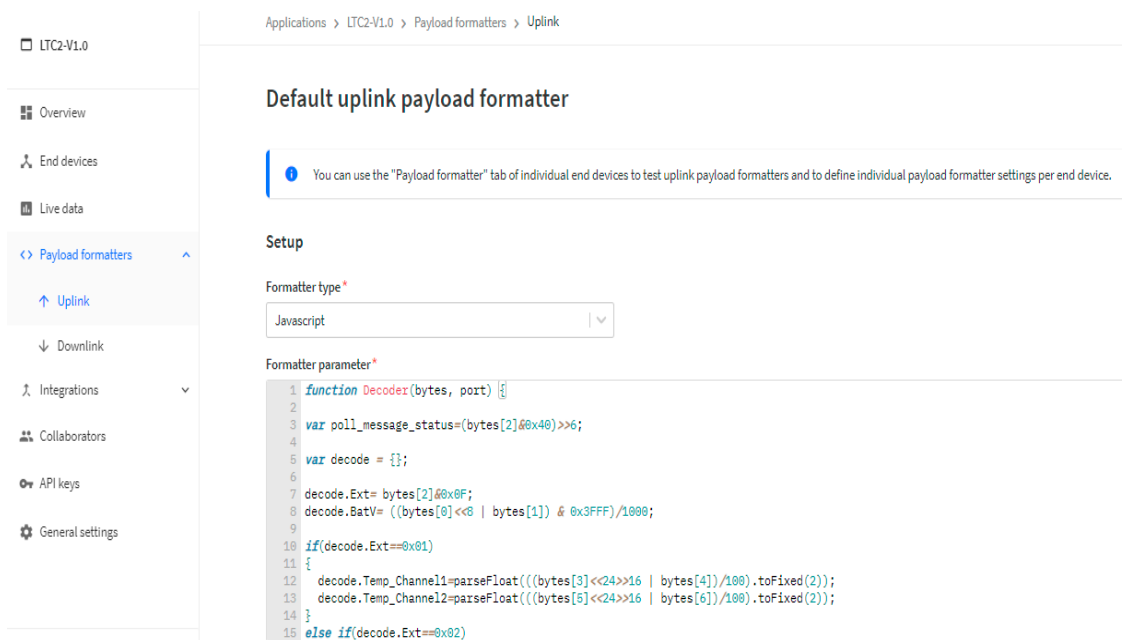
2.6 DECODIFICADOR DE CARGA

Para que The Things Network (TTN) pueda llevar a cabo la tarea de analizar y transmitir los datos recibidos de los dispositivos finales (End devices), se requiere la implementación de un código específico encargado de decodificar los paquetes de datos recibidos desde el dispositivo final, procesarlos y posteriormente transmitirlos a Thingspeak.

Este código de decodificación cumple un papel fundamental en el flujo de datos dentro de la arquitectura de TTN. Una vez que los datos son enviados por el dispositivo final, generalmente en forma de paquetes de bytes, estos datos deben ser interpretados y convertidos en un formato comprensible y utilizable por las aplicaciones o sistemas que recibirán la información.

El código de decodificación se encarga de realizar una serie de operaciones técnicas y algoritmos para extraer la información relevante contenida en los paquetes de datos. Esto implica el uso de operaciones de bits, cálculos matemáticos y manipulación de datos para obtener los valores correctos de los diferentes parámetros transmitidos por el dispositivo final.

Posteriormente, los datos procesados son transmitidos hacia ThingSpeak. La transmisión de los datos puede realizarse a través de diferentes protocolos de comunicación, como MQTT o HTTP, y se realiza siguiendo los formatos y estructuras definidas por ThingSpeak.



Fuente: Thethingsindustries.com

Figura 2-46 Código para decodificador de carga en TTN

2.6.1 Programación de decodificador

En la siguiente sección, se proporcionan tres códigos esenciales para la decodificación de los paquetes de datos provenientes del medidor de energía eléctrica, los sensores de temperatura y los sensores de flujo. Estos códigos son una herramienta crucial para el procesamiento y análisis de la información recolectada por estos dispositivos.

2.6.2 Código para medidor de energía eléctrica

El primer código está diseñado específicamente para el medidor de energía eléctrica marca Acrel modelo AWD ADL. Este dispositivo mide y registra el consumo de energía eléctrica en un determinado lugar. El código de decodificación permite interpretar los datos enviados por el medidor y extraer información relevante como el consumo de energía en (kWh). Este código es esencial para obtener una visión precisa del consumo de energía eléctrica y para llevar a cabo un monitoreo eficiente del uso de la energía. Ver en Anexo – A.

2.6.3 Código para sensor de temperatura

El segundo código es específico para los sensores de temperatura LTC2. Estos sensores miden la temperatura en distintos puntos de una instalación y transmiten datos en forma de paquetes codificados. El código de decodificación permite interpretar estos paquetes y obtener información precisa sobre la temperatura registrada en cada uno de los sensores. Esto es fundamental para monitorear y controlar la temperatura en tiempo real. Ver Anexo – B.

2.6.4 Código para sensor de flujo

El tercer código está diseñado para decodificar los datos provenientes de los sensores de flujo SW3L. Estos sensores miden el flujo de líquidos, y transmiten datos en forma de paquetes codificados. El código de decodificación permite interpretar estos paquetes y obtener información detallada sobre el flujo registrado, como la velocidad, la cantidad de flujo y otros parámetros importantes. Esta información es esencial en aplicaciones como la gestión de recursos hídricos. Ver Anexo – C.

2.7 REGISTRO DE GATEWAY

Una vez se hayan registrado todos los dispositivos finales, se debe registrar la puerta de enlace (Gateway) en la plataforma TTN. Para ellos se debe volver a la página de inicio y seleccionar la sección “Registrar una puerta de enlace”, como se detalla a continuación:



Figura 2-47 Primer paso para registrar una puerta de enlace

El siguiente paso es registrar la puerta de enlace, ingresando los datos de “Gateway EUI” y la banda de frecuencia en la que trabajara la red.

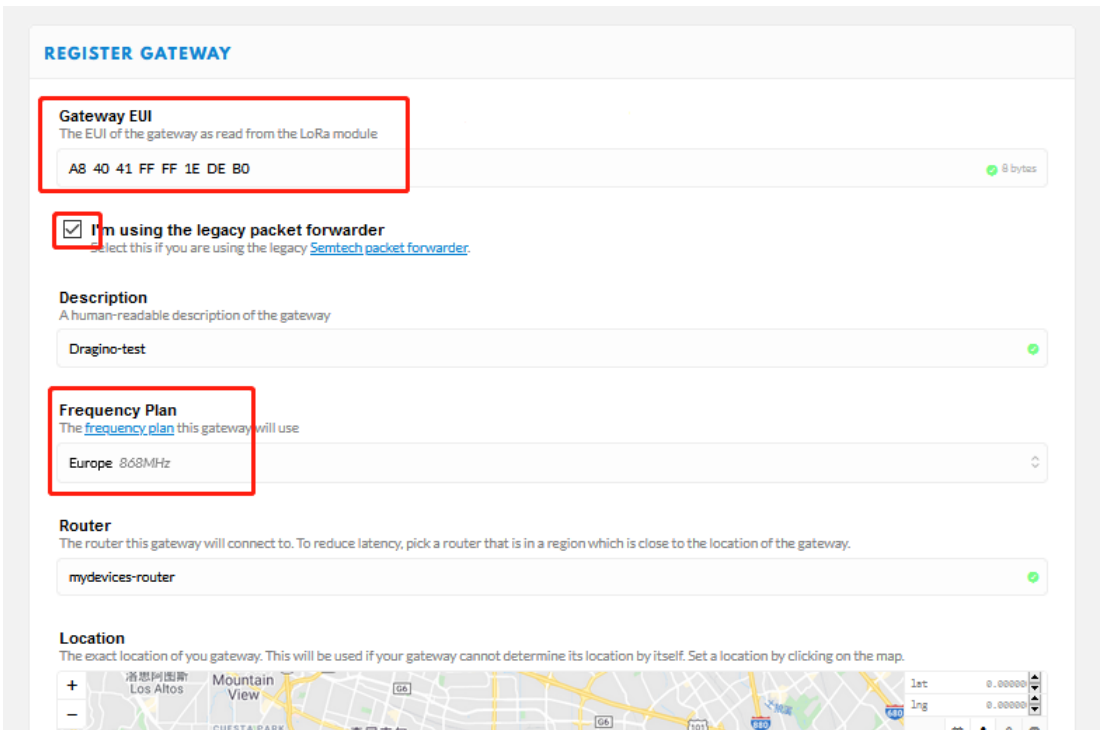


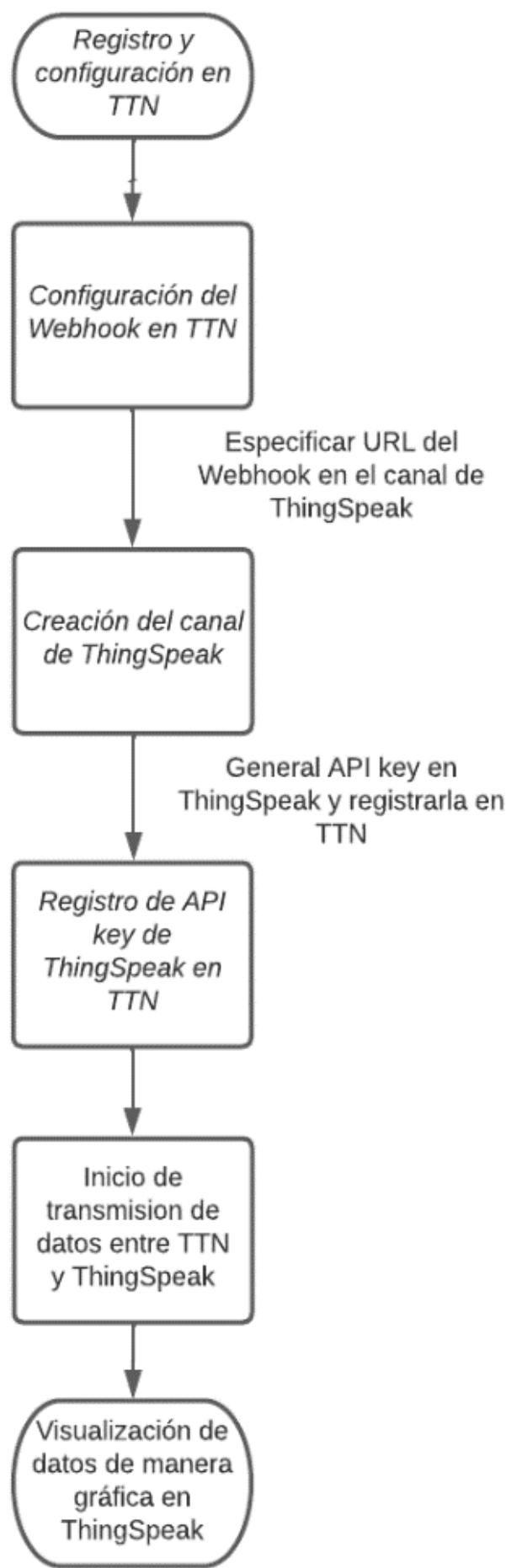
Figura 2-48 Segundo paso para registrar una puerta de enlace

2.8 CONEXIÓN ENTRE TTN Y THINGSPEAK

En esta sección se explicará como enlazar TTN con ThingSpeak, dando una secuencia enumerada de los pasos a seguir para lograr la conexión entre ambas plataformas:

1. **Codificación y decodificación de datos:** Como se mencionó anteriormente, es necesario implementar un código de decodificación en TTN para interpretar y procesar los datos recibidos del dispositivo final. Este código debe estar diseñado específicamente para el formato de datos utilizado por el medidor de energía eléctrica Acrel modelo AWD ADL, el sensor SW3L y el sensor LTC2, los cuales deben realizar las operaciones necesarias para obtener los valores relevantes de los datos transmitidos, como temperaturas, voltajes, corrientes u otros parámetros específicos del dispositivo.
2. **Transmisión de datos a ThingSpeak:** Una vez que los datos son decodificados y procesados en TTN, se pueden transmitir hacia ThingSpeak utilizando los protocolos de comunicación compatibles, como MQTT o HTTP. Esto implica establecer una conexión con el servicio de ThingSpeak y enviar los datos en el formato y estructura definidos por ThingSpeak para su correcta interpretación y análisis.
3. **Visualización y análisis de datos en ThingSpeak:** Una vez que los datos son recibidos por ThingSpeak, se pueden visualizar y analizar en la plataforma utilizando las herramientas y funcionalidades disponibles. Esto incluye la configuración de gráficos, tablas, alertas y otras opciones de análisis en tiempo real o histórico, según los requerimientos del sistema.

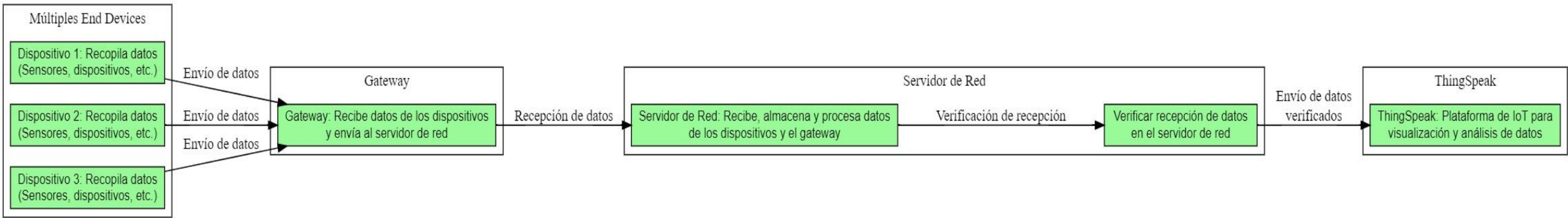
A continuación, se presenta un diagrama de flujo correspondiente al proceso de conexión de plataformas desde TTN hacia ThingSpeak:



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-49 Diagrama de flujo comunicación TTN y ThingSpeak

2.9 DIAGRAMA DE FLUJO DE FUNCIONAMIENTO DE RED



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-50 Diagrama de flujo funcionamiento de red

Explicación del diagrama de flujo anterior:

Los paquetes de datos son enviados desde el end device al Gateway para su transmisión. Luego, el Gateway recibe los paquetes correctamente y verifica su integridad utilizando técnicas como CRC o checksum para asegurarse de que no haya errores en la transmisión.

Después, los paquetes de datos son enviados al servidor de red TTN (The Things Network) utilizando protocolos de comunicación seguros como LoRa WAN para garantizar la confidencialidad y la integridad de los datos durante la transmisión. El servidor de red TTN verifica la recepción correcta de los paquetes y confirma la entrega al end device. En el servidor de red TTN, los paquetes de datos son decodificados utilizando las claves de encriptación apropiadas, y se valida la decodificación correcta de los datos utilizando formatos de mensajes y estructuras de datos adecuadas.

A continuación, los paquetes de datos decodificados son enviados hacia ThingSpeak, utilizando las interfaces de API o protocolos de comunicación compatibles con ThingSpeak. Se verifica la recepción correcta de los datos en ThingSpeak mediante mecanismos de confirmación de entrega y/o validación de datos.

Finalmente, los datos recibidos en ThingSpeak son visualizados a través de la interfaz de usuario o aplicaciones compatibles con ThingSpeak, permitiendo su análisis y monitoreo.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA

3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica de un proyecto de ingeniería es esencial para determinar su viabilidad financiera y rentabilidad potencial. Permite analizar los costos y beneficios del proyecto, identificar riesgos y limitaciones, evaluar la rentabilidad esperada y la tasa de retorno sobre la inversión. Además, la evaluación económica ayuda a comprender los beneficios económicos potenciales del proyecto, como la mejora de la eficiencia de los procesos industriales y la reducción de costos de producción.

Además, la implementación del proyecto de monitoreo remoto de variables críticas, como el consumo hídrico y el consumo de energía eléctrica, en el campamento de minera El Peñón puede brindar beneficios significativos para la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental. Este enfoque permite obtener datos precisos y en tiempo real sobre el consumo de recursos, lo que facilita la identificación de patrones de consumo, la detección de fugas o derroches y la adopción de medidas correctivas oportunas.

Los beneficios clave de este proyecto incluyen:

- **Optimización del consumo:** Mediante el monitoreo remoto, se logra un control más preciso y detallado del consumo hídrico y energético en el campamento minero. Esto permite identificar ineficiencias y tomar acciones para optimizar el uso de recursos, reducir costos operativos y mejorar la eficiencia en general.
- **Ahorro de costos:** La detección temprana de problemas, como fugas o equipos con alto consumo energético, permite tomar medidas correctivas rápidas y evitar gastos innecesarios. Al optimizar el consumo de agua y energía, se obtienen ahorros significativos en los costos operativos.
- **Sostenibilidad ambiental:** La gestión eficiente del consumo hídrico y energético contribuye a la sostenibilidad ambiental. Al reducir el desperdicio de recursos naturales, se minimiza el impacto ambiental de la operación minera y se demuestra el compromiso de la empresa con la responsabilidad ambiental.
- **Toma de decisiones estratégicas:** El acceso a datos en tiempo real sobre el consumo de recursos permite tomar decisiones informadas y estratégicas. Esto incluye ajustar horarios

de operación, implementar medidas de eficiencia energética, establecer metas de reducción de consumo y optimizar la gestión de los recursos disponibles, lo que mejora la rentabilidad de la operación minera.

3.1 DETERMINACIÓN DE COSTOS

La determinación de costos es esencial en cualquier proyecto, ya que permite una revisión exhaustiva de todos los gastos asociados, desde la fase de diseño hasta la ejecución del proyecto. Para llevar a cabo una justificación de costos adecuada, es necesario desglosar los costos asociados al proyecto en diferentes categorías, tales como:

- Costos de diseño
- Costos de adquisición de materiales
- Costos de mano de obra
- Costos de mantenimiento

Para realizar la determinación de costos, se ocuparon los siguientes valores de dólares (USD), unidades de fomento (UF) y euros. Los valores presentados en la siguiente tabla fueron tomados del Banco Central de Chile, con fecha 05 de Junio de 2023.

Tabla 3-1 Valores USD, UF y euros

Valores a CLP	
Valor dólar	\$ 784,7
Valor UF	\$ 35.977
Valor Euro	\$ 853

Fuente: <https://www.google.com/finance/>

3.1.1 Costos de diseño

Estos costos incluyen todos los gastos necesarios para la planificación y diseño del proyecto, como el costo de contratación de expertos, software especializado y otros gastos asociados.

A continuación, se presenta una tabla con los costos asociados al diseño:

Tabla 3-2 Costos de diseño

Costos de diseño			
Ítem	Tiempo (horas)	Valor hora (UF)	Total (UF)
Evaluación de alternativas	8	1	8
Selección de materiales y equipos	24		24
Estudio de factibilidad	12		12
		Subtotal	44
		I.V.A (19%)	8,36
		Total	52,36

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

- Evaluación de las alternativas: en este punto se comparan y evalúan diferentes opciones de diseño, con el fin de identificar la opción más efectiva. Se toman en consideración puntos como costo, eficiencia, impacto ambiental, ubicación geográfica, etc.
- Selección de materiales y equipos: es el proceso de identificación, evaluación y selección de todos los materiales y/o equipos necesarios para la correcta ejecución del proyecto. Se toman en consideración puntos como disponibilidad, costo, calidad y adecuación para el uso.
- Estudio de factibilidad: hace referencia al proceso de evaluación de la viabilidad técnica y económica del proyecto.

3.1.2 Costos de materiales

Estos costos hacen referencia a todos los materiales y equipos necesarios para la correcta ejecución del proyecto.

Tabla 3-3 Características específicas según requerimientos

Componente	Marca/Modelo	Características Técnicas
Gateway	Dragino LG308	- Soporte para redes celulares 4G LTE y 2G/3G
		- Rango de frecuencia: 433/868/915 MHz
		- Potencia de transmisión: hasta 27 dBm
		- Protocolos de comunicación: MQTT, HTTP, UDP, TCP, entre otros
Sensor de Flujo	Dragino SW3L	- Rango de medición de flujo: 0.15 - 30 L/min
		- Precisión de medición: ±3% del valor medido
		- Respuesta de frecuencia: 1 Hz - 1 kHz
Medidor de Energía Eléctrica	Acrel AWD ADL	- Voltaje de entrada: 100-400 V AC
		- Corriente de entrada: hasta 10 A
		- Medición de energía activa y reactiva
		- Interfaz de comunicación: RS485, Modbus RTU
Sensor de Temperatura	Dragino LTC2	- Rango de medición de temperatura: -40°C a 125°C
		- Precisión de medición: ±0.5°C
		- Resolución: 0.0625°C
		- Interfaz de comunicación: LoRaWAN, UART

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

El proyecto de monitoreo remoto para la faena minera El Peñón en Chile requiere la selección cuidadosa de componentes que sean adecuados para su entorno y cumplan con los requerimientos específicos del proyecto. Después de un análisis exhaustivo de las opciones disponibles en el mercado, se ha decidido utilizar los siguientes componentes: Gateway LG308 de Dragino, Sensor de Flujo SW3L de Dragino, Medidor de energía eléctrica AWD ADL de Acrel y Sensor de temperatura LTC2 de Dragino.

El Gateway LG308 de Dragino fue elegido debido a su capacidad para proporcionar conectividad confiable y estable en un entorno remoto y desafiante como una faena minera. Cuenta con características como una amplia cobertura de red, soporte para múltiples bandas de frecuencia y capacidades de enrutamiento avanzadas, lo que permite una comunicación fluida entre los sensores y la infraestructura de monitoreo centralizada.

El Medidor de energía eléctrica AWD ADL de Acrel fue elegido debido a su capacidad para medir y monitorear el consumo de energía eléctrica en tiempo real. En una faena minera, donde la energía eléctrica es un recurso vital y costoso, es esencial contar con un sistema de monitoreo que proporcione información precisa sobre el consumo de energía. El AWD ADL ofrece una alta precisión y una interfaz de comunicación compatible con el Gateway LG308, lo que permite una integración sin problemas en el sistema de monitoreo.

Finalmente, el Sensor de temperatura LTC2 de Dragino fue seleccionado debido a su capacidad para medir con precisión la temperatura en entornos hostiles. En una faena minera, donde las temperaturas pueden variar significativamente y las condiciones pueden ser extremas, es esencial contar con un sensor confiable y resistente. El LTC2 ofrece una amplia gama de temperatura de operación, una alta precisión y una respuesta rápida, lo que permite un monitoreo preciso de la temperatura en tiempo real.

A continuación, se presenta una tabla con los costos asociados a la adquisición de materiales:

Tabla 3-4 Costos de adquisición de materiales

Costos de adquisición de materiales				
Ítem	Cantidad	Medida	Valor unitario (UF)	Valor total (UF)
Gateway	1	[un]	4,83	4,83
Sensor de flujo	15	[un]	1,85	27,76
Sensor de temperatura	2	[un]	1,72	3,43
Medidor de Energía eléctrica	3	[un]	2,79	8,37
Cable de red	30	[metros]	0,92	0,92
Terminales ferrule con ferrulera	100	[un]	0,62	0,62
Cable de control 1 [mm2]	10	[metros]	0,11	1,09
Cinta Teflón	3	[un]	0,04	0,13
Llave ajustable 8"	1	[un]	0,45	0,45
Terminal Hilo interior 1"	40	[un]	0,01	0,56
Vinilit	4	[un]	0,07	0,28
			Subtotal	48,44
			I.V.A (19%)	9,20
			Total	57,64

Fuente: Cotización en Dragino.com y Sodimac.com

3.1.3 Mano de obra

En esta sección se analizan los tiempos y costos asociados a la ejecución del proyecto, en donde se consideran los siguientes cargos:

- Ingeniero de ejecución en control e instrumentación industrial
- Maestro gasfiter
- Ayudante gasfiter
- Técnico electricista

3.1.3.1 Carta Gantt

A continuación, se proporciona la carta Gantt, un diagrama de planificación que presenta de manera detallada la duración de cada tarea a desarrollar y el día específico en el cual se ejecutará dicha tarea.

En la carta Gantt, se ha asignado un período de tiempo específico para cada tarea, indicando tanto su inicio como su finalización. Además, se han establecido tiempos concretos en los que se llevará a cabo cada una de estas tareas. Esto permite una visión global de la duración estimada de toda la ejecución el proyecto y ayuda a identificar posibles solapamientos o cuellos de botella en la programación.

A continuación, se muestra la carta Gantt con los tiempos destinados a la ejecución de cada tarea:

Tabla 3-5 Carta Gantt del proyecto

Tarea	Duración	Días																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Exámenes médicos	2																	
Compras (OC)	5																	
Evaluación del sitio de instalación	1																	
Configuración del Gateway	1																	
Instalación del Gateway	1																	
Conexión de Sensores de Flujo	2																	
Verificación del funcionamiento de Sensores de Flujo	1																	
Instalación de Medidores de Energía Eléctrica	2																	
Verificación del funcionamiento de Medidores de Energía Eléctrica	1																	
Instalación de Sensores de Temperatura	1																	
Pruebas de funcionamiento	3																	
Capacitación a personal de planta	1																	

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

Se observa que los días 1 y 2 se destinaron para la realización de exámenes pre ocupacionales para el personal que ejecutará el trabajo. Se asignaron 5 días para la compra de los materiales y componentes necesarios. Un día fue asignado para la configuración y otro día para la instalación del Gateway. Además, el día 9 se iniciará la instalación y conexión de los sensores de flujo, así como la instalación de los medidores de energía eléctrica. Es importante mencionar que el personal encargado de la tarea, en conjunto con el ingeniero de ejecución en control e instrumentación industrial, se encargará de realizar todas las verificaciones de funcionamiento de los componentes. Los días 14, 15 y 16 se llevarán a cabo pruebas de funcionamiento de toda la red, y finalmente el día 17 se destinará a la capacitación del personal de planta. En el anexo D se encuentra una tabla detallada que muestra el personal involucrado en cada tarea, así como una explicación de cada actividad a ejecutar.

3.1.3.2 Costos de mano de obra

A continuación, se detallan una tabla resumen de los costos de mano de obra, asociados a la ejecución del proyecto:

Tabla 3-5 Costos de mano de obra

Costos de mano de obra			
Ítem	Tiempo (horas)	Valor hora (UF)	Total (UF)
Ing. (e) en control e instrumentación industrial	204	0,5	102
Maestro gasfiter	96	0,3	29
Ayudante gasfiter	96	0,2	19
Técnico electricista	96	0,4	34
		Subtotal	184
		I.V.A (19%)	35
		Total	218

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

Cabe mencionar que se consideran un total de 12 horas diarias de trabajo, incluyendo la hora de colación.

3.1.4 Costos de mantenimiento

Para realizar una correcta justificación en costos de mantenimiento, se realizaron las siguientes conversiones de euros y dólares a pesos chilenos (CLP) y unidades de fomento (UF).

Tabla 3-6 Conversión de costos de plataformas web

		UF anuales
Plataforma ThingSpeak	710 dolares al año	15,49
Plataforma TTN	200 euros mensuales	56,93

Fuente: ThingSpeak.com / Thethingsnetwork.com

Los siguientes costos hacen referencia al mantenimiento de la red, desde la actualización de software o firmware hasta el pago de plataformas web para la visualización.

Tabla 3-7 Costos de mantenimiento

Costos de mantenimiento		
Ítem	Periodicidad	Total UF
Mantenimiento de red	Anual	15
Plataforma Web ThingSpeak	Anual	15,49
Plataforma Web TTN	Anual	56,93
	Subtotal	87,42
	I.V.A (19%)	16,61
	Total	104,03

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

- Mantenimiento de red: este punto abarca temas como actualización de software o firmware, monitoreo del tráfico de red, realización de copias de seguridad, etc.
- Plataforma Web ThingSpeak: este es un costo asociado a la visualización de datos, el cual tiene un costo fijo mensual de USD \$710. Lo cual resulta un valor mensual de 1,29 [UF].

ThingSpeak™

Channels

Apps

Support

Commercial Use

How to Buy

Pricing calculator

How many channels?*

Currently: 0

To be added: 20

Calculated number of channels needed: 20

Calculated Message Use**

10.512.000/year

864.000/month

28.800/day

1200/hour

20/minute

Our Recommendation:

Thingspeak units: 1

License type: Standard

Maximum number of channels allowed: 250

How often will they collect data?

Every 1 Minutes

Calculated Message Use**

10.512.000/year

864.000/month

28.800/day

1200/hour

20/minute

Our Recommendation:

Thingspeak units: 1

License type: Standard

Maximum number of channels allowed: 250

Purchase

License type: Standard

ThingSpeak units: 1

x USD 710.00 price/unit/year

Total: USD 710.00/year

Purchase

You will be taken to the MathWorks store to complete your purchase.

Questions about ThingSpeak purchasing?

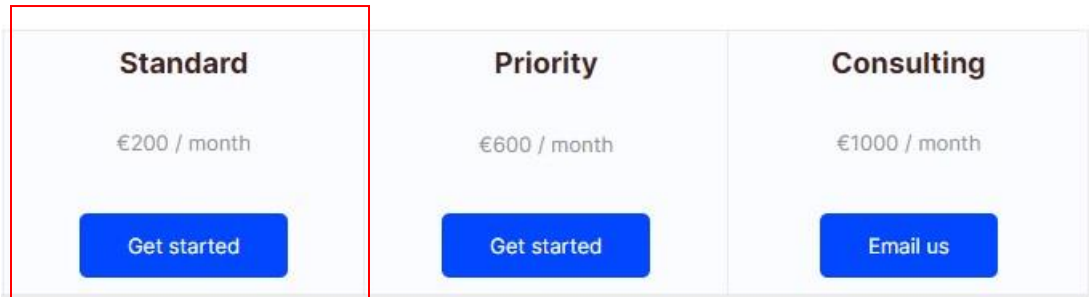
Licensing FAQ

Contact us

Fuente: Thinspeak.com

Figura 3-1 Precio de plataforma ThingSpeak

- Plataforma Web TTN: este valor hace referencia al pago mensual de la plataforma TTN, la cual se encarga de tomar los datos provenientes desde la red física (desde el Gateway), los decodifica y envía hacia la plataforma de visualización. Tiene un costo mensual de €200, lo cual da un resultado de 4,74[UF] mensuales.



Fuente: thethingsindustries.com

Figura 3-2 Precio de plataforma TTN

3.2 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

En la presente sección, se exponen los costos totales del proyecto, abarcando desde la etapa de diseño hasta los gastos asociados al mantenimiento. Dichos valores desempeñarán un papel fundamental en la elaboración de un detallado flujo de caja, el cual será abordado en la sección 3.2.

Tabla 3-8 Costos totales con IVA incluido

Costos totales UF	
Costos de diseño	52,36
Costos de materiales	57,64
Costos de mano de obra	218,00
Total	328,00

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

En los valores entregados en la tala 3-7, están los impuestos agregados y están expresados en UF.

El valor total para ejecutar el proyecto es de 328 [UF], lo cual se considera como inversión inicial para el flujo de caja

3.3 FLUJO DE CAJA

Realizar un flujo de caja detallado de un proyecto es de vital importancia en la gestión financiera, ya que proporciona una visión clara y cuantitativa de los flujos de efectivo entrantes y salientes a lo largo de su ciclo de vida. En términos técnicos, el flujo de caja es una herramienta que permite evaluar la liquidez y solvencia de un proyecto, así como identificar y anticipar posibles desequilibrios financieros.

Mediante el análisis de los ingresos y egresos proyectados, el flujo de caja brinda información esencial para la toma de decisiones estratégicas en relación con la asignación y gestión de los recursos financieros. Esto incluye aspectos como la planificación de inversiones, la evaluación de la rentabilidad y la capacidad para hacer frente a las obligaciones financieras en diferentes momentos del proyecto.

3.4 INDICADORES DE VIABILIDAD ECONÓMICA

- VAN: el valor actual neto es una medida que permite determinar la rentabilidad de un proyecto al calcular la diferencia entre flujos de efectivo generados por el proyecto y los costos de inversión.

El VAN se calcula como el valor presente de los flujos de caja esperados que se originan por la inversión, menos la inversión inicial.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

En donde:

- $I_0 \rightarrow$ Inversión inicial monetaria en el presente.
- $V_t \rightarrow$ Flujos de caja futuros en cada periodo t .
- $n \rightarrow$ Número de periodos de vigencia del proyecto.
- $k \rightarrow$ Tipo de interés de la renta fija.

Para el VAN existen tres criterios posibles:

- $VAN > 0 \longrightarrow$ Conviene invertir.
- $VAN = 0 \longrightarrow$ No conviene invertir.
- $VAN < 0 \longrightarrow$ No conviene invertir.

- TIR: La tasa interna de retorno (TIR), es la tasa que entrega un proyecto, suponiendo que todos sus flujos son reinvertidos a esa misma tasa.

Si la TIR es mayor que la TMAR, el proyecto es viable

$TIR > TMAR \longrightarrow$ Proyecto viable.

- PAYBACK: El Payback o también conocido como “Periodo de recuperación”, hace referencia al tiempo necesario para que los flujos de efectivo generados por un proyecto iguallen a la inversión inicial realizada.
- TMAR: La tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) es una tasa de descuento utilizada en el análisis financiero. Esta representa la tasa mínima de rendimiento que una empresa o inversionista requiere para considerar un proyecto viable desde el punto de vista económico. La TMAR se define de la siguiente manera:

$$TMAR = P_i + P_r$$

En donde:

- $P_i \rightarrow$ Porcentaje de inflación.
- $P_r \rightarrow$ Porcentaje de premio al riesgo.

3.5 FLUJO DE CAJA

A continuación, se presenta el flujo de caja del proyecto, en donde se considera un total de 10 periodos. En la siguiente tabla se ingresan valores en UF, tales como ingresos anuales, costos de mantenimiento, costos de implementación, flujo de caja neto, flujo de caja neto acumulado, flujo de caja neto actualizado y flujo de caja neto actualizado y acumulado.

El flujo de caja, que representa el flujo de efectivo generado por el proyecto a lo largo del tiempo, es de suma importancia para evaluar su viabilidad financiera. Permite conocer la capacidad de generar ingresos y cubrir los costos asociados, así como el rendimiento económico obtenido.

Los ahorros generados una vez implementado el proyecto, se considerarán como ingresos anuales, debido a que cuando ya esté implementado el proyecto, los colaboradores involucrados ya no serán requeridos para ejecutar la tarea de toma de consumos.

Los ahorros generados son valor de hora/hombre de los colaboradores que están involucrados en esta tarea, como también los ahorros generados por el pago de multas.

Cálculos justificativos de valor hora/hombre:

- Colaboradores involucrados de empresa subcontratista
 - Dos colaboradores encargados de realizar el registro de los consumos
 - Un colaborador encargado de ingresar y enviar datos de consumos
 - Un colaborador encargado de analizar los datos de consumos

En total son un total de 4 colaboradores para realizar todo el proceso, a continuación, se calcularán los valores hora/hombre de cada uno de ellos, como también el valor anual.

- Registro de consumos:

Tabla 3-9 Cálculo valor anual en registro de consumos

Datos	
Tarea	Registro de consumos
Sueldo imponible (CLP)	\$ 1.000.000
Valor HH	\$ 2.778
Horas de ejecución por días	2
Cantidad de colaboradores involucrados en la tarea	2

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

- Cálculo de valor anual:

En donde se tiene:

- V_{hh} → Valor hora/hombre.
- T_{ed} → Tiempo de ejecución por día, en horas.
- C_{ci} → Cantidad de colaboradores involucrados en la tarea.
- D_e → Días de ejecución de la tarea al mes.
- M_e → Cantidad de meses que se ejecuta la tarea al año

Considerando lo anterior:

$$Valor\ Anual = (V_{hh}) * (T_{ed}) * (C_{ci}) * (D_e) * (M_e)$$

$$Valor\ Anual = (2.778) * (2) * (2) * (30) * (12)$$

$$Valor\ Anual = 4.000.320\ (CLP)$$

- Ingreso y envío de datos:

Tabla 3-10 Cálculo valor anual en ingreso y envío de datos

Datos	
Tarea	Ingreso y envío de datos
Sueldo imponible (CLP)	\$ 1.300.000
Valor HH	\$ 3.611
Horas de ejecución por días	1
Cantidad de colaboradores involucrados en la tarea	1

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

- Cálculo de valor anual:

En donde se tiene:

- V_{hh}

→

Valor hora/hombre.
- T_{ed}

→

Tiempo de ejecución por día, en horas.
- C_{ci}

→

Cantidad de colaboradores involucrados en la tarea.
- D_e

→

Días de ejecución de la tarea al mes.
- M_e

→

Cantidad de meses que se ejecuta la tarea al año

Considerando lo anterior:

$$Valor\ Anual = (V_{hh}) * (T_{ed}) * (C_{ci}) * (D_e) * (M_e)$$

$$Valor\ Anual = (3.611) * (1) * (1) * (30) * (12)$$

$$Valor\ Anual = 1.299.999\ (CLP)$$

- Análisis de datos:

Tabla 3-11 Cálculo valor anual de análisis de datos

Datos	
Tarea	Análisis de datos
Sueldo imponible (CLP)	\$ 1.600.000
Valor HH	\$ 4.444
Horas de ejecución por días	0,5
Cantidad de colaboradores involucrados en la tarea	1

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

- Cálculo de valor anual:

En donde se tiene:

- V_{hh} → Valor hora/hombre.
- T_{ed} → Tiempo de ejecución por día, en horas.
- C_{ci} → Cantidad de colaboradores involucrados en la tarea.
- D_e → Días de ejecución de la tarea al mes.
- M_e → Cantidad de meses que se ejecuta la tarea al año

Considerando lo anterior:

$$Valor\ Anual = (V_{hh}) * (T_{ed}) * (C_{ci}) * (D_e) * (M_e)$$

$$Valor\ Anual = (4.444) * (0,5) * (1) * (30) * (12)$$

$$Valor\ Anual = 799.920\ (CLP)$$

Pagos de multas

En la actualidad, al tener un sistema obsoleto de registro de consumos hídricos principalmente, la minera está expuesta a múltiples multas por parte de la DGA (Dirección General de Aguas), las cuales pueden ir desde 10 a 2.000 U.T.M. Para el caso particular, se está expuesto a multas de segundo grado, las cuales van de 51 a 100 U.T.M. El artículo 68 del código de aguas indica:

La Dirección General de Aguas podrá exigir la instalación y mantención de sistemas de medición de caudales, de volúmenes extraídos y de niveles estáticos o dinámicos en las obras, además de un sistema de transmisión de la información que se obtenga. En el caso de los derechos de aprovechamiento no consuntivos esta exigencia se aplicará también en la obra de restitución al acuífero. La Dirección General, por resolución fundada, determinará los plazos y las condiciones técnicas para cumplir la obligación dispuesta en este artículo.

Ante el incumplimiento de las medidas a que se refiere el inciso anterior, la Dirección General de aguas, mediante resolución fundada, impondrá las multas y sanciones que establecen los artículos 173 y siguientes. (Ley 21435, Art.1, N°32, D.O. 06.04.2022).

Por lo anterior se considera un gasto anual “Sin Proyecto” en multas de 100 U.T.M, y una vez ejecutado el proyecto se considera un gasto anual en multas de 50 U.T.M; en donde se ve reflejado un ahorro de 50 U.T.M al año.

Tabla 3-11 Gastos generados Sin proyecto/Con proyecto

	U.T.M	CLP	UF
Sin Proyecto	100	\$ 6.332.600	176
Con proyecto	50	\$ 3.166.300	88
	Ahorro anual generado	\$ 3.166.300	88

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del proyecto

En conclusión, se obtiene que los ingresos anuales totales para el flujo de caja del proyecto son, los ahorros generados por pagos a proveedores involucrados en la tarea más los ahorros generados por multas anuales, lo que da un total de 257,55 (UF).

Tabla 3-12 Flujo de caja del proyecto

Flujo de caja de proyecto de sistema de monitoreo remoto para minera El Peñón		Años						
		0	1	2	3	4	5	6
Sin Proyecto	Pago personal involucrado en operación		-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55
	Multas por DGA		-176	-176	-176	-176	-176	-176
	Total		-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55
Con Proyecto	Inversión inicial	-328	0	0	0	0	0	0
	Mantención (Pago de plataformas TTN y ThingSpeak)		-104,03	-104,03	-104,03	-104,03	-104,03	-104,03
	Pago personal involucrado en operación		0	0	0	0	0	0
	Multas por DGA		-88	-88	-88	-88	-88	-88
	Gastos Anuales		-192,03	-192,03	-192,03	-192,03	-192,03	-192,03
Flujos	Flujo de caja neto (UF)	-328	153,52	153,52	153,52	153,52	153,52	153,52
	Flujo de caja neto acumulado (UF)	-328	-174,48	-20,96	132,56	286,08	439,6	593,12
	Flujo de caja neto actualizado (UF)	-328	137,1	122,4	109,3	97,6	87,1	77,8
	Flujo de caja neto actualizado y acumulado (UF)	-328	-190,9	-68,5	40,7	138,3	225,4	303,2

Fuente: Creación propia

De la tabla anterior se obtienen los siguientes resultados de los indicadores de viabilidad:

Tabla 3-13 Resultados indicadores

Indicadores	
TMAR	12%
VAN	303,18
TIR	41%
PAYBACK ACTUALIZADO	Año 3

Fuente: Creación propia

Los análisis previos arrojan resultados significativos con relación al proyecto evaluado. Se determinó que la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) es del 12%. Basándose en este valor, el Valor Actual Neto (VAN) calculado es de 303,18 [UF]. Al ser mayor que cero, se concluye que la inversión en el proyecto es conveniente desde el punto de vista financiero.

Adicionalmente, se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 41%, lo cual indica la rentabilidad que se espera obtener en el proyecto. Este resultado representa un rendimiento favorable y respalda aún más la decisión de invertir en el proyecto.

En cuanto al período de recuperación de la inversión, se realizó el cálculo del Payback actualizado. Según este análisis, se estima que la inversión inicial se recuperará en el año 3 del proyecto. Esto significa que, transcurrido ese tiempo desde el inicio, se habrán generado ingresos suficientes para recuperar la inversión inicial realizada. También se puede observar que desde el año 1, se obtiene un beneficio directo.

Estos resultados demuestran la viabilidad financiera del proyecto, respaldando la decisión de invertir en él. La combinación de un VAN positivo, una TIR atractiva, refuerzan la perspectiva de generar retornos económicos favorables a lo largo del tiempo.

3.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad de un proyecto es un enfoque utilizado para evaluar cómo las variaciones en los factores clave afectan el desempeño y los resultados del proyecto. Se trata de una técnica que permite medir la sensibilidad del proyecto frente a cambios en las variables de entrada más importantes.

En este análisis, se identifican las variables críticas que tienen un impacto significativo en el proyecto, como los costos, los ingresos, las tasas de interés, los plazos, los volúmenes de

producción, entre otros. Luego, se realizan diferentes escenarios o modificaciones en estas variables para evaluar cómo se verían afectados los resultados del proyecto.

La idea es cuantificar y comprender cómo estos cambios en las variables clave influyen en los indicadores financieros, la rentabilidad y otros aspectos relevantes del proyecto. Se busca analizar cómo los diferentes escenarios podrían afectar la viabilidad y el éxito del proyecto, y así proporcionar información valiosa para la toma de decisiones.

La fórmula correspondiente para realizar el cálculo de análisis de sensibilidad es:

$$\text{Análisis de sensibilidad} = \frac{VAN_n - VAN_e}{VAN_e} * 100$$

En donde:

- $VAN_n \rightarrow$ hace referencia al valor actual neto nuevo
- $VAN_e \rightarrow$ hace referencia al valor actual neto que se tenía antes de realizar el cambio en la variable de interés que se está midiendo.

En este caso se considera una variable de interés el cambio del valor del euro, principalmente enfocado al ítem de mantención, el cual es el pago de las plataformas de The Things Network y ThingSpeak, en donde en el VAN correspondiente al flujo de caja base es igual a 303,18 [UF], en donde para llegar a ese valor se consideró un valor de 853 pesos por cada euro, por lo que da un valor de 104,03 [UF] en costos de mantención.

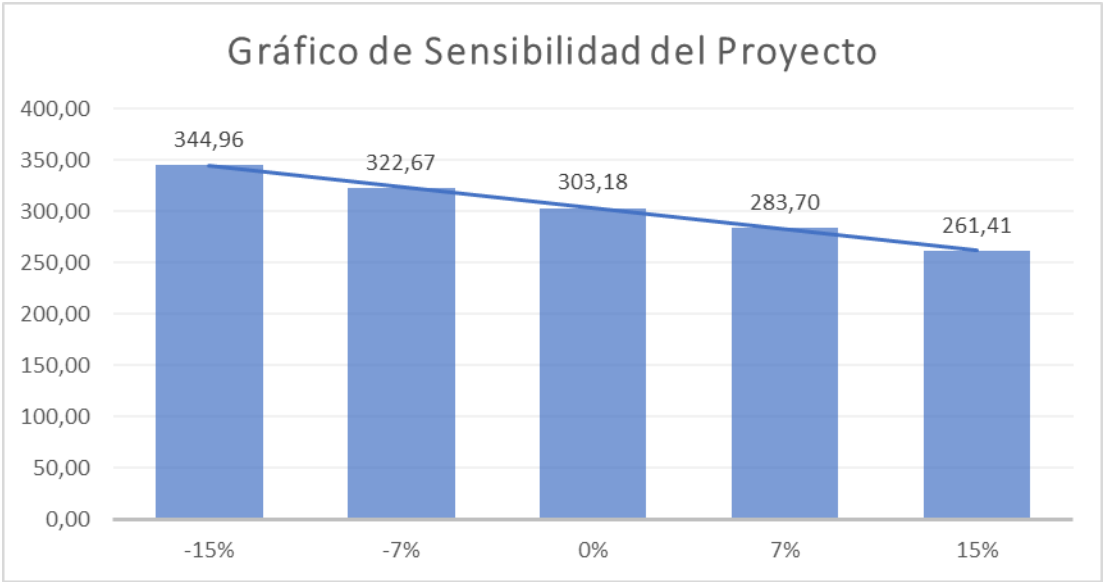
Con el propósito de efectuar el análisis de sensibilidad, se llevó a cabo un proceso de modificación tanto al alza como a la baja de la tasa de cambio EUR/CLP en un rango de $\pm 15\%$. Con los resultados recopilados, se procedió a confeccionar un gráfico que pone en relación el Valor Actual Neto (VAN) con la variación correspondiente. La determinación del porcentaje de variación se realizó en base a datos obtenidos desde la base de datos del Banco Central de Chile. A continuación, se presenta la tabla con valores y el gráfico de sensibilidad obtenido:

Tabla 3-14 Tabla de resultados para análisis de sensibilidad

Variación de tasa de cambio de Euro/CLP	Valores de VAN
-15%	344,96
-7%	322,67
0%	303,18
7%	283,70
15%	261,41

Fuente: Creación propia

Luego de analizar los valores históricos en la base de datos del Banco centrar de Chile, se determinó una variación de $\pm 15\%$, en donde el siguiente gráfico demuestra que el proyecto es muy poco sensible a variaciones externas a este.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3 Gráfico de sensibilidad del proyecto

CONCLUSIONES

En conclusión, el proyecto de un sistema de telemetría en el campamento de faena minera El Peñón, utilizando la tecnología LoRa, muestra un gran potencial para mejorar la eficiencia y el monitoreo de variables críticas, como es el consumo de energía eléctrica, el consumo hídrico y la temperatura ambiente.

La elección de la tecnología LoRa se basa en su capacidad para proporcionar una cobertura de largo alcance y un consumo de energía reducido, lo que la hace adecuada para entornos industriales exigentes como un campamento de faena minera. Además, la infraestructura de red LoRa, que incluye nodos finales, puertas de enlace y servidores, proporciona una base sólida para la implementación y escalabilidad del sistema de telemetría.

El proyecto propone una solución efectiva para monitorear en tiempo real las variables clave del campamento de faena, lo que permitiría una mejor gestión de los recursos, la detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas. La implementación de este sistema de telemetría podría proporcionar una mayor visibilidad y control sobre el consumo de energía eléctrica, el consumo hídrico y las condiciones ambientales, lo que podría tener un impacto positivo en la eficiencia operativa y la optimización de los recursos.

Si bien el proyecto aún no ha sido implementado, la evaluación económica preliminar indica que los beneficios potenciales superarían los costos asociados con el diseño, adquisición de materiales, mano de obra y mantenimiento.

En resumen, el proyecto de implementación de un sistema de telemetría basado en la tecnología LoRa en el campamento de faena minera El Peñón promete mejorar la eficiencia y el monitoreo de variables críticas. La aplicación de esta tecnología podría proporcionar una solución confiable y rentable para el monitoreo en tiempo real, disminuyendo costos asociados a esta tarea como también mitigando los riesgos a los cuales se exponen los colaboradores.

Finalmente, resulta relevante destacar que esta clase de proyectos, enfocados en la supervisión remota de variables, son susceptibles de ser implementados en diversas esferas. Entre ellas se incluyen campos como la agricultura, las energías renovables y la administración de flotas en entornos de alcance limitado, por mencionar algunas posibilidades.

BIBLIOGRAFÍA

"LoRaWAN: A Low Power WAN Protocol for Internet of Things" por A. Zanella, N. Bui, A. Castellani y M. Zorzi. En IEEE Internet of Things Journal, vol. 3, no. 6, 2016.

<https://thingspeak.com/>

<https://github.com/dragino/dragino-end-node-decoder/blob/main/LTC2/LTC2%20v1.0%20Decode%20TTN.txt>

<https://github.com/dragino/dragino-end-node-decoder/blob/main/SW3L/SW3L%20Decoder%20TTN.txt>

<https://sistema-de-monitoreo-mep.nam1.cloud.thethingsindustries/>

<https://www.thethingsindustries.com>

http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo323.ipd438/2s18/projects/reports/RetamalCardenasGonzalez/Informe_Lora.pdf

<https://www.dragino.com/>

<https://www.eleconomista.es/diccionario-de-economia/riesgo-del-van>

<https://www.aepd.es/es/prensa-y-comunicacion/blog/iot-i-que-es-iot-y-cuales-son-sus-riesgos>

<https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2021/03/el-penon-yamana-gold-antofagasta-mineria>

<https://www.lora-alliance.com>

<https://www.semtech.com>

<https://www.2cigroup.com/>

ANEXOS

ANEXO – A: CÓDIGO PARA MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

```

function decodeAcrelData(bytes) {
  // Verificar si la longitud de bytes es correcta
  if (bytes.length < 11) {
    console.error("Error: Longitud de bytes incorrecta");
    return null;
  }

  // Declarar objeto para almacenar los datos decodificados
  var decode = {};

  // Decodificar el voltaje de la batería
  decode.BatV = ((bytes[0] << 8 | bytes[1]) & 0x3FFF) / 1000;

  // Decodificar el valor de temperatura
  decode.Temp = parseFloat((((bytes[2] << 24 >> 16 | bytes[3]) / 10).toFixed(1)));

  // Decodificar el valor de energía activa
  decode.Energy = ((bytes[4] << 24) + (bytes[5] << 16) + (bytes[6] << 8) + bytes[7]) / 1000;

  // Decodificar el valor de potencia activa
  decode.Power = ((bytes[8] << 24) + (bytes[9] << 16) + (bytes[10] << 8) + bytes[11]) / 1000;

  // Retornar el objeto con los datos decodificados
  return decode;
}

```

ANEXO – B: CÓDIGO PARA SENSOR DE TEMPERATURA

```

function Decoder(bytes, port) {
  // Obtener el estado del mensaje de encuesta
  var poll_message_status = (bytes[2] & 0x40) >> 6;

  // Declarar objeto para almacenar los datos decodificados
  var decode = {};

  // Decodificar el valor de Ext
  decode.Ext = bytes[2] & 0x0F;

  // Decodificar el valor de BatV (voltaje de batería)
  decode.BatV = ((bytes[0] << 8 | bytes[1]) & 0x3FFF) / 1000;

  // Decodificar los valores de temperatura o resistencia según el valor de Ext
  if (decode.Ext == 0x01) {
    decode.Temp_Channel1 = parseFloat(((bytes[3] << 24 >> 16 | bytes[4]) / 100).toFixed(2));
    decode.Temp_Channel2 = parseFloat(((bytes[5] << 24 >> 16 | bytes[6]) / 100).toFixed(2));
  } else if (decode.Ext == 0x02) {
    decode.Temp_Channel1 = parseFloat(((bytes[3] << 24 >> 16 | bytes[4]) / 10).toFixed(1));
    decode.Temp_Channel2 = parseFloat(((bytes[5] << 24 >> 16 | bytes[6]) / 10).toFixed(1));
  } else if (decode.Ext == 0x03) {
    decode.Res_Channel1 = parseFloat(((bytes[3] << 8 | bytes[4]) / 100).toFixed(2));
    decode.Res_Channel2 = parseFloat(((bytes[5] << 8 | bytes[6]) / 100).toFixed(2));
  }

  // Decodificar el valor de Systimestamp (marca de tiempo del sistema)
  decode.Systimestamp = (bytes[7] << 24 | bytes[8] << 16 | bytes[9] << 8 | bytes[10]);

  // Verificar si el estado del mensaje de encuesta es 0 y la longitud de bytes es 11
  if (poll_message_status === 0) {
    if (bytes.length == 11) {
      // Retornar el objeto con los datos decodificados
      return decode;
    }
  }
}

```

ANEXO – C: CÓDIGO PARA SENSOR DE FLUJO

```

function datalog(i,bytes){
  var aa=(bytes[0+i]&0x02)?"TRUE":"FALSE";
  var bb=(bytes[0+i]&0xFC)>>2;
  var cc= bytes[1+i];
  var dd=(bytes[3+i]<<24 | bytes[4+i]<<16 | bytes[5+i]<<8 | bytes[6+i])>>>0;
  var ee;

  if(bb==0x02)
  | ee= (dd/64).toFixed(1);
  else if(bb==0x01)
  | ee= (dd/390).toFixed(1);
  else
  | ee= (dd/450).toFixed(1);

  var ff= getMyDate((bytes[7+i]<<24 | bytes[8+i]<<16 | bytes[9+i]<<8 | bytes[10+i]).toString(10));
  var string='['+aa+', '+bb+', '+cc+', '+dd+', '+ee+', '+ff+'] '+'+';

  return string;
}

function getzf(c_num){
  if(parseInt(c_num) < 10)
  | c_num = '0' + c_num;
  return c_num;
}

function getMyDate(str){
  var c_Date;
  if(str > 9999999999)
  | c_Date = new Date(parseInt(str));
  else
  | c_Date = new Date(parseInt(str) * 1000);

  var c_Year = c_Date.getFullYear(),
  c_Month = c_Date.getMonth()+1,
  c_Day = c_Date.getDate(),
  c_Hour = c_Date.getHours(),
  c_Min = c_Date.getMinutes(),
  c_Sen = c_Date.getSeconds();
  var c_Time = c_Year + '-' + getzf(c_Month) + '-' + getzf(c_Day) + ' ' + getzf(c_Hour) + ':' + getzf(c_Min) + ':' + getzf(c_Sen);

  return c_Time;
}

function Decoder(bytes, port) {
  if(port==0x03)
  {
    for(var i=0;i<bytes.length;i=i+11)
    {
      var data= datalog(i,bytes);
      if(i=='0')
      | data_sum=data;
      else
      | data_sum+=data;
    }
    return{
      DATALOG:data_sum
    };
  }
  else if(port==0x04)
  {
    var tdc= bytes[0]<<16 | bytes[1]<<8 | bytes[2];
    var stop_timer= bytes[4];
    var alarm_timer= bytes[5]<<8 | bytes[6];
  }
}

```

```

    return {
        TDC:tdc,
        Stop_Timer:stop_timer,
        Alarm_Timer:alarm_timer,
    };
}
else if(port==0x05)
{
    var sub_band;
    var freq_band;
    var sensor;

    if(bytes[0]==0x11)
    | sensor= "SW3L";

    if(bytes[4]==0xff)
    | sub_band="NULL";
    else
    | sub_band=bytes[4];

    if(bytes[3]==0x01)
    | freq_band="EU868";
    else if(bytes[3]==0x02)
    | freq_band="US915";
    else if(bytes[3]==0x03)
    | freq_band="IN865";
    else if(bytes[3]==0x04)
    | freq_band="AU915";
    else if(bytes[3]==0x05)
    | freq_band="KZ865";
    else if(bytes[3]==0x06)
    | freq_band="RU864";
    else if(bytes[3]==0x07)

    | freq_band="AS923";
    else if(bytes[3]==0x08)
    | freq_band="AS923_1";
    else if(bytes[3]==0x09)
    | freq_band="AS923_2";
    else if(bytes[3]==0x0A)
    | freq_band="AS923_3";
    else if(bytes[3]==0x0B)
    | freq_band="CN470";
    else if(bytes[3]==0x0C)
    | freq_band="EU433";
    else if(bytes[3]==0x0D)
    | freq_band="KR920";
    else if(bytes[3]==0x0E)
    | freq_band="MA869";

    var firm_ver= (bytes[1]&0x0f)+'.'+(bytes[2]>>4&0x0f)+'.'+(bytes[2]&0x0f);
    var bat= (bytes[5]<<8 | bytes[6])/1000;

    return {
        SENSOR_MODEL:sensor,
        FIRMWARE_VERSION:firm_ver,
        FREQUENCY_BAND:freq_band,
        SUB_BAND:sub_band,
        BAT:bat,
    };
}
else
{
    var flag=(bytes[0]&0xFC)>>2;
    var decode = {};

    decode.MOD=bytes[5];

```

```

decode.Calculate_flag=flag;
decode.Alarm=(bytes[0]&0x02)?"TRUE":"FALSE";

if(flag==2)
    decode.Water_flow_value=parseFloat((((bytes[1]<<24 | bytes[2]<<16 | bytes[3]<<8 | bytes[4]>>>0)/64).toFixed(1));
else if(flag==1)
    decode.Water_flow_value=parseFloat((((bytes[1]<<24 | bytes[2]<<16 | bytes[3]<<8 | bytes[4]>>>0)/390).toFixed(1));
else
    decode.Water_flow_value=parseFloat((((bytes[1]<<24 | bytes[2]<<16 | bytes[3]<<8 | bytes[4]>>>0)/450).toFixed(1));

if(bytes[5]==0x01)
    decode.Last_pulse=((bytes[1]<<24 | bytes[2]<<16 | bytes[3]<<8 | bytes[4]>>>0);
else
    decode.Total_pulse=((bytes[1]<<24 | bytes[2]<<16 | bytes[3]<<8 | bytes[4]>>>0);

decode.Data_time= getMyDate((bytes[7]<<24 | bytes[8]<<16 | bytes[9]<<8 | bytes[10]).toString(10));

if(bytes.length==11)
{
    return decode;
}
}
}

```

ANEXO – D: DETALLES DE PERSONAL INVOLUCRADOS Y TAREAS

Tarea	Personal Involucrado	Explicación de la Tarea	Tiempo de Ejecución en días
Exámenes Médicos	Ingeniero, Maestro Gasfiter, Ayudante Gasfiter, Técnico Electricista	Realizar exámenes médicos al personal involucrado en el proyecto para garantizar su salud y aptitud para el trabajo. Esto incluye pruebas médicas y evaluaciones necesarias.	2
Compras (OC)	Ingeniero	Gestionar las compras de los componentes necesarios para el proyecto. Esto implica identificar los productos requeridos, solicitar cotizaciones, negociar precios y plazos de entrega, y generar las órdenes de compra (OC) correspondientes.	5
Implementación y Montaje	Ingeniero, Maestro Gasfiter, Ayudante Gasfiter, Técnico Electricista	Realizar la instalación y montaje de los componentes en el lugar designado. Esto incluye la configuración del Gateway, la conexión de los sensores de flujo, los medidores de energía eléctrica y los sensores de temperatura, y la implementación de la infraestructura necesaria.	10
Pruebas de Funcionamiento	Ingeniero, Técnico Electricista	Realizar pruebas exhaustivas para asegurar el correcto funcionamiento de los componentes y la comunicación entre ellos. Esto implica verificar la precisión de las mediciones, la transmisión de datos y la respuesta a diferentes escenarios.	3
Capacitación a Personal de Planta	Ingeniero	Brindar capacitación al personal de la planta minera sobre el uso, mantenimiento y monitoreo de los componentes implementados. Esto incluye instrucciones de operación, identificación de posibles problemas y procedimientos de solución de problemas básicos.	1

ANEXO – E: GRÁFICO VALOR EURO BANCO CENTRAL DE CHILE



ANEXO – F: FLUJOS DE CAJA CON VARIACIÓN DE VALOR DE TASA DE CAMBIO EUR/CLP

- Flujo de caja con variación -15%

Flujo de caja de proyecto de sistema de monitoreo remoto para minera El Peñón		Años						
		0	1	2	3	4	5	6
Sin Proyecto	Pago personal involucrado en operación		-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55
	Multas por DGA		-176	-176	-176	-176	-176	-176
	Total		-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55
Con Proyecto	Inversión inicial	-328	0	0	0	0	0	0
	Mantención (Pago de plataformas TTN y ThingSpeak)		-93,87	-93,87	-93,87	-93,87	-93,87	-93,87
	Pago personal involucrado en operación		0	0	0	0	0	0
	Multas por DGA		-88	-88	-88	-88	-88	-88
	Gastos Anuales		-181,87	-181,87	-181,87	-181,87	-181,87	-181,87
Flujos	Flujo de caja neto (UF)	-328	163,68	163,68	163,68	163,68	163,68	163,68
	Flujo de caja neto acumulado (UF)	-328	-164,32	-0,64	163,04	326,72	490,4	654,08
	Flujo de caja neto actualizado (UF)	-328,0	146,1	130,5	116,5	104,0	92,9	82,9
	Flujo de caja neto actualizado y acumulado (UF)	-328,0	-181,9	-51,4	65,1	169,2	262,0	345,0

- Flujo de caja con variación -7%

Flujo de caja de proyecto de sistema de monitoreo remoto para minera El Peñón		Años						
		0	1	2	3	4	5	6
Sin Proyecto	Pago personal involucrado en operación		-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55
	Multas por DGA		-176	-176	-176	-176	-176	-176
	Total		-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55
Con Proyecto	Inversión inicial	-328	0	0	0	0	0	0
	Mantención (Pago de plataformas TTN y ThingSpeak)		-99,29	-99,29	-99,29	-99,29	-99,29	-99,29
	Pago personal involucrado en operación		0	0	0	0	0	0
	Multas por DGA		-88	-88	-88	-88	-88	-88
	Gastos Anuales		-187,29	-187,29	-187,29	-187,29	-187,29	-187,29
Flujos	Flujo de caja neto (UF)	-328	158,26	158,26	158,26	158,26	158,26	158,26
	Flujo de caja neto acumulado (UF)	-328	-169,74	-11,48	146,78	305,04	463,3	621,56
	Flujo de caja neto actualizado (UF)	-328,0	141,3	126,2	112,6	100,6	89,8	80,2
	Flujo de caja neto actualizado y acumulado (UF)	-328,0	-186,7	-60,5	52,1	152,7	242,5	322,7

• **Flujo de caja con variación +7%**

Flujo de caja de proyecto de sistema de monitoreo remoto para minera El Peñón		Años						
		0	1	2	3	4	5	6
Sin Proyecto	Pago personal involucrado en operación		-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55
	Multas por DGA		-176	-176	-176	-176	-176	-176
	Total		-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55
Con Proyecto	Inversión inicial	-328	0	0	0	0	0	0
	Mantención (Pago de plataformas TTN y ThingSpeak)		-108,77	-108,77	-108,77	-108,77	-108,77	-108,77
	Pago personal involucrado en operación		0	0	0	0	0	0
	Multas por DGA		-88	-88	-88	-88	-88	-88
	Gastos Anuales		-196,77	-196,77	-196,77	-196,77	-196,77	-196,77
Flujos	Flujo de caja neto (UF)	-328	148,78	148,78	148,78	148,78	148,78	148,78
	Flujo de caja neto acumulado (UF)	-328	-179,22	-30,44	118,34	267,12	415,9	564,68
	Flujo de caja neto actualizado (UF)	-328,0	132,8	118,6	105,9	94,6	84,4	75,4
	Flujo de caja neto actualizado y acumulado (UF)	-328,0	-195,2	-76,6	29,3	123,9	208,3	283,7

• **Flujo de caja con variación +15%**

Flujo de caja de proyecto de sistema de monitoreo remoto para minera El Peñón		Años						
		0	1	2	3	4	5	6
Sin Proyecto	Pago personal involucrado en operación		-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55	-169,55
	Multas por DGA		-176	-176	-176	-176	-176	-176
	Total		-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55	-345,55
Con Proyecto	Inversión inicial	-328	0	0	0	0	0	0
	Mantención (Pago de plataformas TTN y ThingSpeak)		-114,19	-114,19	-114,19	-114,19	-114,19	-114,19
	Pago personal involucrado en operación		0	0	0	0	0	0
	Multas por DGA		-88	-88	-88	-88	-88	-88
	Gastos Anuales		-202,19	-202,19	-202,19	-202,19	-202,19	-202,19
Flujos	Flujo de caja neto (UF)	-328	143,36	143,36	143,36	143,36	143,36	143,36
	Flujo de caja neto acumulado (UF)	-328	-184,64	-41,28	102,08	245,44	388,8	532,16
	Flujo de caja neto actualizado (UF)	-328,0	128,0	114,3	102,0	91,1	81,3	72,6
	Flujo de caja neto actualizado y acumulado (UF)	-328,0	-200,0	-85,7	16,3	107,4	188,8	261,4