



Universitat
Oberta
de Catalunya

Análisis y diseño de una red de sensores en un parque natural

Eduardo José Córdoba Peñalver

Grado en Tecnologías de las Telecomunicaciones
Integración en redes telemáticas

José López Vicario

Pere Tuset Peiró

22 de Enero de 2017



Esta obra está sujeta bajo una licencia de [Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Análisis y diseño de una red de sensores en un parque natural</i>
Nombre del autor:	<i>Eduardo José Córdoba Peñalver</i>
Nombre del consultor/a:	<i>José López Vicario</i>
Nombre del PRA:	<i>Pere Tuset Peiró</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	<i>01/2017</i>
Titulación o programa:	<i>Grado en Tecnologías de las Telecomunicaciones</i>
Área del trabajo final:	<i>Integración en redes telemáticas</i>
Idioma del trabajo:	<i>Castellano</i>
Palabras clave:	<i>Internet de las cosas, tecnología LoRaWAN, sensores inalámbricos.</i>

Resumen del trabajo:

El objetivo principal de este proyecto es desplegar una red de sensores inalámbricos realizando un análisis detallado de las necesidades básicas necesarias para dar suministro de comunicación entre nodos y gateway e inferir resultados, conclusiones y posibles mejoras futuras.

El proyecto esta basado en el estudio medioambiental realizado en el Parque Natural de la Sierra de Castril (Granada). Para llevar a cabo el proyecto, se realizará un análisis detallado de los elementos tecnológicos necesarios para obtención de información acerca de las condiciones ambientales en diferentes lugares.

Por un lado este proyecto se ofrecerá información acerca de la contaminación ambiental, así como la de ayudar a la reforestación y mejora del hábitat de los animales autóctonos de la zona informando el estado real del parque.

Por otro lado, se informará a los agentes forestales y excursionistas del estado de cada ruta. La tecnología utilizada será la comunicación LoRaWAN, la cual dará servicio de comunicación entre nodo y gateway, retransmitiendo información por 3G a Internet para poder visualizar la información desde cualquier lugar. de tal forma que exista un control absoluto del parque para prevención y actuación en caso de desastre.

Abstract:

The main objective of this project is to deploy a wireless sensor network by performing a detailed analysis of the basic needs necessary to provide communication between nodes and gateway and infer results, conclusions and possible future improvements.

The project is based on the environmental study carried out in the Sierra de Castril Natural Park (Granada). To carry out the project, we will carry out a detailed analysis of the technological elements necessary to obtain information about the environmental conditions in different places.

On the one hand, this project will provide information about environmental pollution, as well as help reforestation and improve the habitat of native animals in the area by reporting the actual state of the park.

On the other hand, it will inform the forest agents and hikers of the state of each route. The technology used will be the communication LoRaWAN, which will provide communication service between node and gateway, relaying this information over 3G to the Internet to be able to view the information from anywhere. so that there is absolute control of the park for prevention and rapid action In case of disaster.

Índice

1. Introducción	1
1.1 Contexto del proyecto	1
1.2 Descripción del proyecto	3
1.3 Objetivos del proyecto	4
1.4 Planificación del trabajo	6
1.5 Enfoque y método de trabajo	7
2. State of the art	9
2.1 Marco legislativo según espectro de radiofrecuencia	9
2.2. Historia de los sensores y tipos de comunicación existentes actuales	12
2.3. Características de la tecnología LoRaWAN	14
2.4. Elementos que conforman una red LoRaWAN	15
2.5. Características de los dispositivos	15
2.6. Bandas de frecuencia utilizadas	17
2.7. Seguridad en LoRaWAN	18
2.8. Comparativa entre las tecnologías actuales	19
3. Arquitectura del sistema	20
3.1 Spreading factor y sensibilidad con relación al receptor	21
3.2 Usuarios finales del sistema	22
3.3 Recursos energéticos para dar suministro a nuestro HW	23
4. Tecnologías de la red Wireless Sensor Network	24
4.1. Elementos de la red	24
5. Análisis del entorno	27
5.1. Ubicación y topología	27
5.2 Rutas del parque	28
6. Wireless Sensor Network en la Cerrada del río Castril	33
6.1 Antecedentes del diseño de la ruta	33
6.2 Calculo teórico de la señal	34
6.3 Diseño virtual de la red	35
7. Implantación en una situación real	51
7. Resultados obtenidos	66
8. Valoración económica del proyecto	67
8. Mejoras futuras	68
8.1 A nivel de proyecto	68
8.2 A nivel de hardware	68
8.3 A nivel de software	68
9. Conclusiones	69
10. Glosario	70
11. Bibliografía	72

Listas de figuras

ILUSTRACIÓN 1 MAPA TOPOGRÁFICO SIERRA DE CASTRIL	5
ILUSTRACIÓN 3 DIAGRAMA DE GANTT	6
ILUSTRACIÓN 4 PARQUE NATURAL SIERRA DE CASTRIL.....	8
ILUSTRACIÓN 5 ESPECTRO DE FRECUENCIA ONDAS.....	9
ILUSTRACIÓN 6 ESPECTRO DE FRECUENCIAS	10
ILUSTRACIÓN 7 LOCAL AREA NETWORK, LOW POWER WIDE AREA, CELLULAR NETWORK.....	13
ILUSTRACIÓN 8 PILA DE FUNCIONAMIENTO LoRAWAN	14
ILUSTRACIÓN 9 DISPOSITIVOS CLASE A.....	16
ILUSTRACIÓN 10 DISPOSITIVOS CLASE C.....	16
ILUSTRACIÓN 11 SEGURIDAD EN LoRAWAN	18
ILUSTRACIÓN 12 ARQUITECTURA DEL PROYECTO.....	20
ILUSTRACIÓN 13 RELACIÓN VELOCIDAD/DISTANCIA	21
ILUSTRACIÓN 14 EJEMPLO DE VISUALIZACIÓN DEL ENTORNO	22
ILUSTRACIÓN 15 EJEMPLO DE VISUALIZACIÓN DE LA RUTA	22
ILUSTRACIÓN 16 GATEWAY KERLINK	24
ILUSTRACIÓN 17 SENSOR VIBRATING WIDE DATALOGGER	25
ILUSTRACIÓN 18 FUNCIONAMIENTO SENSOR VW	25
ILUSTRACIÓN 19 SENSOR DIGITAL	26
ILUSTRACIÓN 20 FUNCIONAMIENTO SENSOR DIGITAL.....	26
ILUSTRACIÓN 21 UBICACIÓN DE CASTRIL DE LA PEÑA (GRANADA).....	27
ILUSTRACIÓN 22 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 1.....	28
ILUSTRACIÓN 23 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 2.....	28
ILUSTRACIÓN 24 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 3.....	29
ILUSTRACIÓN 25 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 4.....	29
ILUSTRACIÓN 26 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 5.....	30
ILUSTRACIÓN 27 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 6.....	30
ILUSTRACIÓN 28 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 7.....	31
ILUSTRACIÓN 29 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 8.....	31
ILUSTRACIÓN 30 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 9.....	32
ILUSTRACIÓN 31 PERFIL DE ELEVACIÓN RUTA 10.....	32
ILUSTRACIÓN 32 RECORRIDO DE LA RUTA 10	33
ILUSTRACIÓN 33 POSIBLE UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE	35
ILUSTRACIÓN 34 UBICACIÓN DE LA RUTA 10.....	36
ILUSTRACIÓN 35 HERRAMIENTA DE RADIOENLACE RADIO MOBILE	37
ILUSTRACIÓN 36 PROPIEDADES DE LA RED	37
ILUSTRACIÓN 37 TOPOLOGÍA DE LA RED.....	38
ILUSTRACIÓN 39 MIEMBROS DE LA RED	39
ILUSTRACIÓN 38 CONFIGURACIÓN NODO LOADSENSING Y ESTACIÓN BASE	38
ILUSTRACIÓN 40 SIMULACIÓN DEL MAPA	39
ILUSTRACIÓN 41 CONFIGURACIÓN DE ANTENA OMNIDIRECCIONAL.....	40
ILUSTRACIÓN 42 MAPA DE LA SIMULACIÓN	40
ILUSTRACIÓN 43 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 1	41
ILUSTRACIÓN 44 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 2	42
ILUSTRACIÓN 45 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 3	43
ILUSTRACIÓN 46 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 4	44
ILUSTRACIÓN 47 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 5	45
ILUSTRACIÓN 48 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 6	46
ILUSTRACIÓN 49 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 7	47
ILUSTRACIÓN 50 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 8	48
ILUSTRACIÓN 51 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 9	49
ILUSTRACIÓN 52 POE	51
ILUSTRACIÓN 53 CONEXIÓN DE ALIMENTACIÓN POR POE.....	51
ILUSTRACIÓN 54 CONEXIÓN SIM (3G).....	52
ILUSTRACIÓN 55 POSICIONAMIENTO DE LA GATEWAY.....	52
ILUSTRACIÓN 56 RECORRIDO DE LA RUTA 10	53

ILUSTRACIÓN 57 NUEVO MAPA DE COBERTURA	53
ILUSTRACIÓN 58 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 2	54
ILUSTRACIÓN 59 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 3	55
ILUSTRACIÓN 60 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 4	56
ILUSTRACIÓN 61 CARACTERÍSTICAS DE ENLACE ENTRE EMISOR Y NODO 5	57
ILUSTRACIÓN 62 NODO LOADSENSING UTILIZADO	58
ILUSTRACIÓN 63 CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS	59
ILUSTRACIÓN 64 PLATAFORMA WEB PARA VISUALIZAR CONEXIÓN DE NODOS	60
ILUSTRACIÓN 65 COBERTURA NODO 2 (ID 4061)	61
ILUSTRACIÓN 66 COBERTURA NODO 3 (ID 3973)	61
ILUSTRACIÓN 67 COBERTURA NODO 4 (ID 4039)	62
ILUSTRACIÓN 68 COBERTURA NODO 5 (ID 3871)	62
ILUSTRACIÓN 69 COMPARATIVA ENTRE CALCULO VIRTUAL Y TEÓRICO.....	63
ILUSTRACIÓN 70 PRESIÓN ATMOSFÉRICA NODO 2 (4061)	64
ILUSTRACIÓN 71 PRESIÓN ATMOSFÉRICA NODO 3 (3871)	64
ILUSTRACIÓN 72 PRESIÓN ATMOSFÉRICA NODO 4 (3871)	65
ILUSTRACIÓN 73 PRESIÓN ATMOSFÉRICA NODO 5 (4039)	65
ILUSTRACIÓN 74 RELACIÓN DE RX	66

1. Introducción

Este Trabajo Fin de Grado se presenta como un requisito final para la obtención del título de Grado en Tecnologías de las Telecomunicaciones que imparte la Universitat Oberta de Catalunya (UOC).

Para llevar a cabo este proyecto, se ha establecido una estructura de trabajo de investigación, quedando de la siguiente manera: Introducción, metodología o cuerpo del trabajo, análisis de elementos y el entorno, resultados y conclusiones finales.

En este capítulo, se hará una introducción acerca del propósito del proyecto y se indicará el objetivo principal del mismo. Además, de un breve resumen del contexto, descripción, objetivos, planificación, enfoque y método a seguir.

1.1 Contexto del proyecto

Hoy en día, vivimos en una sociedad en la que predominan las conexiones de dispositivos a Internet, este hecho es indispensable para el desarrollo social de nuestro día a día. El poder de tener todo al alcance de nuestra mano, obtener información acerca de cualquier lugar, lo hace aún más interesante. El aumento considerable del uso de Internet en la sociedad ha hecho posible su implementación masiva.

Por esta razón, el aumento del uso de Internet y la necesidad de utilizar cualquier dispositivo conectado a la red ha propiciado el desarrollo del concepto "*Internet of Things*", es decir, el "Internet de las cosas". Este concepto se basa en la interconexión de cualquier dispositivo con cualquier otro de su entorno. El objetivo primordial de este concepto es hacer que todos los dispositivos se comuniquen entre ellos mismos y en un futuro que sean inteligentes e independientes. El "Internet de las cosas", permite la relación entre objetos y personas, incluso permite la relación directa entre objetos para captar información, procesarla e intercambiarla. Este proceso permitirá realizar una infinidad de aplicaciones en los sectores de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

Las TIC nos ayudan a poder desempeñar nuestras tareas cotidianas cómodamente facilitándonos mucho el día a día, además nos proporcionan una seguridad adicional a nuestras vidas en diversos ámbitos. Por ejemplo, imaginemos un sistema que nos avisará acerca de si nos hemos dejado la vitrocerámica encendida al salir de casa, o si el frigorífico pierde temperatura; incluso estaría bien saber cuándo los alimentos han caducado e inmediatamente el sistema nos enviaría un mensaje informándonos de aquellos alimentos que se deben sustituir. Estos son algunos de los ejemplos reales que se podrían llevar a la práctica con el “*Internet of Things*”.

Este término hace posible la idea de las “*Smart Cities*”, es decir, ciudades inteligentes, el concepto “*Smart Cities*” pretende aprovechar todo el potencial de los avances tecnológicos para ahorrar costes económicos y crear ciudades mucho más eficientes en términos de ahorro energético, entre otros factores. Las ciudades inteligentes, permitirán proveer nuevos servicios económicos y sociales reduciendo su huella ambiental y creando un entorno más sostenible.

El gran aumento de la población, el aumento masivo de hidrocarburos y contaminantes hacen que las ciudades sean entornos no habitables. Gran parte de este problema se podría reducir e incluso solucionar en un futuro según el plan 20/20/20 de la Comisión Europea que prevé que para el año 2050 haya un 85% más de habitantes en las ciudades y por lo tanto más contaminación. Por este motivo, se ha implantado como objetivo reducir las emisiones de gases invernadero, utilizar fuentes de energía renovables y ahorrar en términos de eficiencia energética.

Una de las características más importantes de las ciudades inteligentes es la de contribuir a crear un entorno medioambiental sostenible y reducir en gran parte de la medida la contaminación ambiental y hacer una vida más cómoda para el ciudadano.

1.2 Descripción del proyecto

El proyecto se basa en el estudio medioambiental realizado en el Parque Natural de la Sierra de Castril (Granada), para llevar a cabo dicho proyecto, se ha realizado un análisis detallado de los elementos tecnológicos necesarios para la obtención de información acerca de las condiciones ambientales en diferentes zonas del parque natural.

Una de las finalidades de este proyecto es ayudar a la reforestación y mejora del hábitat de los animales autóctonos de la zona, así como informar del estado real del estado en el parque, además de ayudar a obtener información útil para evitar desastres ambientales y poder cuidar de nuestros espacios naturales. Hoy día, nuestro planeta está experimentando cambios meteorológicos considerables, entre estos cambios meteorológicos cabe destacar los cambios de temperatura constantes, heladas donde antes no eran comunes o calor en zonas donde debería hacer frío.

Esta serie de cambios, produce anomalías en nuestro medio ambiente que con un control exhaustivo del mismo podríamos prevenir e incluso mejorar día a día nuestro entorno. En este proyecto, se analizarán las características por las que destaca el Parque Natural de la Sierra de Castril y aquellas características por las que se deberían hacer un control del mismo o sacar partido de cualidades que no son utilizadas.

El control medioambiental servirá por otro lado para tener un control absoluto acerca del parque, es decir de trasladar el término "*Smart Cities*" al medio ambiente, hacer de una ciudad inteligente un bosque inteligente. Este hecho, ayudará a saber la temperatura exacta en un punto específico un día puntual en una estación del año en concreto, o saber la calidad de agua y oxígeno en el pico más alto de la montaña, entre otros factores medioambientales.

Por otro lado, este análisis puede trasladarse no solo a controlar un lugar determinado, sino de informar a los usuarios que pasen por la zona de las condiciones ambientales y del estado de la misma. Este proyecto puede ser útil para senderistas que desean estar informados en todo momento de las condiciones meteorológicas y ambientales del parque.

El principal motivo de este proyecto es aplicar aquellos conocimientos acerca de redes telemáticas, de comprender y diseñar una infraestructura de red que permita dar comunicación a todo el parque natural en su extensión utilizando una red de sensores inalámbricos “*Wireless Sensor Network*” distribuidos en puntos en concreto elegidos por el gran impacto de transeúntes de la zona o por el patrimonio local de lugar. Los sensores inalámbricos en gran parte de su uso serán de medición medioambiental, es decir de obtener información acerca de la geotecnia del lugar.

Para obtener información utilizaremos nodos inalámbricos previstos de pilas de alta duración que permitiendo obtener información acerca de la temperatura, humedad (en ambiente, en suelo a distintas profundidades), calidad de oxígeno ambiental, presión de caudal de agua, calidad del aire, actividad de la fauna y de la flora, actividad geológica, infrarrojos (incendios), ruido de la zona, intensidad lumínica y radiación solar y ultravioleta, estado del suelo de la zona, es decir el movimiento del suelo de la zona.

1.3 Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto será desplegar una red de sensores inalámbricos realizando un análisis detallado de las necesidades básicas necesarias para dar suministro de comunicación entre nodos y Gateways. El entorno de aplicación está situado en la Comunidad de Andalucía en un parque natural situado en un pueblo llamado Castril de la Peña (Granada) que hacen del lugar idóneo para desarrollar este tipo de proyectos.

Características de las que destaca el Parque Natural de la Sierra de Castril (Granada).

- Extensión del parque de una superficie de 12.265 hectáreas.
- Un río que nace en lo más alto de la montaña hasta su desembocadura donde a través de una presa da abastecimiento de agua a los habitantes del pueblo.
- Destaca por los enormes relieves Kársticos y dolinas del estilo de los que se dan en Torcal de Antequera.
- Barrancos, grutas, cuevas y suelo rico en aguas subterráneas.
- Numerosas rutas para los practicantes de senderismo, así como lugar frecuentado por personas practicantes de actividades deportivas en la montaña.

- Gran variedad de animales autóctonos de la zona, así como una vegetación de ribera con diversos tipos de vegetación únicos en el lugar.
- Animales en peligro en extinción, como el quebrantahuesos únicos en el lugar.

Objetivos predominantes del proyecto.

- Analizar las diferentes tecnologías en términos de comunicación a baja frecuencia y con un consumo energético lo más reducido posible.
- Estudio del Hardware y Software utilizado para la obtención de datos de cada sensor.
- Analizar y establecer los sensores en un lugar determinado en función de las zonas más transitables, es decir una red de sensores para obtener información de carácter medioambiental de las zonas más conocidas.
- Establecer una comunicación lo suficientemente viable para conocer las características más importantes de cada una de las rutas.
- Obtener información acerca de la presa ubicada en la parte baja del río, así como un control en términos de abastecimiento de agua a los habitantes del río.



Ilustración 1 Mapa topográfico Sierra de Castril

1.4 Planificación del trabajo

En este apartado definiremos el tiempo reflejado que ha llevado la realización de este proyecto, así como los puntos de desarrollo, las tareas realizadas y el presupuesto económico que supondrá llevar a la práctica para que sea viable este proyecto. Los principales puntos planteados quedarán reflejados en un diagrama de Gantt.

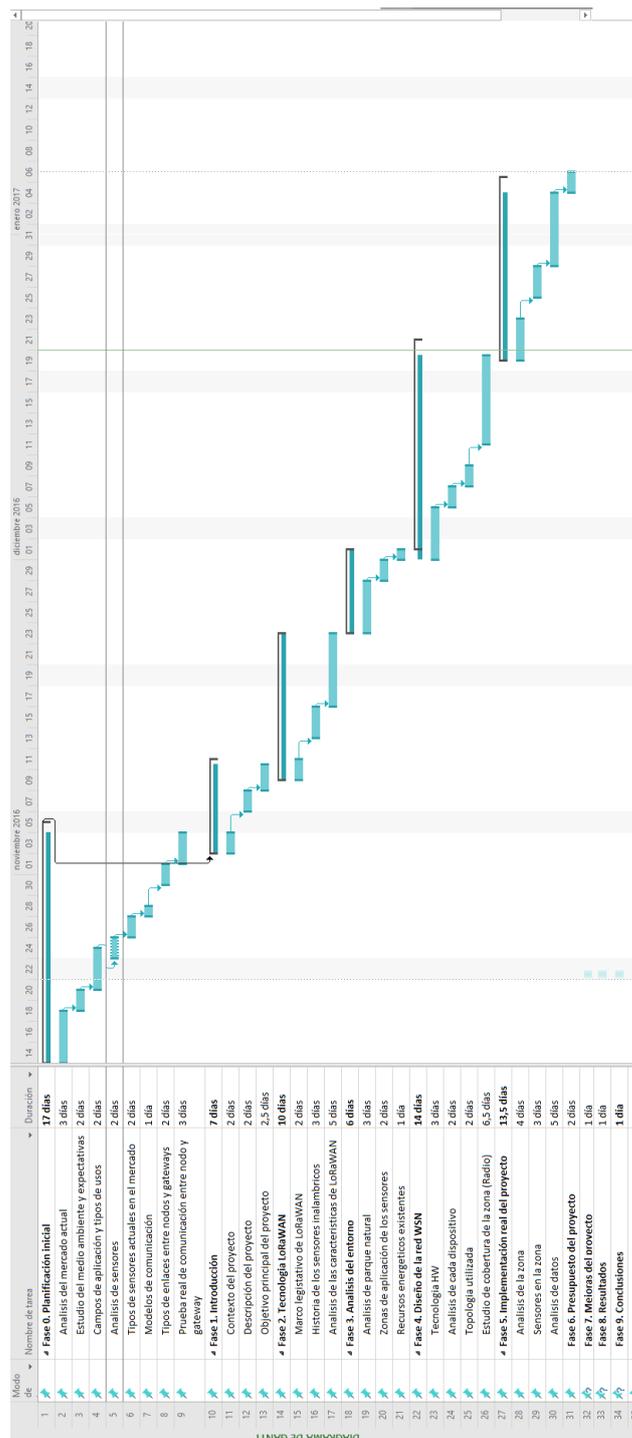


Ilustración 2 Diagrama de Gantt

1.5 Enfoque y método de trabajo

La planificación real del proyecto se llevará a cabo teniendo en cuenta el tiempo empleado para realizar el estudio completo del parque, así como la infraestructura necesaria para realizar una cobertura lo suficientemente grande para poder dar servicio a cada uno de los puntos donde posicionaremos los sensores.

En este proyecto se tendrá en cuenta factores tan importantes como distancia entre dispositivo y nodo, frecuencia de envío de información hasta la base, así como un claro ejemplo de posicionamiento de los dispositivos teniendo en cuenta la tecnología utilizada y el ruido que pueda generar el medio ambiente para dificultar la comunicación.

Los sistemas de telecomunicación utilizada será la comunicación *LoRaWan*, la cual dará servicio de comunicación entre nodo y Gateway para posteriormente retransmitir esta información utilizando comunicación 3G a Internet para poder visualizar la información desde cualquier lugar. La aplicación de esta tecnología será comprobada en una situación actual en el parque natural, en un punto determinado para analizar la solución técnica planteada, ya que, intervienen otros factores medioambientales que pueden dificultar la implementación de la teoría a la práctica.

Destacar que la implantación de este sistema se llevará a cabo en un lugar determinado de las diferentes zonas a analizar de nuestro proyecto debido al tiempo que disponible, al desgaste de los productos utilizados, así como la dificultad que tiene realizar una instalación en alta montaña, posicionando cada sensor y ajustando valores de cobertura.

En cuanto al impacto económico que puede suponer llevar a la práctica este proyecto, las pruebas se realizaran con instrumentación real y conociendo el precio de primera mano, así como los costes de implantación del sistema y el despliegue que puede suponer realizar la comunicación entre nodos y las diferentes Gateways.

En conclusión en este apartado se ha definido los puntos de desarrollo más importantes que se llevarán a cabo en este proyecto, este es solo una parte del proyecto completo debido a que una implantación real llevaría de mucho más tiempo y de muchas más personas para poder realizarlo en una situación real.



Ilustración 3 Parque Natural Sierra de Castril

2. State of the art

2.1 Marco legislativo según espectro de radiofrecuencia

La tecnología utilizada para la implantación de este proyecto tiene como requisito la obligación de un espacio radioeléctrico determinado en función de la gama de frecuencias utilizadas, divididas en diferentes bandas cuyo uso va destinado a diversos servicios de telecomunicaciones, televisión, radiodifusión, seguridad y defensa, emergencias, transporte e investigación científica. Es por ello, que como se trata de un recurso de carácter limitado, se considera de dominio público pero gestionado por diversos Estados.

A continuación se pueden citar algunos de los usos más frecuentes de estas ondas.



Ilustración 4 Espectro de frecuencia ondas

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán el espectro de frecuencias comprendido entre 868-870 MHz, distribución del espacio radioeléctrico en España destinada para aplicaciones de baja potencia y de datos en general de conformidad con la Decisión de la Comisión 2011/829/UE, por la que modifica la Decisión 2006/771/CE sobre la armonización del espacio radioeléctrico para su uso por dispositivos de corto alcance.

El espectro utilizado para nuestro proyecto será comprendido entre las frecuencias comprendidas entre valores de 868.000 - 868,600 MHz con 25 mW (p.r.a) de potencia aparente máxima. Estos dispositivos deberán utilizar técnicas de acceso y mitigación de interferencias con rendimiento al menos equivalente a las técnicas descritas en las

normas armonizadas según la Directiva 1999/5/CE, o alternativamente no sobrepasar el 0.1% de ciclo de trabajo.

Como se trata de dispositivos de corto alcance y de uso común en varias frecuencias tenemos sin perjuicio de otras utilizaciones expresamente reconocidas en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), que se destinan a estas aplicaciones las siguientes bandas de frecuencias.

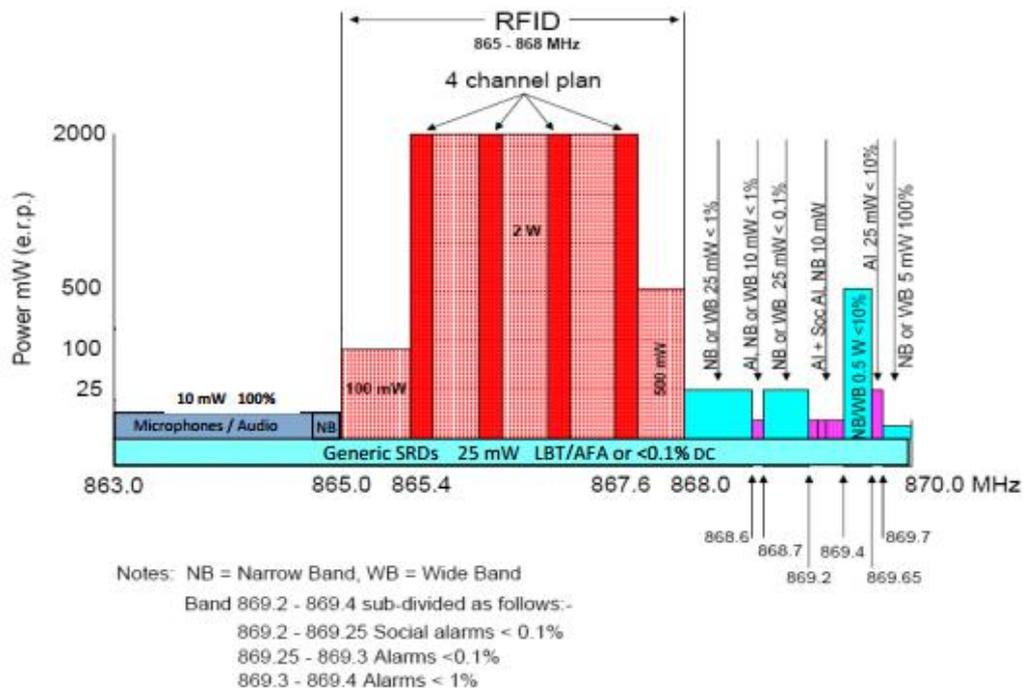


Ilustración 5 Espectro de frecuencias

Para el uso del proyecto se utilizarán dispositivos de baja potencia, como es el caso de la tecnología LoRaWAN que utiliza como banda principal la 868 MHz, actualmente soportado por "Internet of Things" donde los tres canales por defecto que debería escuchar la red de una Gateway son la 868.1, 868.2, 868.5.

Características legislativas que afecten al proyecto de forma reducida

- Potencia de máxima de transmisión/recepción de 25 mW (14 dBm).
- Rango de frecuencia utilizadas entre 867-869 MHz.
- No sobrepasar el 0.1 % de ciclo de trabajo.

Las características principales del espectro de frecuencias utilizado lo se puede ver en la siguiente tabla.

	Europa	Amèrica	China	Korea	Japan	India
Banda de frecuencia	867-869 MHz	902-928 MHz	470-510 MHz	920-925 MHz	920-925 MHz	855-867 MHz
Canales	10	64+8+8	Technical committee	Technical committee	Technical committee	Technical committee
Canales BW UP	125/250kHz	125/500 kHz				
Canales BW Dn	125 kHz	500 kHz				
Tx Power UP	+14 dBm	+20 dBm typ (+30 dBm allowed)				
TX Power DN	+14 dBm	+27 dBm				
SP UP	7-12	7-10				
Data rate	250 bps- 50 kbps	980 bps-21.9 kbps				
Link Budget UP	155 dB	154 dB				
Link Budget Dn	155 dB	157 dB				

Tabla 1 Espectro de frecuencias por países

LoRaWAN está definida en diez canales, ocho de los cuales tienen una velocidad de transmisión múltiple de 250bps a 5,5 kbps, un único canal LoRa de alta velocidad de datos a 11kbps y un único canal FSK a 50kbps. La potencia de salida máxima permitida por ETSI en Europa es de + 14dBm (25 mW), con la excepción de la banda G3 que permite + 27dBm. Existen restricciones de ciclo de servicio bajo ETSI pero no hay limitación máxima de transmisión o limitación de canal.

Como requisito adicional hay que prestar atención a las regulaciones europeas de frecuencia que imponen ciclos de trabajo específicos en los dispositivos para cada sub-banda. Éstos se aplican a cada dispositivo que transmite en una cierta frecuencia, así que ambas puertas de enlace y dispositivos tienen que respetar estos ciclos de trabajo. La mayoría de los canales utilizados por LoRaWAN tienen un ciclo de servicio tan bajo como 1% o incluso 0,1%. Como resultado, la red debe ser inteligente al programar mensajes en pasarelas que están menos ocupadas o en canales que tienen un ciclo de servicio más alto.

2.2. Historia de los sensores y tipos de comunicación existentes actuales

En términos de conectividad inalámbrica y en concreto en adquisición de información entre dos dispositivos, una de las principales soluciones que se implantó fue la de utilización de una SIM de datos para el envío remoto de información desde los dispositivos utilizando dos tipos de canales de datos GPRS (2G) y posteriormente HSPA (3G), este tipo de comunicación reciben el nombre "*Machine to Machine*" (M2M) caracterizadas por su alto coste económico y por consumir mucha energía. En este primer modo de comunicación no podía recibir el nombre de "*Internet of Things*" debido a que los dispositivos no disponían de IP, utilizaban como modo de identificación una tarjeta SIM cada uno de ellos.

Posteriormente surgió como alternativa un modo de comunicación inalámbrica de sensores mucho más eficiente, conocido con el nombre de *ZigBee*, es decir una tecnología "*Wireless Personal Area Network*" (WPAN) en configuración *mesh*. Este tipo de tecnología se caracterizaba por su bajo consumo, ideal para enviar un volumen pequeño de datos a una baja velocidad pero a un alcance muy corto, aproximadamente de unos 30 metros. Esta tecnología tiene como desventaja que para su implantación requiere formar una red de sensores lo suficientemente próximos entre ellos para que se produzca la comunicación por lo que no resulta adecuada implementar en lugares donde poner dispositivos aislados en el terreno.

Con el paso del tiempo, el interés general por el desarrollo de redes de sensores inalámbricos fue tan grande que surgieron tecnologías tan destacadas como las "*Low-Power Wide-Area Network*" (LPWAN) que cambian las ventajas del M2M con las ventajas WPAN ofreciendo un rango de transmisión de información de largo alcance, de hasta 10 Km en núcleo urbano y hasta 15 Km en un medio rural. Esta tecnología destaca por el hecho de transmitir pequeña información a baja velocidad maximizando la batería que alimenta estos dispositivos, además esta tecnología destaca por un coste económico pequeño en cuanto a términos de infraestructura de red comparada con el de telefonía celular. Este tipo de redes utilizan espectro de frecuencias libres como la 868 Mhz para España y la 900MHz en América, este tipo de tecnología posee características que la hacen única en cuanto modo de transmitir la información, ya que, permiten atravesar el subsuelo y el interior de casas.

Por último, en la actualidad se pueden encontrar dos tipos de tecnologías LPWAN, por un lado tenemos la tecnología Sigfox y por otro la tecnología LoRa. Otra tecnología LPWAN existentes son las LTE-M de la GSMA, Ingenuo o Weightless. La tecnología Sigfox corresponde a una red de telecomunicaciones de carácter privativo dedicada exclusivamente a “*Internet of Things*” donde dispone de infraestructuras de comunicaciones ya implantadas en lugares determinados. Este modo de comunicación tiene como desventaja que se paga por mensaje enviado, por lo que supone un desembolso económico para su utilización. Por otro lado, se dispone de la tecnología Lora, sistema desarrollado por Lora Alliance, organización que agrupa los principales operadores de comunicaciones y fabricantes de dispositivos con el objetivos de desarrollar un estándar libre en términos de comunicaciones lo suficientemente potente para que tenga acceso todo el mundo y que haga fácil la interconexión entre dispositivos sin importar la marca del fabricante que utilice esta comunicación.

	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
	40%	45%	15%
	Well established standards In building	Low power consumption Low cost Positioning	Existing coverage High data rate
	Battery Live Provisioning Network cost & dependencies	High data rate Emerging standards	Autonomy Total cost of ownership
	 		  

Ilustración 6 Local Area Network, Low Power Wide Area, Cellular Network

En conclusión, la necesidad de tener bajo control diferentes entornos ha hecho realidad la creación de una red de sensores capaz de interconectarse entre sí y poder desarrollar una tecnología de comunicación específica que cumpla con las necesidades de las personas, resumiendo en pocas palabras, transmitir pocos datos a baja velocidad, transmitir información a larga distancia, maximizando la duración de la batería de los dispositivos.

2.3. Características de la tecnología LoRaWAN

LoRaWAN es una especificación para redes de baja potencia y de gran extensión, el término que recibe a la red que lo forman es LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), esta red destaca por estar diseñada especialmente para dispositivos de pequeño tamaño y con un consumo de energía reducido operando en diferentes tipos de redes a nivel local, regional, nacional o global en todo el mundo. Se trata de un protocolo de control al medio (MAC) diseñado para conectar cualquier dispositivo de forma inalámbrica a Internet.

Esta tecnología puede asignar a la segunda y tercera capa del modelo de arquitectura OSI, llevándose a cabo en gran parte por la modulación FSK LoRA o en ISM. Los protocolos utilizados se definen por Alianza Lora y formalizados por la especificación LoRaWAN.

A continuación se mostrará la pila de funcionamiento de manera reducida.

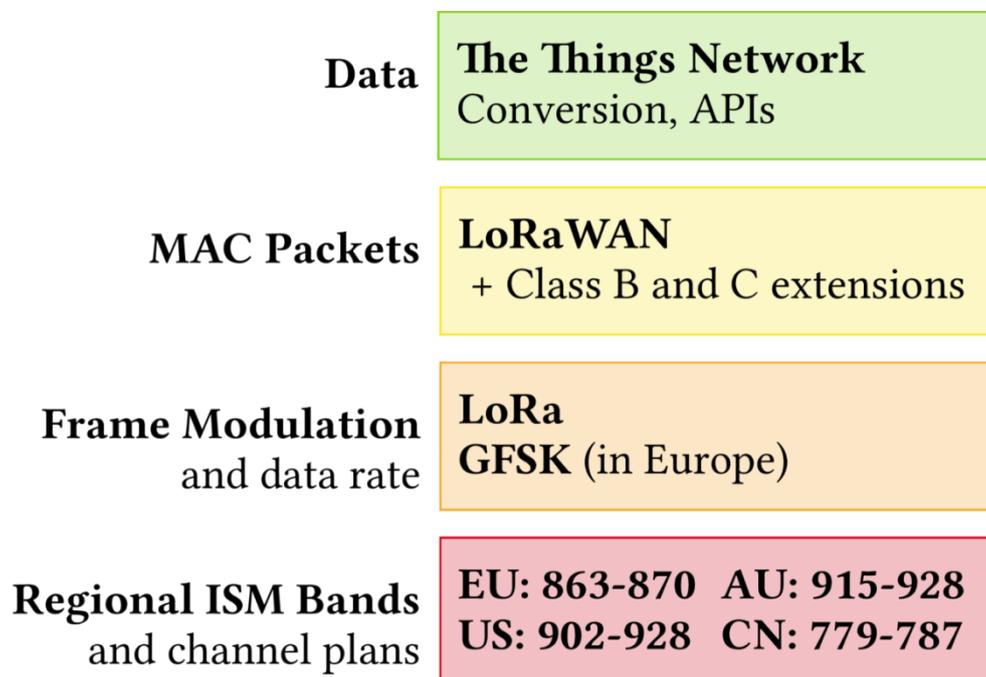


Ilustración 7 Pila de funcionamiento LoRaWAN

2.4. Elementos que conforman una red LoRaWAN

- Dispositivo o Mota. Instrumento de comunicación utilizado para realizar la medición de información en el lugar donde se implante, destaca por un uso muy bajo de potencia.
- Red. Camino de comunicación que permite el envío de mensajes que son recibidos por los nodos y enviados a la aplicación.
- Gateway. Dispositivo capaz de enviar y recibir información a los diferentes nodos. Puerta de enlace que establece entre nodos y dispositivos, para su posterior retransmisión a Internet y poder visualización de información desde cualquier lugar.
- Aplicación. Dispositivo capaz de gestionar un software que pueda interpretar los datos y pueda hacer lectura información recibida por la Gateway.
- Mensaje de enlace ascendente. Aquel envío de información desde un determinado dispositivo a la aplicación.
- Mensaje de enlace descendente. Es aquel envío de información desde una determinada aplicación a un dispositivo.

2.5. Características de los dispositivos

Esta tecnología esta agrupada en tres diferentes tipos, todo ellos deben implementar la Clase A, mientras que las otras dos clases, Clase B y Clase C son extensiones de la especificación de la Clase A.

- **Dispositivos clase A.** Aquellos que admiten la comunicación bidireccional entre dispositivos y puerta de enlace, es decir el envío de mensajes de forma ascendente desde el propio dispositivo al servidor enviado de forma aleatoria. En concreto, el dispositivo abre dos ventanas de recepción en un determinado momento desde de un envío de información de enlace ascendente. Sin embargo, si el servidor en ese momento no es capaz de responder, la próxima oportunidad de contestar al mensaje será después del próximo envío de

información de enlace ascendente del dispositivo. El servidor puede responder en cualquiera de las ventanas de recepción.

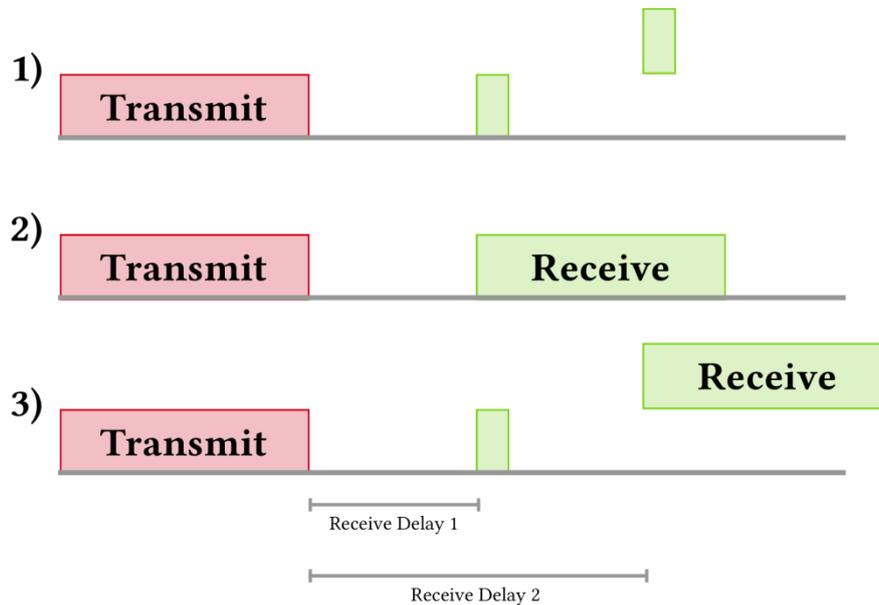


Ilustración 8 Dispositivos clase A

- **Dispositivos clase B.** Se trata de una extensión de la Clase A mediante la utilización de adición de ventanas, de forma que pueda recibir mensajes programados para un enlace descendente desde el servidor, es decir, transmitir *beacons* de forma sincronizada por la puerta de enlace, los dispositivos pueden abrir ventanas de recepción de forma periódica.
- **Dispositivos clase C.** Se trata de una extensión de la clase A que mantiene la recepción de ventanas abiertas mientras este transmitiendo. Esto permite que la comunicación sea de bajo ratio de latencia, pero consume mucha más energía que los dispositivos de clase A.



Ilustración 9 Dispositivos clase C

2.6. Bandas de frecuencia utilizadas

LoRaWAN utiliza un espectro de frecuencia de radio de libre utilización, es decir que cualquiera puede utilizar este espectro de frecuencia sin tener que pagar por su utilización. Este tipo de frecuencias es muy similar a las frecuencias 2.4 GHz y 5 GHz en todo el mundo, donde el uso de estas licencias son de libre utilización sin necesidad de licencia ni de permiso para la transmisión de información.

El uso de frecuencias de bajo espectro hace que el alcance de radio sea mucho mayor pero hay que prestar atención al hecho del uso de frecuencias libres en función del país donde nos encontremos, ya que, existen normativas de uso de espectro de frecuencias exclusivas en cada continente en todo el mundo.

➤ Europea 863-870 MHz y 433 MHz

De las frecuencias ISM disponibles, esta tecnología utiliza las bandas 863-870 MHz y 433 MHz. El primero de ellos se conoce como la banda de 868 MHz, que actualmente está siendo utilizado por "*Internet of Things*" mientras que la 433 MHz se implantará en un futuro.

LoRaWAN utiliza 3 canales comunes dentro del espectro de frecuencias 863-870 MHz, en concreto la utilización de (868.10, 868.30 y 868.50 MHz) soportado por dispositivos y redes que la forman. Estos 3 canales forman un conjunto de canales que todos los dispositivos pueden utilizar para unirse a la red, durante este proceso la red puede dar instrucciones a los diferentes dispositivos para añadir canales adicionales a su conjunto de canales, utilizados tanto para el enlace ascendente y descendente de información.

➤ Estados Unidos 902-928 MHz

LoRaWAN opera en E.E.U.U en la banda de frecuencias 902-928 MHz, a diferencia de la banda europea, la banda estadounidense ha dedicado un enlace ascendente y otro canal de enlace descendente dividiendo cada banda en 8 sub-bandas cada una de 8x125 KHz de canal de enlace ascendente y 1x500 KHz de canal de enlace descendente.

➤ Australiana

LoRaWAN establece en este país el espectro de frecuencias para uso de esta tecnología entre la 915-928 MHz siendo prácticamente el mismo que la estadounidense, excepto que las frecuencias de enlace ascendente utilizan frecuencias más altas que en la banda de US. Los canales de enlace descendente son los mismos que en la estadounidense 868 MHz.

➤ China, 779-787 MHz y 470-510 MHz

En este país el espectro de radiofrecuencia utilizado es similar a las bandas utilizadas en Europa. La banda 779-787 MHz tiene tres canales de 125 KHz (779,5, 779,7 y 779,9 MHz). La banda 470-510 china se comporta de igual forma que las bandas estadounidenses con 96 canales de enlace ascendente y 48 canales de enlace descendente, sin embargo, en algunas regiones de china se utilizan parte de estos subcanales para la energía eléctrica.

2.7. Seguridad en LoRaWAN

LoRaWAN utiliza como sistema de encriptación de seguridad tres claves diferentes de 128 bits. En primer lugar, se tiene la clave de aplicación "*AppKey*" que es conocido solamente por el dispositivo y por la aplicación, cuando un dispositivo se une a nuestra red una clave de sesión de aplicación y una clave de sesión de red se generan de forma automática. El *NwkSKey* se comparte por la red mientras que el *AppSKey* se mantiene como clave privada, estas claves se utilizan durante la utilización de la sesión.

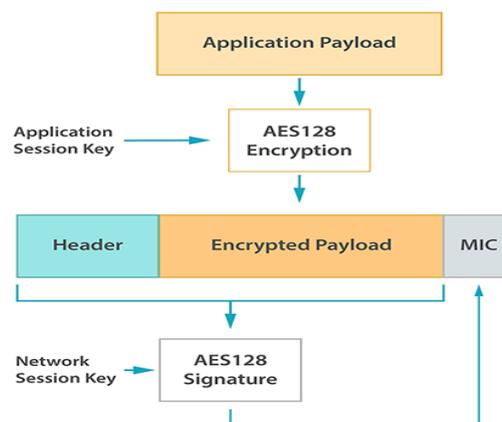


Ilustración 10 Seguridad en LoRaWAN

En conclusión, la encriptación de extremo a extremo utiliza un algoritmo AES-128, a continuación el NwkSkey es conocido por la red y el dispositivo, utilizado para validar la integridad de cada mensaje mediante el código de integridad del mensaje (MIC), similar a la suma de control, con un proceso de encriptación AES-CMAC.

2.8. Comparativa entre las tecnologías actuales

Technology	802.11a	WLAN	ZigBee	LTE-M	Sigfox	Lora
Sensibilidad	-106 dBm	-92 dBm	-100 dBm	-117 dBm	-126 dBm	-142 dBm
Link Budget	126 dB	112 dBm	108 dB	147 dB	146 dB	162 dB
Alcance max (O=Outdoor, I=Indor)	O:700 m I:100 m	O:200 m I:30 m	O:700 m I:100 m	O:1.7 km I:20 km	O:2 km I:20 km	O:3 km I:20 km
Data rate	100 kbps	6 Mbps	250kps	1Mbps	600bps	37.5-0.200 Kbps
Consumo Tx	300mA	350mA	35mA	800mA	120mA	120mA
Standby current	-	-	-	18 meses	90 meses	105 meses
RX current	50 mA	70 mA	26mA	50 mA	10mA	10 mA
Interferencias	moderada	Moderada	Mala	Moderada	Mala	Buena
Topologia	Estrella	Estrella	Malla	Estrella	Estrella	Estrella

Tabla 2 Tecnologías de radiocomunicaciones actuales

En referencia al proyecto planteado, existen implantaciones similares como la ZigBee, aplicado al sector agrario, para controlar diversos puntos de una zona, no obstante esta tecnología tiene como limitación, que los dispositivos deben estar próximos entre sí, a demás de un rango de cobertura muy limitado. El proyecto que se plantea presenta una solución para controlar una zona mucho más grande con mejores características y dando una posible solución al control total de un parque natural en toda su expansión.

3. Arquitectura del sistema

El diseño de la red se rige por una topología de red de estrellas en la que una Gateway como elemento central actúa como puente transparente entre los dispositivos recibiendo y retransmitiendo mensajes entre los dispositivos finales y un servidor de red central que conecta con el "back-end".

Cada Gateway se conecta al servidor de red utilizando una conexión TCP/IP estándar, mientras que los dispositivos finales utilizan una comunicación inalámbrica "single-hop", es decir que la información pasara del dispositivo a la Gateway sin utilizar elementos de comunicación intermediarios.

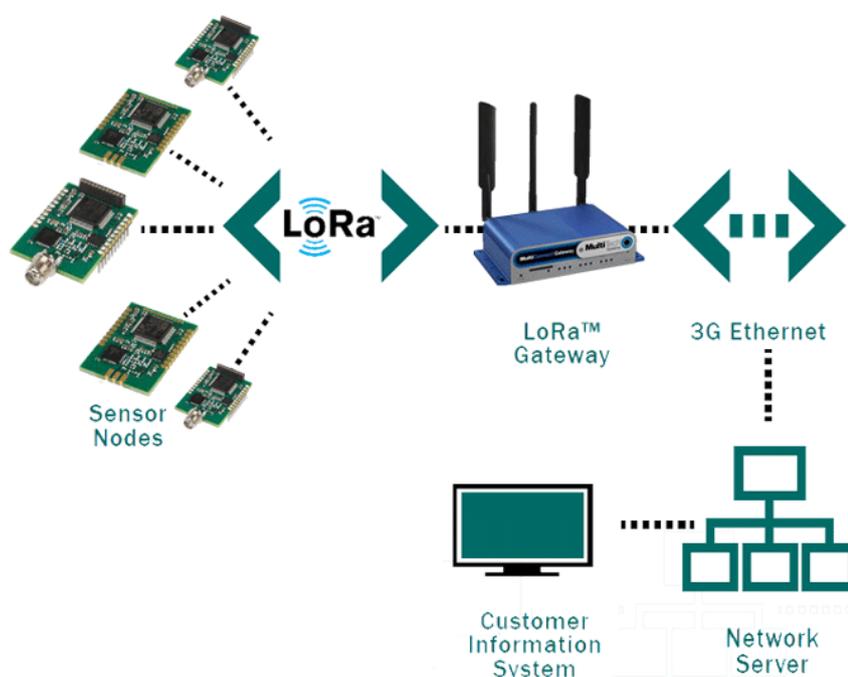


Ilustración 11 Arquitectura del proyecto

La comunicación se realiza de forma bidireccional, aunque también soporta "multicast" permitiendo así actualizaciones de software de forma remota u otra forma de retransmisión de mensajes de distribución en masa para ahorrar tiempos de comunicación.

Entre dispositivos finales y Gateway se pueden utilizar diferentes canales de frecuencia y velocidades de datos, esta se rige en función de las necesidades del entorno y de la comunicación, así como el alcance necesario entre los diferentes elementos.

3.1 Spreading factor y sensibilidad con relación al receptor

Como se puede ver la tecnología LoRaWAN utiliza una modulación basado en técnicas de espectro ensanchando y una variación de espectro de propagación. LoraWAN dispone de diferente ratio de velocidades en función de la señal, con velocidades comprendidas entre 0.3 Kbps y 22 Kbps basado en el factor de expansión. La red LoraWAN será la encargada de administrar el factor de ensanchamiento utilizado y la potencia de señal de transmisión para optimizar el rendimiento y la escalabilidad.

Esto quiere decir que cuando la red está demasiado densa, se podrían añadir nuevas puertas de enlace para adaptar el "data rate" y "RF output" será adaptado. A continuación en este cuadro se puede ver el "Spreading Factor (SF)", equivalente con el "bit rate" y la sensibilidad descrita en el Semtech AN1200.

Spreading Factor	Equivalent bit rate (kb/s)	Sensitivity (dBm)
12	0.293	-137
11	0.537	-134.5
10	0.976	-132
9	1.757	-129
8	3.125	-126
7	5.468	-123

Tabla 3 Relación Spreading factor

Se debe tener en cuenta que a mayor distancia entre el punto emisor y el nodo receptor, el spreading factor será mayor, disminuyendo la velocidad de transmisión, así como una sensibilidad por parte del receptor mucho más alta, en la siguiente figura se puede ver como evolucionaria la señal conforme la señal se aleja del punto el emisor y como la velocidad disminuye.

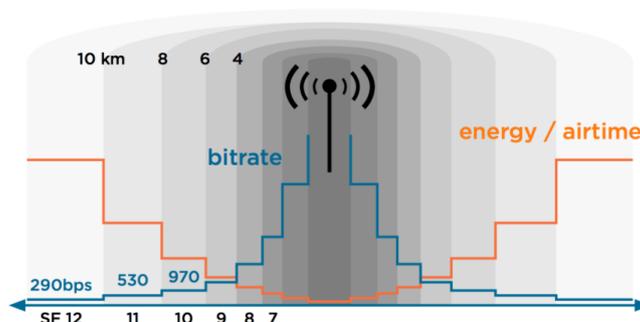


Ilustración 12 Relación velocidad/distancia

3.2 Usuarios finales del sistema.

En referencia a los usuarios finales se pueden destacar que son los encargados de interpretar de forma visual la información recibida por parte de los sensores, en nuestro proyecto definiremos de dos tipos de usuarios finales.

- **Agentes forestales del parque natural.** Estos usuarios son los encargados del estado de conservación de cualquier parte del parque natural, es por ello, que dicho proyecto satisface ciertas necesidades para este tipo de usuarios, de tal forma que la información que capta los sensores sea transmitida a un centro de procesamiento de datos de forma que los agentes forestales tengan en todo momento información de cada una de las rutas del parque.



Ilustración 13 Ejemplo de visualización del entorno

1. **Senderistas.** Estos usuarios son aquellos que realizan excursiones de forma habitual en zonas de montaña, es por ello, que saber de primera mano cómo se encuentra una ruta antes de empezar a la realizarla es de gran importancia, de forma previsoramente antes de iniciar un trayecto en concreto.



Ilustración 14 Ejemplo de visualización de la ruta

En conclusión, se definen ciertos usuarios, los cuales son usuarios constantes del parque natural que necesitan de forma constante saber cómo se encuentra cualquier zona en todo momento, gracias a este proyecto se ayudará a ser previsores de cualquier desastre que pueda ocurrir en este parque natural de forma que mejore su conservación de la zona.

3.3 Recursos energéticos para dar suministro a nuestro HW

➤ En relación a los nodos utilizados.

Para el proyecto se ha utilizado como fuente de energía para cada sensor inalámbrico la utilización pilas de litio SAFT con una dimensión de 33.4 mm (Al) - 16.5 mm (Ø) y un peso de 14,4 Gr con un voltaje de salida de 3.6 V y una capacidad mínima de 2.1Ah. La energía nominal de este componente es de 7.56 Wh y una capacidad de batería de 23.2 Ah, con un rango operacional de -60°C /+85°C.

La utilización de este componente hace posible que cada nodo pueda tener una autonomía de utilización en función de la obtención de datos (sample rate) en relación del tiempo en base a la siguiente tabla.

Estimación de uso de batería por sensor	1 SAMPLE EVERY 5 MIN	1 SAMPLE EVERY 60 MIN
5 - Channel vibrating wire	7 years	+10 year
4 - Channel analoge	6 months	More than 5 years
Digital bus 15 biaxial in- place inclin	3 months	2.5 years

Tabla 4 Uso de batería en dispositivos Loadensing

➤ En relación al uso de la Gateway se puede alimentar de tres formas distintas.

1. Power over Ethernet supply: 48V clase 0 (Max: 15 Watts, Nominal: 3 Watts)
2. DC power supply para uso con alimentador de 12 V o utilización de placa solar (11-30V).

4. Tecnologías de la red Wireless Sensor Network

4.1. Elementos de la red

Para el desarrollo del proyecto se necesitarán diferentes elementos de comunicación para poder establecer la comunicación entre diferentes dispositivos. A continuación daré detalles técnicos del dispositivo.

➤ Wirnet Station 868

Este dispositivo es el vínculo de comunicación entre dispositivo y la posterior comunicación con Internet, dispositivo diseñado para operar con diferentes servicios de conectividad M2M & IoT que desean operar en manera independiente.

La estación de comunicación utiliza la tecnología Long Range "Lora" desarrollado por la empresa Semtech que incorporan funciones de comunicación de manera cableada y de manera inalámbrica (Ethernet y 3G). Este producto destaca por estar ensamblado en una caja con certificación IP67 pudiéndose utilizar en diferentes entornos de instalación.



Ilustración 15 Gateway Kerlink

Para obtener el máximo del rendimiento que incorpora es necesario ubicar este dispositivo en una antena de retransmisión de un operador de telecomunicaciones, es decir, en la zona más alta posible realizando los cálculos necesarios de cobertura para poder ofrecer el máximo de cobertura posible. Puede establecer comunicaciones bidireccionales con varios equipos (sensores) ubicados a varios kilómetros de distancia.

Características

- Comunicación bidireccional
- Estación integrada, accesible de manera inalámbrica y de baja potencia
- Desarrollo de FW abierto basado en Linux OS
- Conectividad por Ethernet y GPRS/EDGE/3G

➤ Sensor Vibrating Wire datalogger

Este tipo de sensor es muy utilizado para monitorizar a nivel geotécnico y de manera estructural. El componente principal del sensor de cuerda vibrante es un alambre de acero que se tensa de forma que vibra a una frecuencia de resonancia dependiendo de la tensión del alambre.

Este tipo de sensor es muy común para medir cualquier característica acerca de tensión estática, presión, inclinación y desplazamiento. Se caracterizan por ser resistentes a la degradación de la señal de ruido eléctrico, longitud de cable entre otros factores. Es utilizado en aplicaciones para medición de datos en presas, túneles, minas, puentes, taludes inestables, etc.



Ilustración 16 Sensor Vibrating Wire datalogger

Funcionamiento del sensor

El funcionamiento del sensor se basa en sus mediciones a partir de deformaciones, las cuales producen voltajes o corrientes a partir de un esfuerzo mecánico, provocando vibraciones, para a posteriori poder medir la frecuencia vibratoria de un cable en tensión a una membrana y su tubo principal, midiendo la vibración por medio de una bobina electromagnética.

Modos de uso

- Piezómetro de cuerda vibrante
- Galgas extensiométricas de cuerda vibrante
- Transductores de presión
- Inclínómetros
- Fisurómetros
- Células de carga de cuerda vibrante

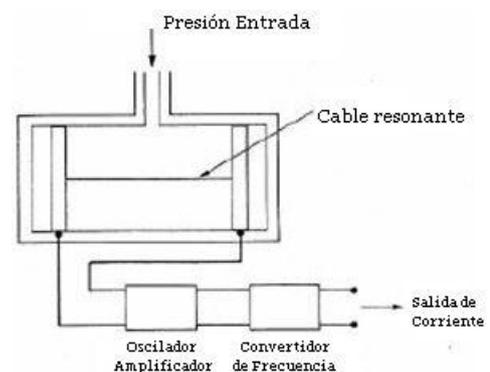


Ilustración 17 Funcionamiento sensor VW

➤ Sensor digital datalogger

Este tipo de sensor realiza la conversión de datos y la transmisión de ellos de forma digital, son utilizados a menudo para mediciones analíticas, es decir, para la medición de propiedades químicas y físicas de fluidos, como valor de pH, conductividad, oxígeno, entre otros, utilizadas para controles de procesos y del medio ambiente. Existe una diferencia entre otros tipos de sensor y es debido a las condiciones externas que pueden afectar a la medición. Este sensor es capaz de obtener información sin importar las condiciones externas, ya que, la señal es de forma digital.



Ilustración 18 Sensor digital

Funcionamiento del sensor

Este tipo de sensor electrónico se utiliza para medición, utilizando un sensor, cable o transmisor. El dispositivo incorpora un chip electrónico, la señal de medición del sensor se convierte en una señal digital dentro del sensor donde la transmisión de datos a través del cable es digital. Esta transmisión de datos digitales no es sensible a factores adyacentes, como longitud del cable, resistencia o impedancia, además no se ve comprometida por el ruido electromagnético.

Modo de uso

- Humedad en el ambiente
- Temperatura exterior
- Luminosidad y radiación solar
- Contaminación atmosférica
- Calidad del aire
- Calidad del agua
- Actividad de la fauna y de la flora
- Infrarrojos

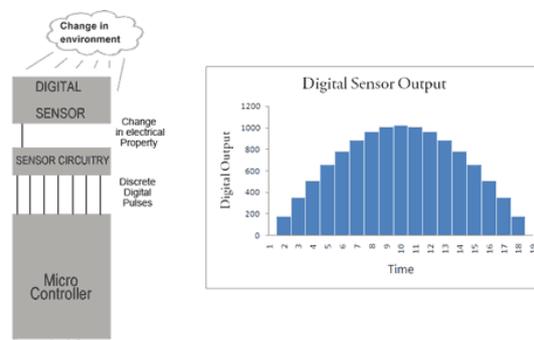


Ilustración 19 Funcionamiento sensor digital

5. Análisis del entorno

En este apartado se definirán la zona donde se realizará el estudio de cobertura, analizando cada una de las rutas de las que cuenta el entorno. Además de, un análisis exhaustivo de las condiciones medioambientales de cada zona.

5.1. Ubicación y topología

El estudio de cobertura se encuentra ubicado en una localidad de Granada llamada "Castril de la Peña" en la comunidad autónoma de Andalucía, situado en la parte suroccidental de la comarca de la localidad de Huescar. La localidad de Castril está conformada por varios núcleos de la zona ubicada en la falda de una escarpada de peña que linda con el Parque Natural de Cazorla, Segura y Las Villas.

La sierra de Castril está declarada parque natural, donde destacan la abundancia de corrientes de aguas, grutas, galerías y de su espectacular relieve topográfico. El área de estudio de este proyecto es la realizar un estudio a nivel de cobertura de lo que supondría poder realizar un control inalámbrico de cada una de las rutas que conforman este parque natural.

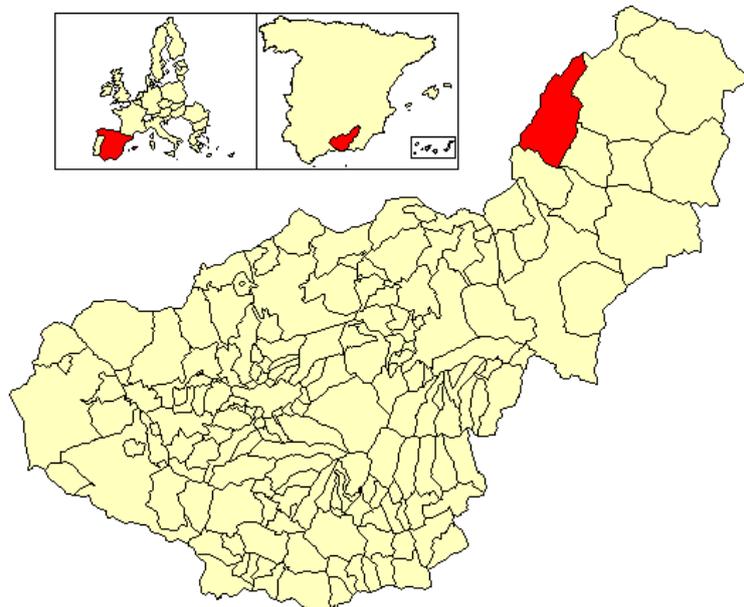


Ilustración 20 Ubicación de Castril de la Peña (Granada)

5.2 Rutas del parque

En este apartado se analizarán las diferentes rutas de las que destaca el parque natural, analizando en todo momento la topográfica existente de cada zona.

➤ Ruta 1. Cerro de las Empanadas

Esta ruta destaca por un magnífico ejemplo de un elemento paisajístico de lo más destacado de la sierra, las cerradas de los barrancos, con profundas gargantas flanqueadas por paredones de la zona. La ruta comienza en los Cortijos del Nacimiento y realiza un recorrido de forma circular hasta el punto inicial con una longitud total de 18 km.

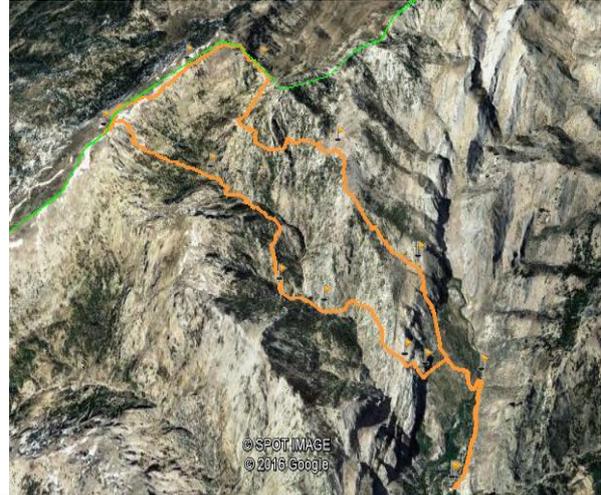


Ilustración 21 Perfil de elevación ruta 1

➤ Ruta 2. Barranco de la Osa

Esta ruta discurre por una zona de escasa vegetación pero pastoreada por los trashumantes de la zona, que comienza en la zona de baja de los Cortijos del Nacimiento con una longitud de alrededor de 8 Km que transcurre de forma circular a lo largo de parque hasta finalizar en el punto inicial.



Ilustración 22 Perfil de elevación ruta 2

➤ **Ruta 3.** Prados del Conde

Esta ruta recorre las zona de los prados de altura del Parque Natural, donde predomina la mayor parte de la cabaña ganadera de Castril con alturas como el pico de Mojón Alto (2135m) y el de Cerro Laguna (2.059 m). El punto de inicio de la ruta comienza los Cortijos del Nacimiento con una longitud de 12 Km de forma lineal hasta la zona alta del pico Mojón Alto.

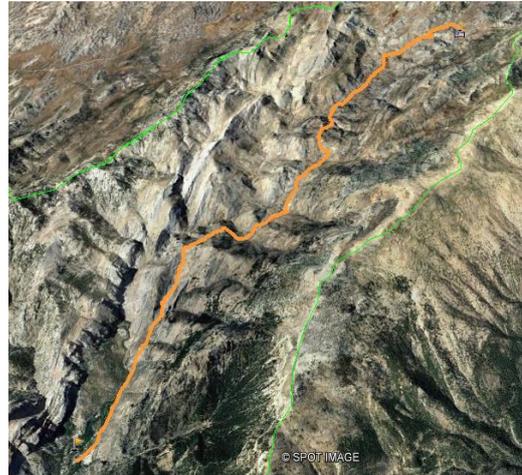


Ilustración 23 Perfil de elevación ruta 3

➤ **Ruta 4.** Nacimiento del Río Castril

Esta ruta transcurre por la zona baja del parque que accede hasta los surgencias donde nace el río Castril, destacado por un entorno de canchales, tajos y grandes paredones rocosos. El punto de inicio es en los Cortijos del Nacimiento con una longitud de 2.6 Km de forma lineal y sin dificultad añadida a la ruta.



Ilustración 24 Perfil de elevación ruta 4

➤ **Ruta 5.** Hoyos de Moreno-Canaleja

Esta ruta se desarrolla a lo largo de dos barrancos de Sierra Seca, donde podremos ver los Hoyos de Moreno donde se encuentran algunas de las masas forestales mejor conservadas del parque, dominadas por gran variedad de pinos salgareños, encinas, quejigos y otros arbustos de interés. La ruta comienza a 200m de puente Pino Hermoso, con una longitud total de 9.1 Km que se desarrolla a de forma lineal a lo largo de la zona.

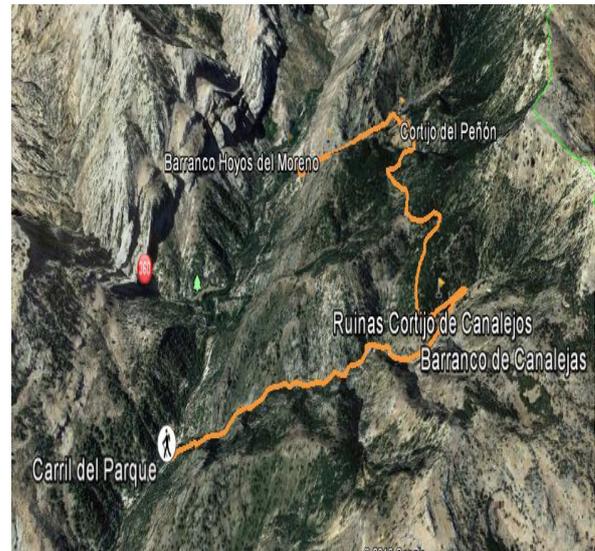


Ilustración 25 Perfil de elevación ruta 5

➤ **Ruta 6.** Río Castril

Esta ruta transcurre la mayor parte del trazado junto al cauce del río Castril hasta el final de la ruta en los Cortijos del Nacimiento en pleno corazón del Parque Natural. Esta ruta tiene una longitud de 13.5 Km de forma lineal hasta el final de la ruta.



Ilustración 26 Perfil de elevación ruta 6

➤ **Ruta 7.** Cerrada de la Magdalena

Esta ruta transcurre por una zona caracterizada por un ecosistema característico del Parque Natural, donde atravesará un encinar y un pinar salgareño muy próximos al río Castril. La ruta comienza en el Puente de Pino Hermoso con una longitud de recorrido de 1.5 Km de forma lineal a lo largo de la ruta.

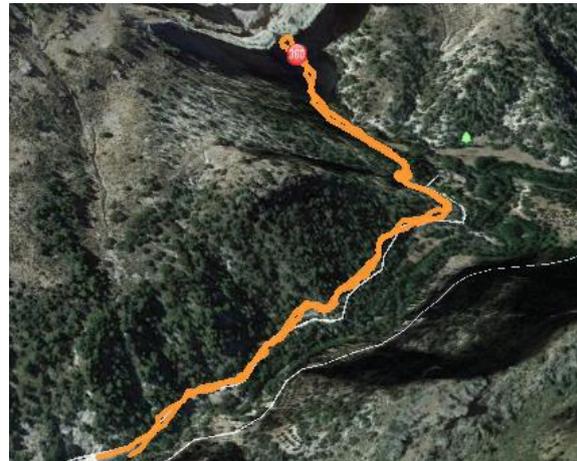


Ilustración 27 Perfil de elevación ruta 7

➤ **Ruta 8.** Cerrada de Lezar

Esta ruta transcurre por el macizo de Suerte Somera y del interior de la garganta del barranco del Buitre, por la que discurre un pequeño curso de agua con un caudal elevado de agua en zonas de lluvias en la zona. La ruta comienza en el Camino del Nacimiento con una longitud de 1.9 Km de forma lineal hasta el fin del recorrido.

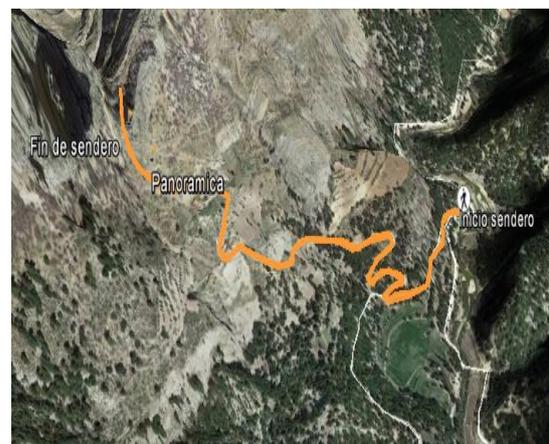


Ilustración 28 Perfil de elevación ruta 8

➤ **Ruta 9. Cerro del Buitre**

Esta ruta destaca por ser de unas de las zonas más altas del Parque, con el pico del Buitre a 2020 m de altitud, destaca por lo singular de este pico y los paisajes que pueden contemplarse desde su cima. Esta ruta comienza en el Collado del Laude con una longitud de 19 Km de forma circular a lo largo del recorrido.

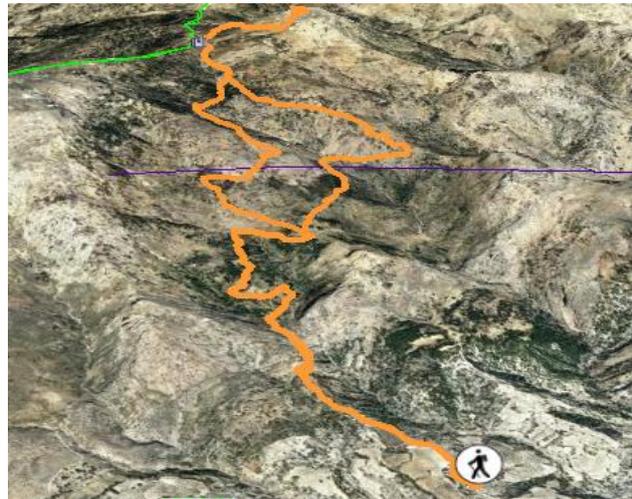


Ilustración 29 Perfil de elevación ruta 9

➤ **Ruta 10. Cerrada de Castril**

Esta itinerario se desarrolla en pleno corazón de la localidad de Castril, donde destaca por una visión singular del río, del pueblo y de la pasarela de madera que se puede encontrar a lo largo de la ruta. La ruta cuenta con una longitud de 3 Km de forma lineal hasta final del recorrido.



Ilustración 30 Perfil de elevación ruta 10

6. Wireless Sensor Network en la Cerrada del río Castril

6.1 Antecedentes del diseño de la ruta

Para poder realizar el diseño de una red de sensores inalámbricos se es necesario realizar un estudio detallado de la topografía del medio para poder observar las diferentes alturas que tendremos en cada ruta, de tal forma que se puedan observar la ubicación de cada uno de los receptores de forma que sea viable para el desarrollo en un entorno real.

Para ello se utilizará el software de "Google Earth" donde ver un perfil de elevación del terreno y de esta manera ver cuál sería el punto idóneo donde ubicar el emisor de la comunicación para dar servicio a cada uno de los sensores ubicados a lo largo del "track" del parque y así tener comunicación con cada nodo receptor.

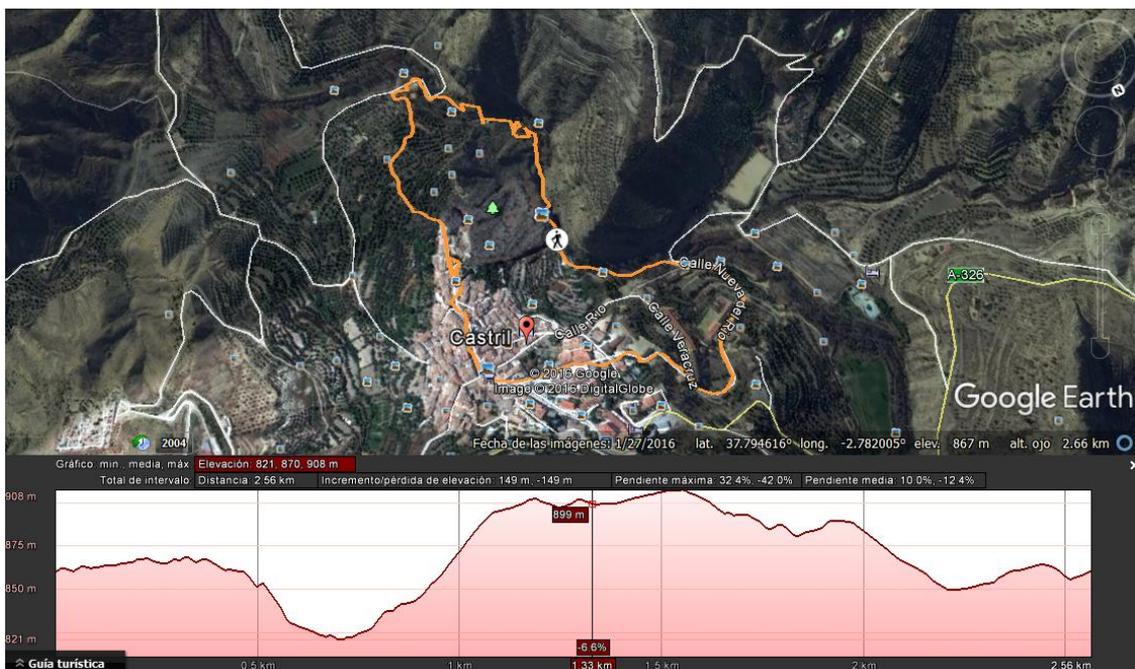


Ilustración 31 Recorrido de la ruta 10

El diseño de la red para la de la Cerrada del río Castril está compuesta un emisor una zona determinada para dar servicio a cada uno de los nueve sensores que se encuentran a lo largo de todo el recorrido de forma determinada para analizar en cada una de las zonas unas características en concreto.

Los sensores finales llevaran conectados los sensores necesarios para obtener información acerca del medio de forma inmediata para poder tener un control absoluto del recorrido de la ruta.

6.2 Calculo teórico de la señal

➤ Ecuación de Maxwell de propagación de ondas electromagnéticas

Los campos electromagnéticos se propagan por el espacio en forma de ondas electromagnéticas, de forma que viajan a través de un medio en el vacío. Existen ecuaciones necesarias para describir el momento de propagación de las ondas, en presencia de materia o en campo vacío.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu\epsilon \frac{\partial}{\partial t} \iint \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

En función de la distancia del enlace la onda electromagnética va cambiando en todo el recorrido, cambiando en su forma y modificándose perdiendo intensidad. El modelo de cálculo de propagación de onda que se puede encontrar es deducido por las ecuaciones de Maxwell, donde se pueden encontrar las pérdidas en el espacio libre de la señal. La ecuación de transmisión permite determinar la potencia recibida respecto una antena receptora en un enlace de comunicación por radio, pero sin prestar atención a las condiciones del medio, es decir, se interpretará que el medio tiene una condiciones ideales de espacio libre.

La fórmula de transmisión.

$$P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot r} \right)^2 [W]$$

Donde:

- P_r es la potencia recibida en los terminales de entrada de la antena receptora
- P_t es la potencia de la antena transmisora
- G_t y G_r es la ganancia de la antena transmisora y ganancia de la antena receptora
- λ longitud de onda
- r distancia existente en el enlace,

6.3 Diseño virtual de la red

➤ Ubicación de la Gateway.

En primer lugar, se ubicará el dispositivo emisor donde se pueda recibir información acerca de cada uno de los sensores de la ruta de forma optima para cubrir el mayor área posible de cobertura y así hacer más escalable la red.

El dispositivo emisor se debe comunicar con cada uno de los sensores instalados en la zona, así como tener comunicación directa a Internet utilizando la red 3G, este se ubicará en las coordenadas longitud $-2^{\circ} 77'$ y latitud $37^{\circ} 79'$.



Ilustración 32 Posible ubicación de la estación base

Para ello el dispositivo se instalará a la una altura de 50 metros de altitud y así aprovechar las instalaciones que existen en la zona de forma que se puedan reaprovechar el material de telecomunicaciones disponible en el lugar, es decir la Gateway se ubicará a unos 50 metros sobre el nivel del suelo.

Ahora se realizarán los análisis necesarios utilizando el programa Radio Mobile para establecer un mapa de cobertura de la zona en base a la ubicación de emisión elegida y así poder verificar la viabilidad real del proyecto.

➤ Ubicación de los sensores

Se establecen los sensores inalámbricos en lugares en determinados para dar servicio en cada zona y así poder obtener información en cada lugar, para ello se utilizará el software de "Google Earth", el cual nos proporciona junto la herramienta Wikiloc de la ruta que analizaremos. Como se puede ver en la imagen, existen unas etiquetas en color amarillo que corresponden al lugar en exacto donde se ubicarán los sensores en el entorno de simulación.

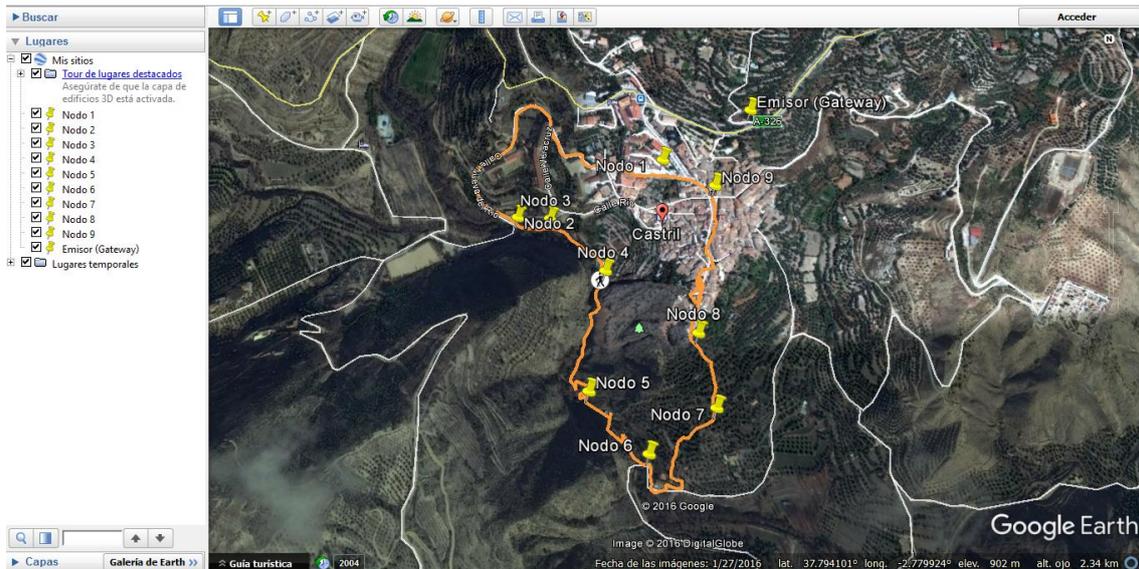


Ilustración 33 Ubicación de la ruta 10

En la siguiente tabla se muestran la ubicación de cada uno de los sensores a lo largo del recorrido.

Nodos	Latitud	Longitud
Nodo 1	37.47474	-2.46485
Nodo 2	37.79646	-2.78199
Nodo 3	37.79597	-2.78391
Nodo 4	37.47407	-2.46536
Nodo 5	37.47330	-2.46551
Nodo 6	37.47293	-2.46509
Nodo 7	37.47317	-2.46455
Nodo 8	37.47361	-2.46466
Nodo 9	37.47454	-2.46445

Tabla 5 Ubicación de los sensores

➤ Simulación de radioenlace con Radio Mobile

Para poder llevar a cabo una simulación lo más detallada posible y posteriori trasladarlo a la práctica se utilizarán un software para calcular radioenlaces de forma virtual, la elección de este programa se debe a que se trata de un programa de carácter gratuito, además de ofrecer herramientas completas para realizar una planificación de red lo más completa posible.

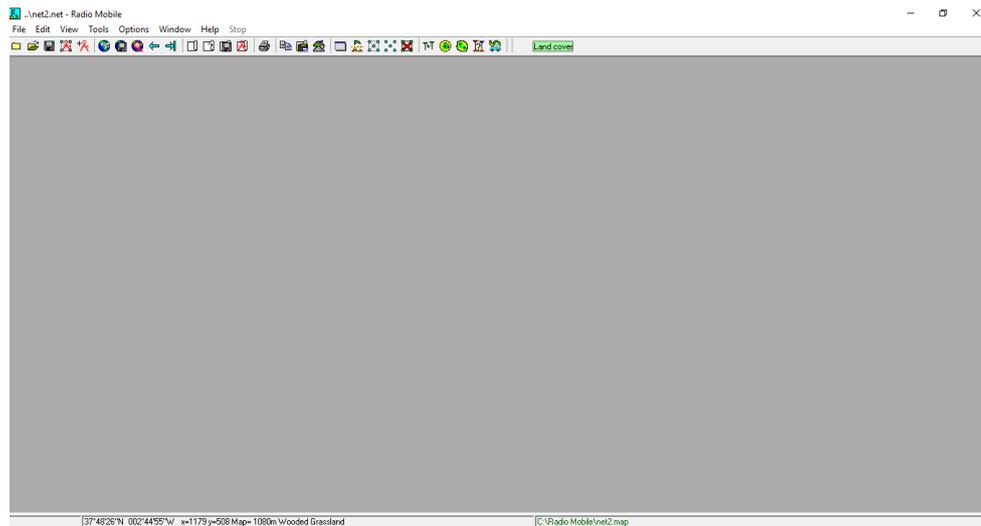


Ilustración 34 Herramienta de radioenlace Radio Mobile

Para ello, a través de esta ventana se podrán crear redes en base a las características de cada sistema, es decir describir las características físicas que deseemos emular para poder realizar una simulación.

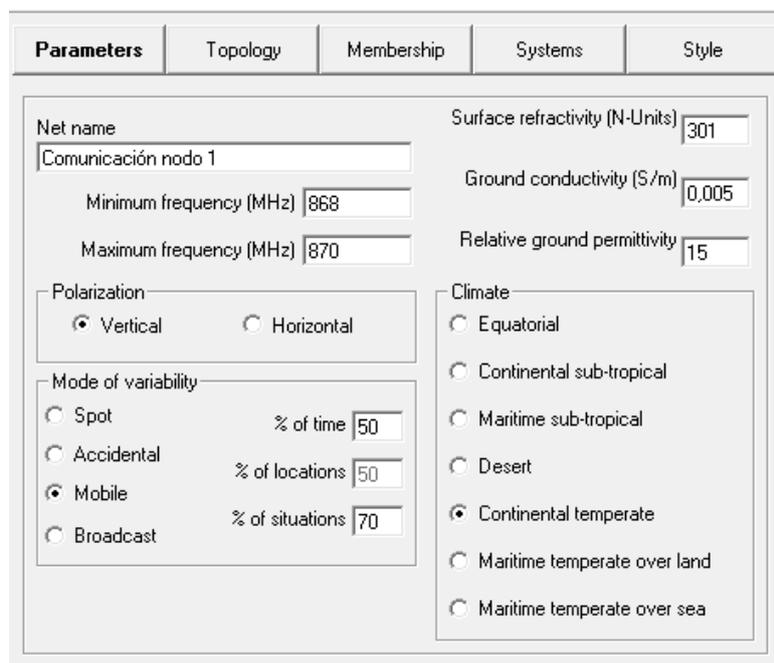


Ilustración 35 Propiedades de la red

En esta interfaz se pueden definir parámetros exclusivos para el diseño de la red, para ello en primer lugar se deberán nombrar cada una de las redes que se van a desplegar, de forma que se puedan aplicar diferentes parámetros a cada una de nuestras redes y así poder diferenciar cada una de ellas.

Otra característica importante es la elección de la topología de red, como se ha comentado, la red estará formada por un nodo central y varios nodos esclavo, por lo que se trata de una topología de red de estrellas.

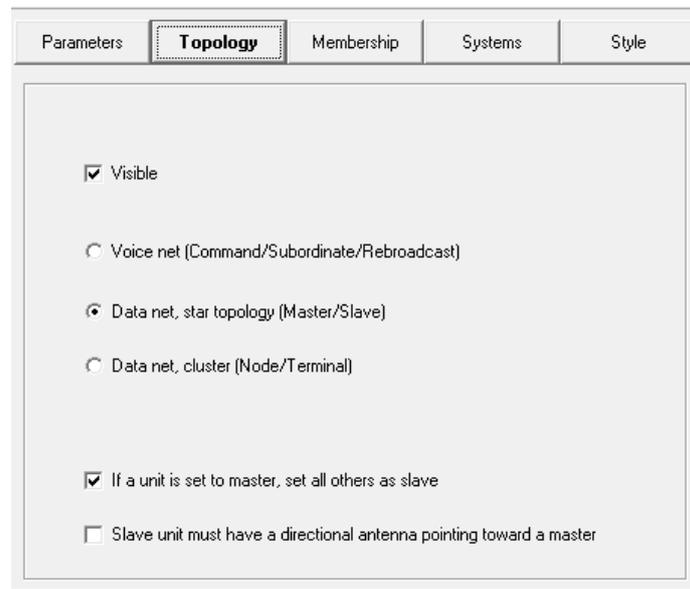


Ilustración 36 Topología de la red

Se configuran cada uno de los sistemas que forman nuestra red, estableciendo valores como potencia de emisión, sensibilidad de recepción, tipo de antena e incluso la altura de la antena.

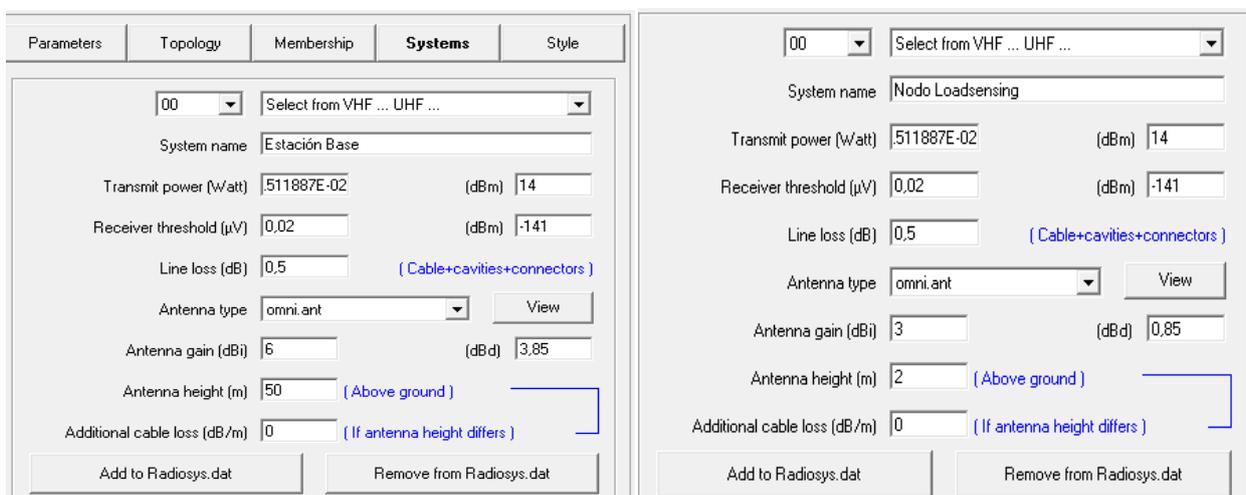


Ilustración 37 Configuración nodo Loadensing y estación base

A continuación se deberá configurar los miembros que forman parte cada red, para ello debemos configurar los sistemas de cada nodo.

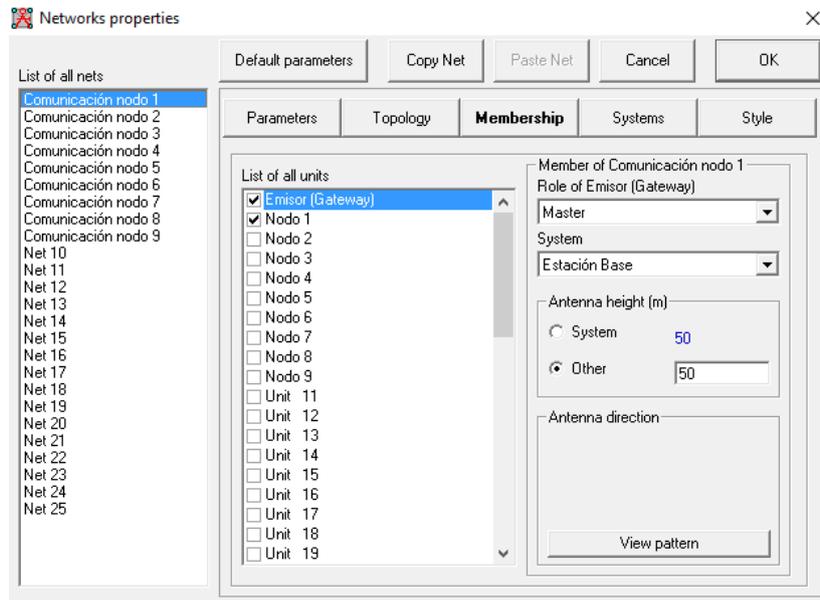


Ilustración 38 Miembros de la red

Como se puede ver cada red está formada por un nodo emisor (Gateway) y un nodo receptor (Loadsensing) formada por características diferentes de forma que forme una topología de red en estrella.

Por otro lado, una vez que tenemos configurado los dispositivos en la herramienta de simulación, se procederá a realizar un mapa del entorno de forma visual.

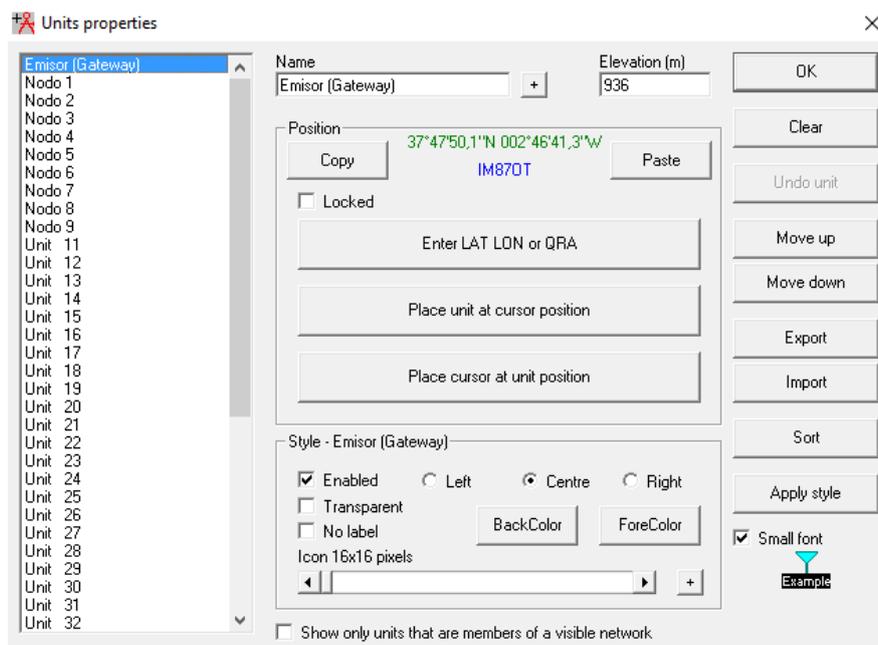


Ilustración 39 Simulación del mapa

Además, el programa de simulación Radio Mobile permite seleccionar y visualizar distintos tipos de antenas que pueden ser utilizado para el diseño de la red, así como o introducir diagramas de radiación de antenas definidos por el usuario. En nuestro caso se utilizarán un patrón de antena omnidireccional. Si deseamos se puede configurar parámetros como modificar el azimut y la elevación de la antena, la ganancia en la representación, polarización de la antena entre otros factores.

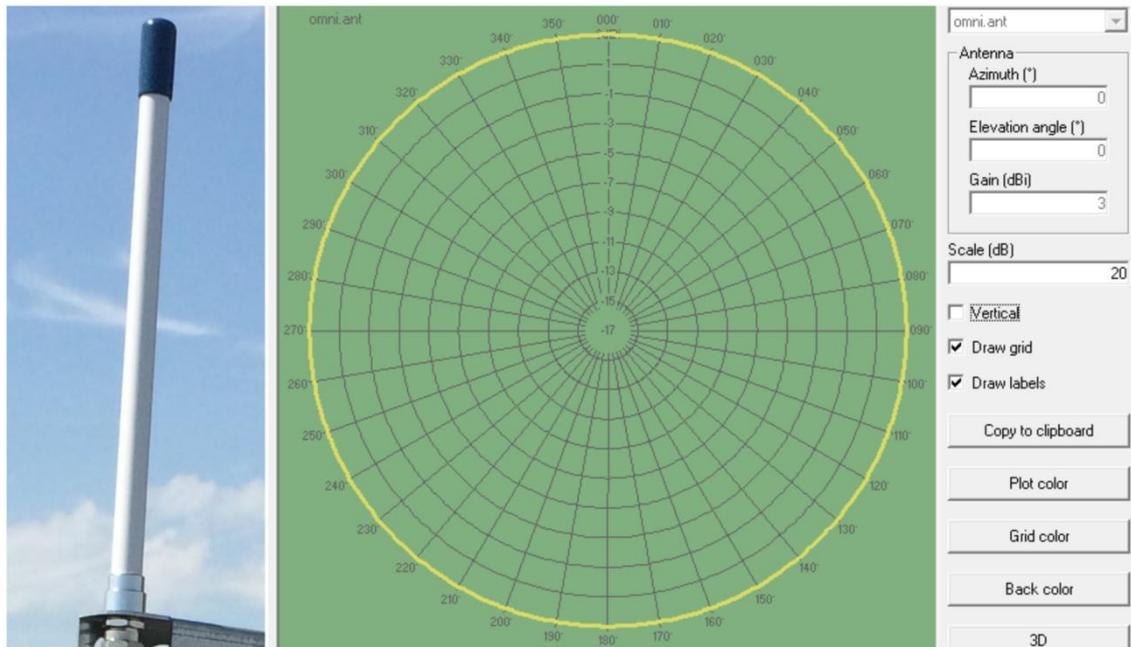


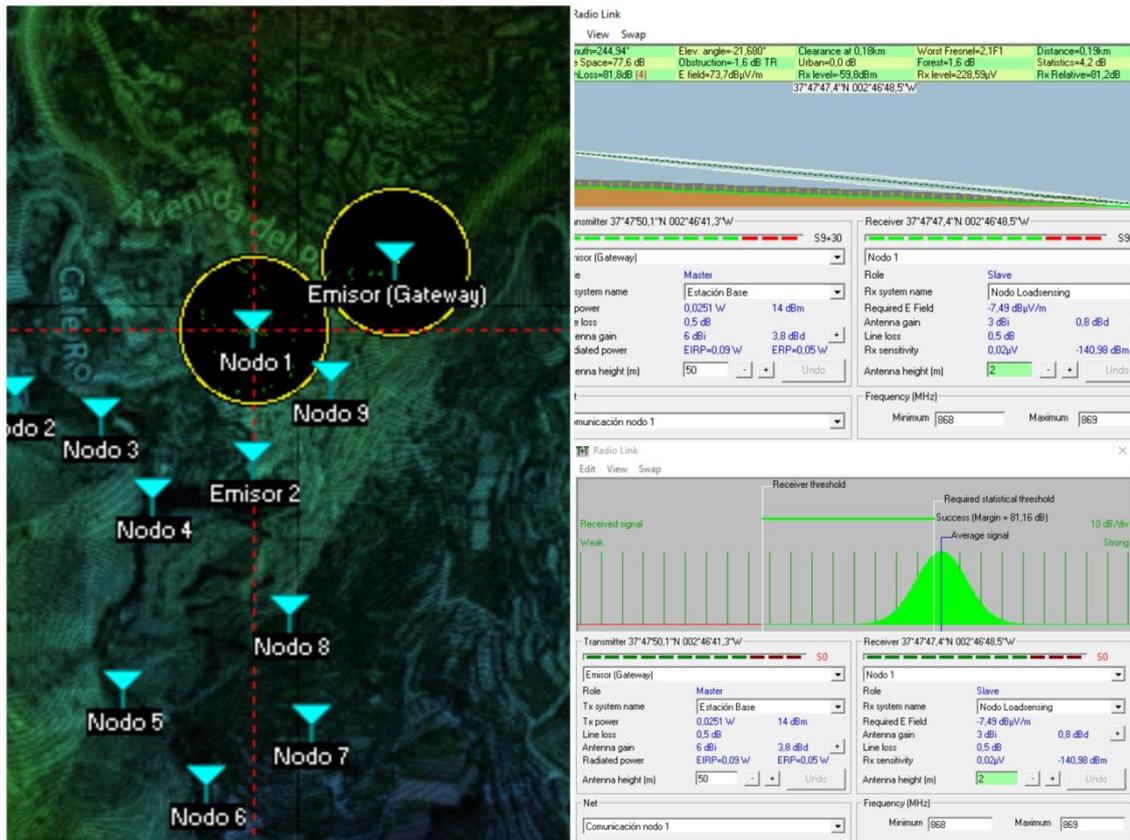
Ilustración 40 Configuración de antena omnidireccional

Por último, si la configuración realizada ha sido correcta, se visualizarán los diferentes enlaces que existen entre dispositivos. El color verde denota que el enlace es posible y viable para una implantación real en un futuro.



Ilustración 41 Mapa de la simulación

- Enlace radio y diagrama de cobertura entre emisor y nodos



Distancia entre Emisor y nodo 1	200 metros
Variación de elevación del terreno	37.9 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	77.6 dB
Obstrucción	0.1 dB
Bosque	1 dB
Nivel Rx	-59.8 dBm

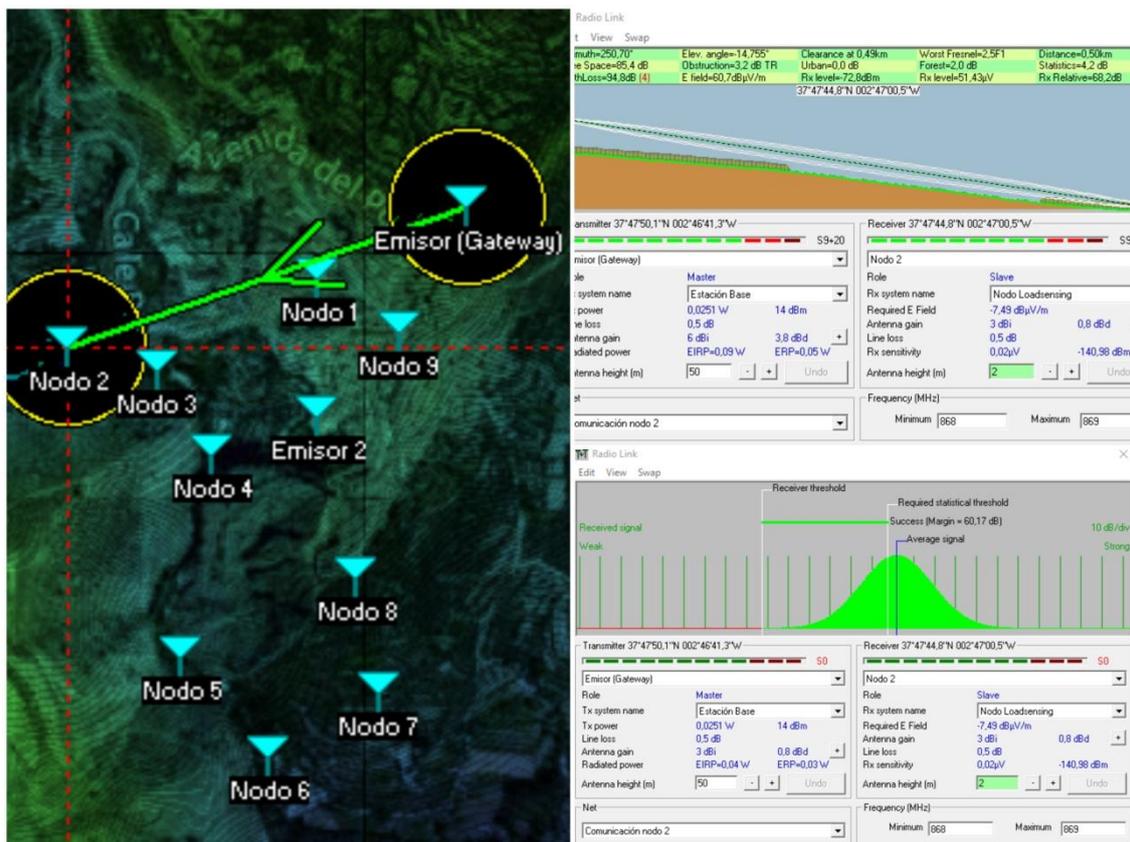
Ilustración 42 Características de enlace entre emisor y nodo 1

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(200) \\ = 77.24 \text{ dBm}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant1} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 77.24 + 3 - 1 = -59.24 \text{ dBm}$$



Distancia entre Emisor y nodo 2	500 metros
Variación de elevación del terreno	94.4 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	85.4 dB
Obstrucción	3.2 dB
Bosque	2 dB
Nivel Rx	-72.8 dBm

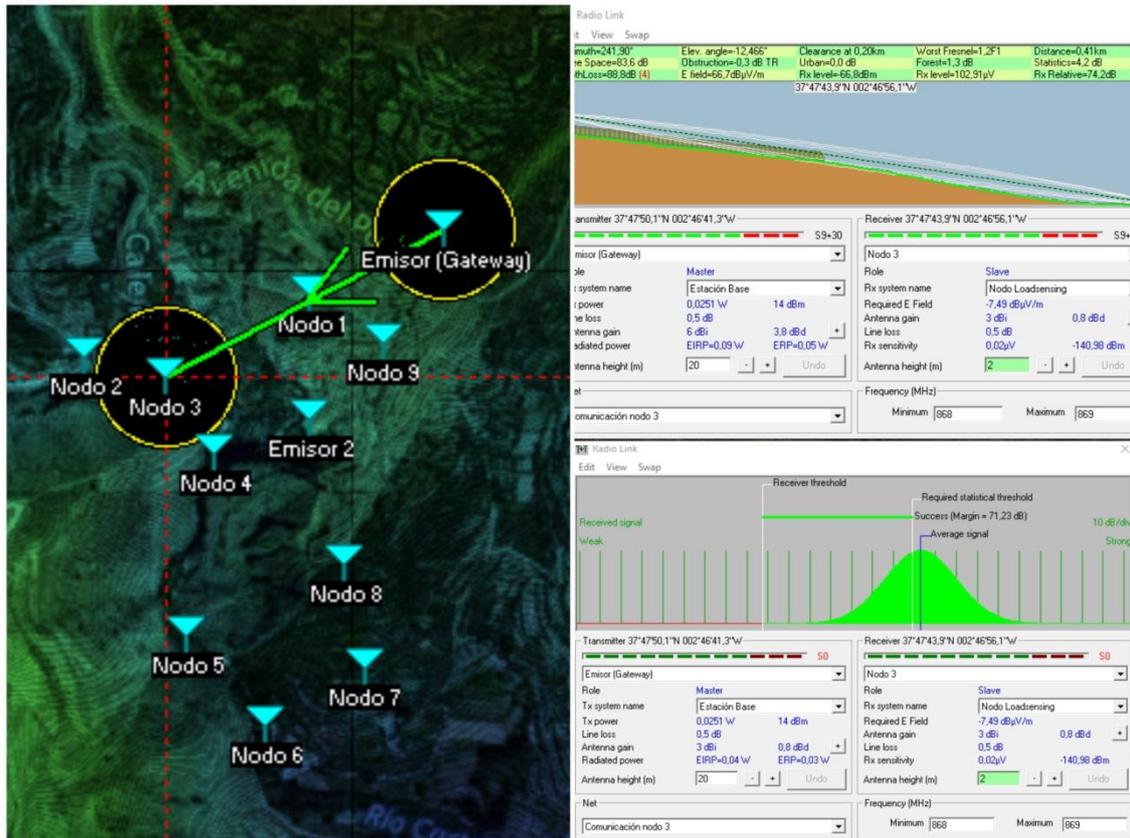
Ilustración 43 Características de enlace entre emisor y nodo 2

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.500) = 85.1 \text{ dBm}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant2} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 85.1 + 3 - 1 = -67.1 \text{ dBm}$$



Distancia entre Emisor y nodo 3	410 metros
Variación de elevación del terreno	83.9 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	83.6 dB
Obstrucción	0.3 dB
Bosque	1.3 dB
Nivel Rx	-66.8 dBm

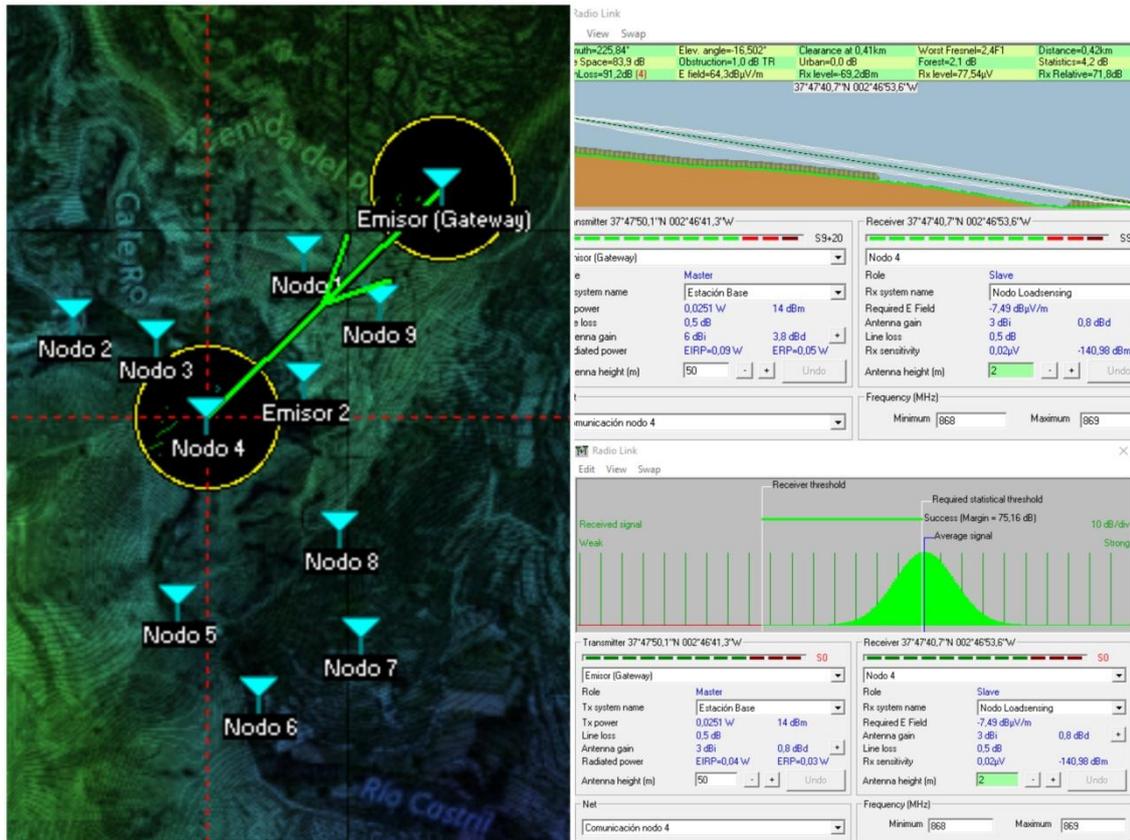
Ilustración 44 Características de enlace entre emisor y nodo 3

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.500) = 83.4 \text{ dBm}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant1} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 83.4 + 3 - 1 = -65.4 \text{ dBm}$$



Distancia entre Emisor y nodo 4	420 metros
Variación de elevación del terreno	86 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	83.6 dB
Obstrucción	0.3 dB
Bosque	1.3 dB
Nivel Rx	-66.8 dBm

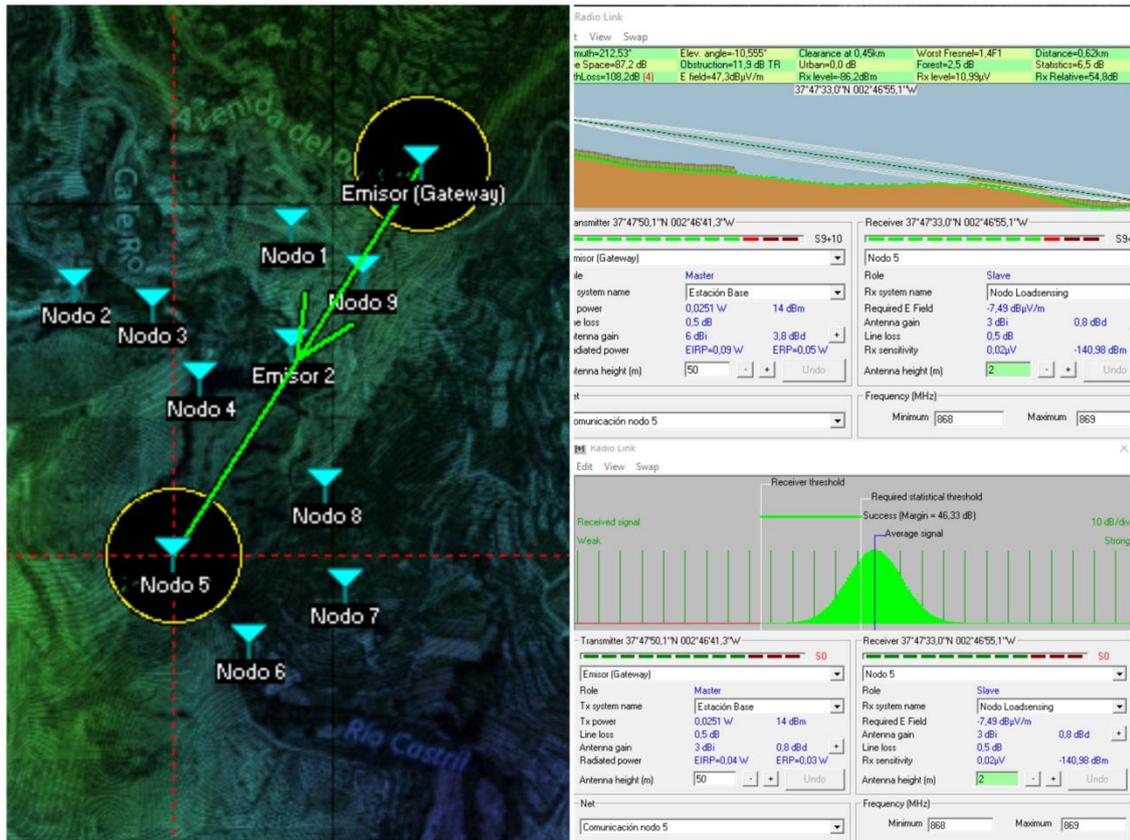
Ilustración 45 Características de enlace entre emisor y nodo 4

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$\begin{aligned}
 L_{bf} &= 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.420) \\
 &= 83.6 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant2} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 83.6 + 3 - 1 = -65.6 \text{ dBm}$$



Distancia entre Emisor y nodo 5	620 metros
Variación de elevación del terreno	86.6 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	87.2 dB
Obstrucción	11.9 dB
Bosque	2.5 dB
Nivel Rx	-86.2 dBm

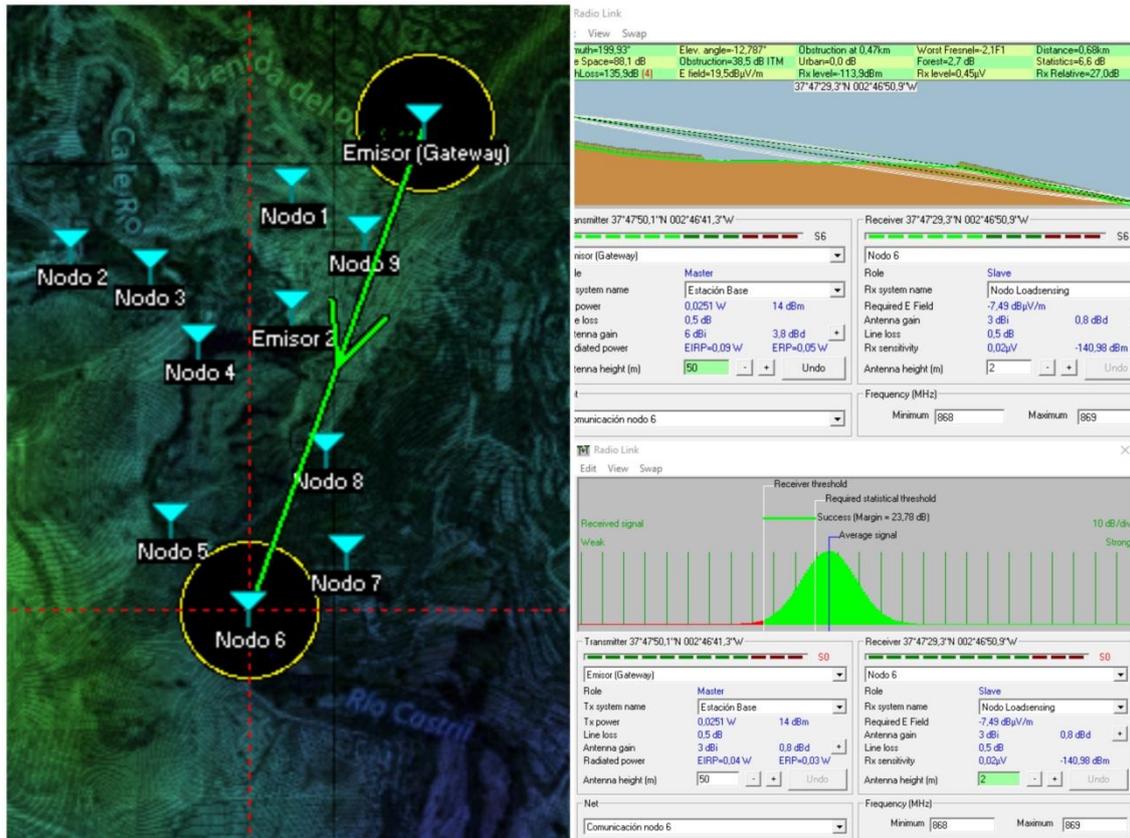
Ilustración 46 Características de enlace entre emisor y nodo 5

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.620) \\ = 87.01 \text{ dBm}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant2} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 87.1 + 3 - 1 = -69.1 \text{ dBm}$$



Distancia entre Emisor y nodo 6	700 metros
Variación de elevación del terreno	119 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	88.1 dB
Obstrucción	38.5 dB
Bosque	2.7 dB
Nivel Rx	-113.9 dBm

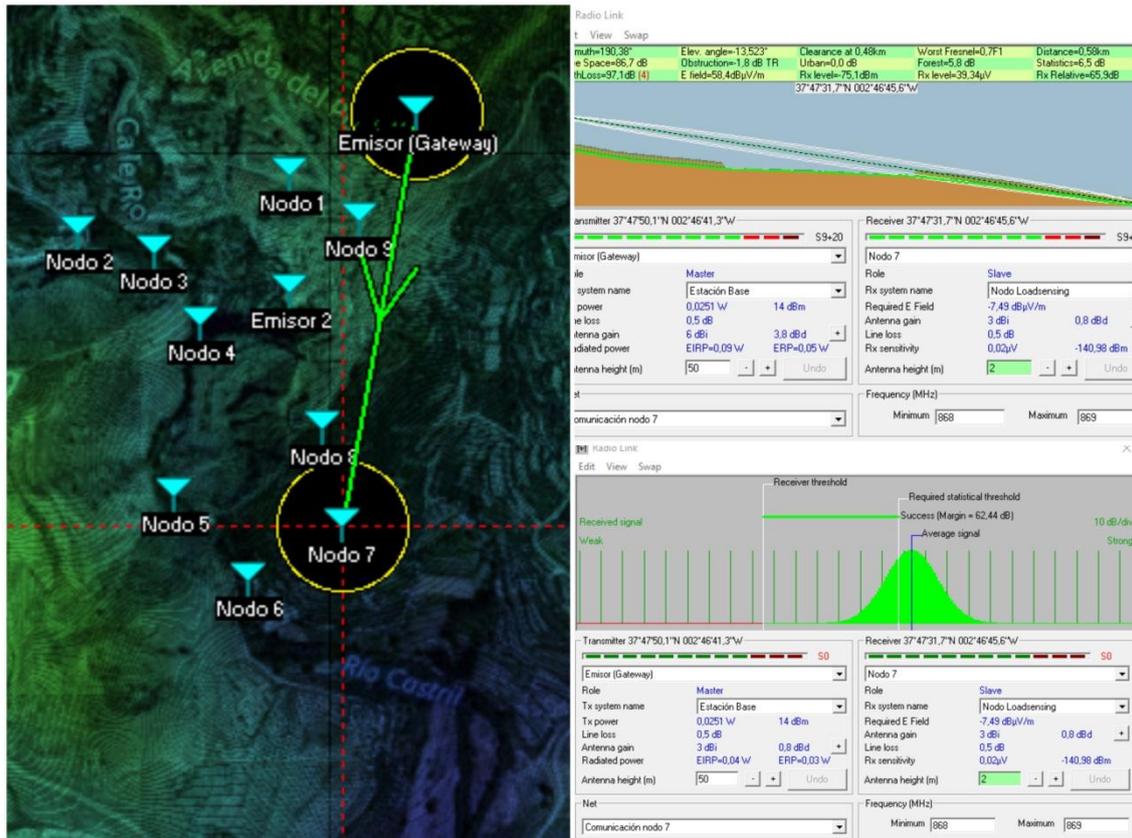
Ilustración 47 Características de enlace entre emisor y nodo 6

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$\begin{aligned}
 L_{bf} &= 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.700) \\
 &= 88.07 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant2} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 88.07 + 3 - 1 = -70.07 \text{ dBm}$$



Distancia entre Emisor y nodo 7	600 metros
Variación de elevación del terreno	102.4 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	86.7 dB
Obstrucción	1.8 dB
Bosque	5.8 dB
Nivel Rx	-75.1 dBm

Ilustración 48 Características de enlace entre emisor y nodo 7

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$\begin{aligned}
 L_{bf} &= 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.600) \\
 &= 86.73 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant1} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 86.73 + 3 - 1 = -68.73 \text{ dBm}$$

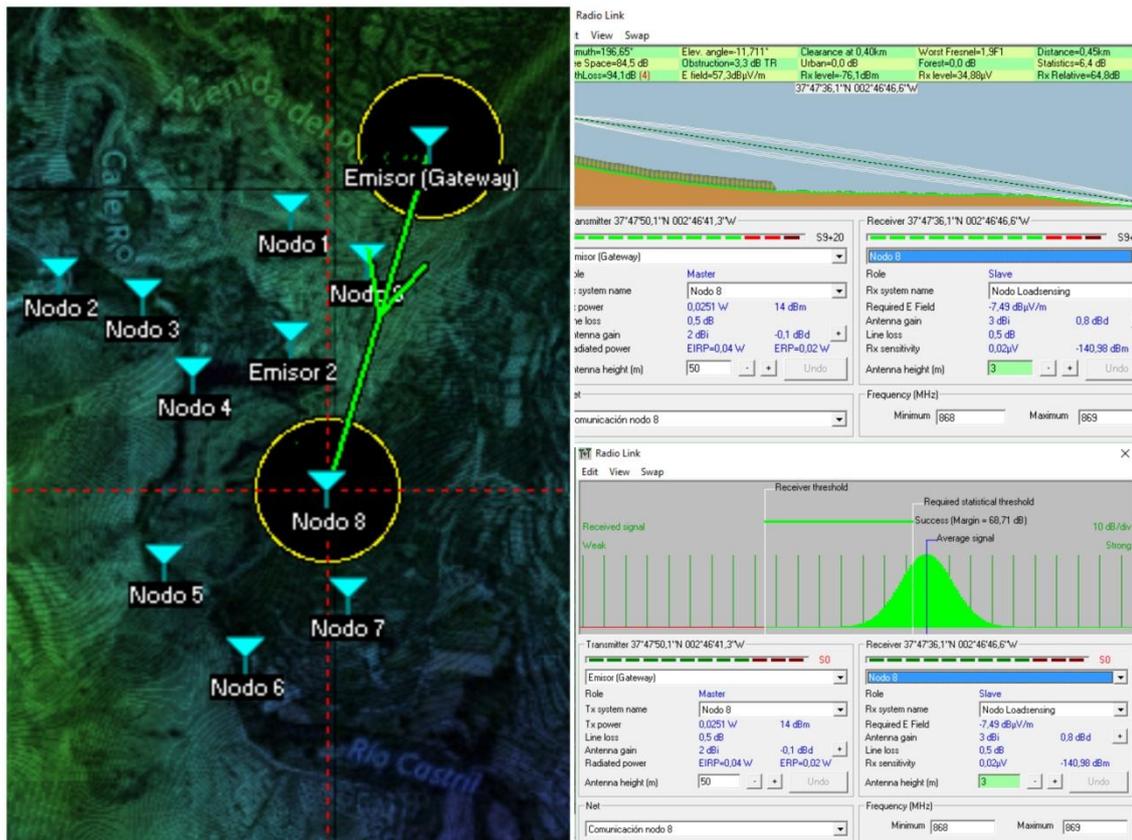


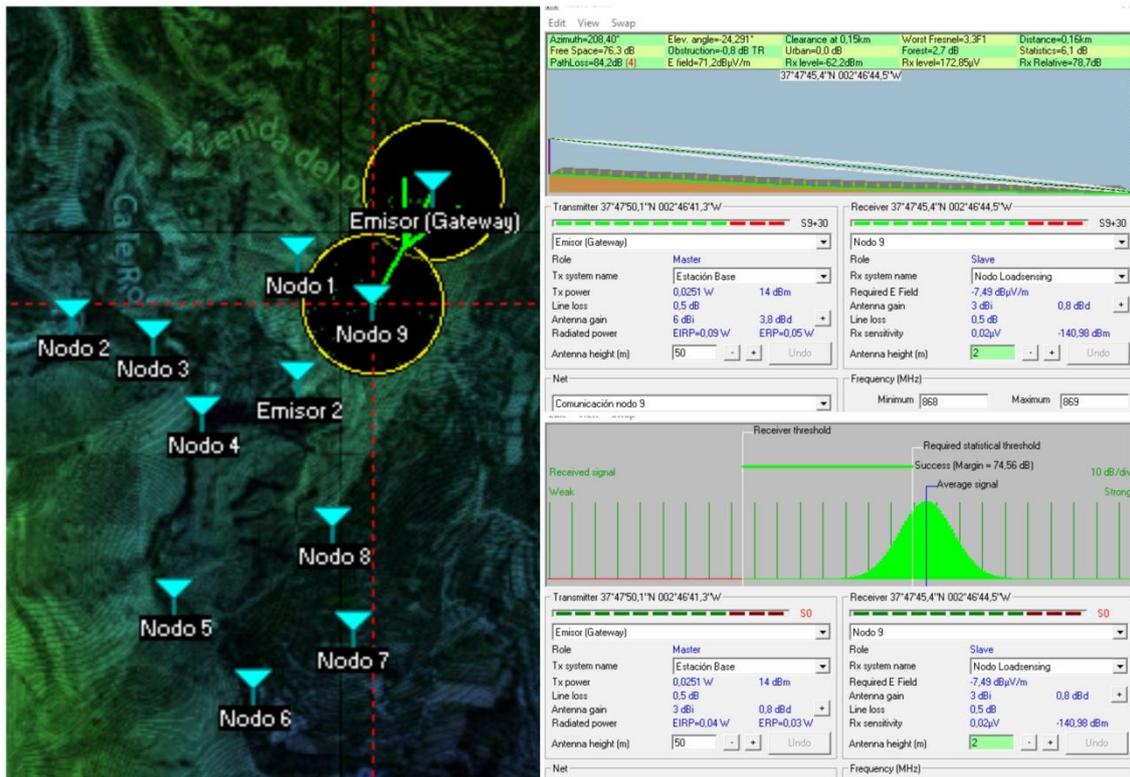
Ilustración 49 Características de enlace entre emisor y nodo 8

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.450) \\ = 84.23 \text{ dBm}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant1} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 84.23 + 3 - 1 = -66.23 \text{ dBm}$$



Distancia entre Emisor y nodo 9	160 metros
Variación de elevación del terreno	36.6 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	71.17 dB
Obstrucción	0.8 dB
Bosque	2.7 dB
Nivel Rx	-62.2 dBm

Ilustración 50 Características de enlace entre emisor y nodo 9

Calculo de la potencia teórica de la señal

$$\begin{aligned}
 L_{bf} &= 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.160) \\
 &= 75.25 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant2} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 75.25 + 3 - 1 = -57.23 \text{ dBm}$$

➤ Resumen de cada radioenlace entre Gateway y nodo

Enlace	Distancia	Elevación de terreno	Average frecuencia	Espacio libre	Obstrucción	Bosque	Rx virtual	Rx teórico
Emisor-Nodo 1	190 m	37.9 m	868.500 MHz	77.6 dBm	0.1 dBm	1 dBm	-59.8 dBm	-59.24 dBm
Emisor-Nodo 2	500 m	94.4 m	868.500 MHz	85.4 dBm	3.2 dBm	2 dBm	-72.8 dBm	-67,7 dBm
Emisor-Nodo 3	410 m	83.9 m	868.500 MHz	83.6 dBm	0.3 dBm	1.3 dBm	-66.8 dBm	-65.4 dBm
Emisor-Nodo 4	420 m	86 m	868.500 MHz	83.6 dBm	0.3 dBm	1.3 dBm	-66.8 dBm	-65.6 dBm
Emisor-Nodo 5	620 m	86.6 m	868.500 MHz	87.2 dBm	11.9 dBm	2.5 dbm	-82.8 dBm	-69.01 dBm
Emisor-Nodo 6	700 m	119 m	868.500 MHz	88.1 dBm	38.5 dBm	2.7 dBm	-113.9 dBm	-70.07 dBm
Emisor-Nodo 7	600 m	102.4 m	868.500 MHz	86.7 dBm	1.8 dBm	5.8 dBm	-75.1 dBm	-68.73 dBm
Emisor-Nodo 8	450 m	58 m	868.500 MHz	84.5 dBm	3.3 dBm	0 dBm	-76.1 dBm	-66.23 dBm
Emisor-Nodo 9	160 m	36.6 m	868.500 MHz	71.17 dBm	0.8 dBm	0.8 dBm	-62.2 dBm	-57.23 dBm

Tabla 6 Comparativa entre calculo virtual y teórico

7. Implantación en una situación real

En referente a la parte de implantación real de parte del proyecto, se realizará una instalación real de la ruta diez del parque natural, de forma que se interpreten los datos obtenidos a nivel de cobertura para su posterior comparación con los valores obtenidos a nivel virtual, utilizando el software "Radio Mobile". Por otra parte, la ubicación de los nodos (sensores) no cambiará de ubicación, de forma que tan solo se cambiará la ubicación de la Gateway por otro lugar donde por simplicidad y por facilidad de instalación poder realizar la simulación real.

- Ubicación de Gateway e instalación de la estación base LoRaWAN Kerlink.

Paso 1. Conexión para dar suministro eléctrico utilizando el POE, que permite conectar el dispositivo a la corriente eléctrica utilizando un cable Ethernet y un adaptador de corriente.



Ilustración 51 POE



Ilustración 52 Conexión de alimentación por POE

Paso 2. Conexión de la GW a Internet, la cual puede ser conectada de dos formas, utilizando una conexión Ethernet y otra utilizando una conexión 3G. En nuestro caso, se utilizará una comunicación 3G de forma que sea de forma inalámbrica.

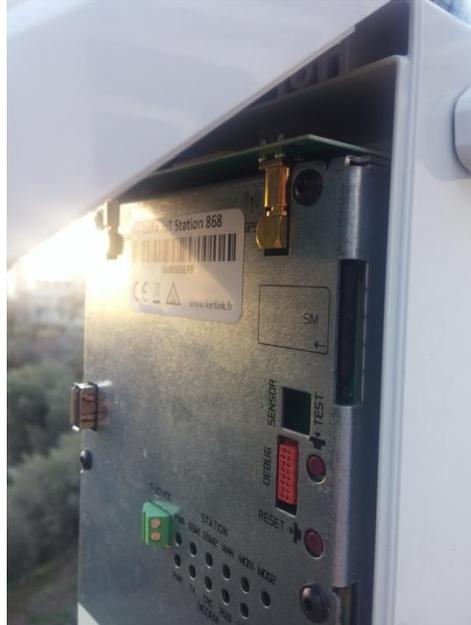


Ilustración 53 Conexión SIM (3G)

Paso 3. Se realiza el montaje en el lugar que hemos indicado, posicionando la antena de forma vertical como se ha descrito en la simulación con Radio Mobile.

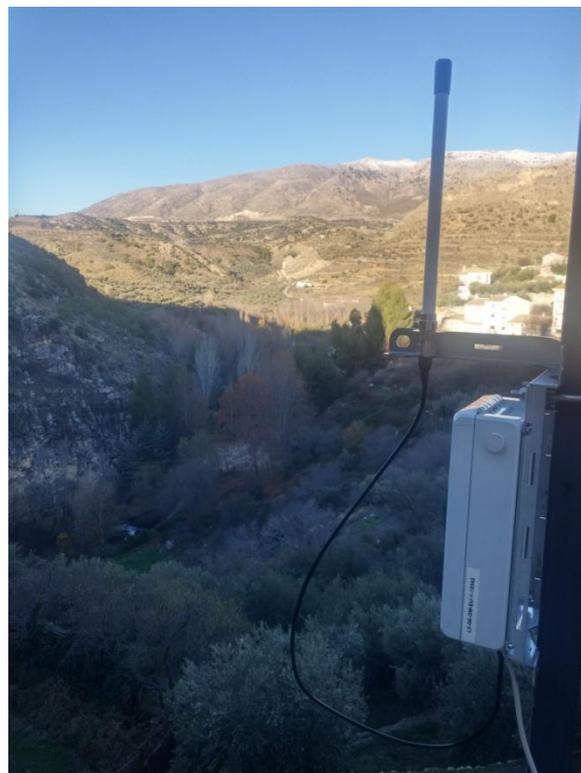


Ilustración 54 Posicionamiento de la Gateway

➤ Ubicación de los sensores

En esta nueva ubicación de la estación base los sensores se mantienen en el mismo lugar que se han descrito este proyecto, de forma que no modificamos en absoluto la ubicación de los nodos receptores.

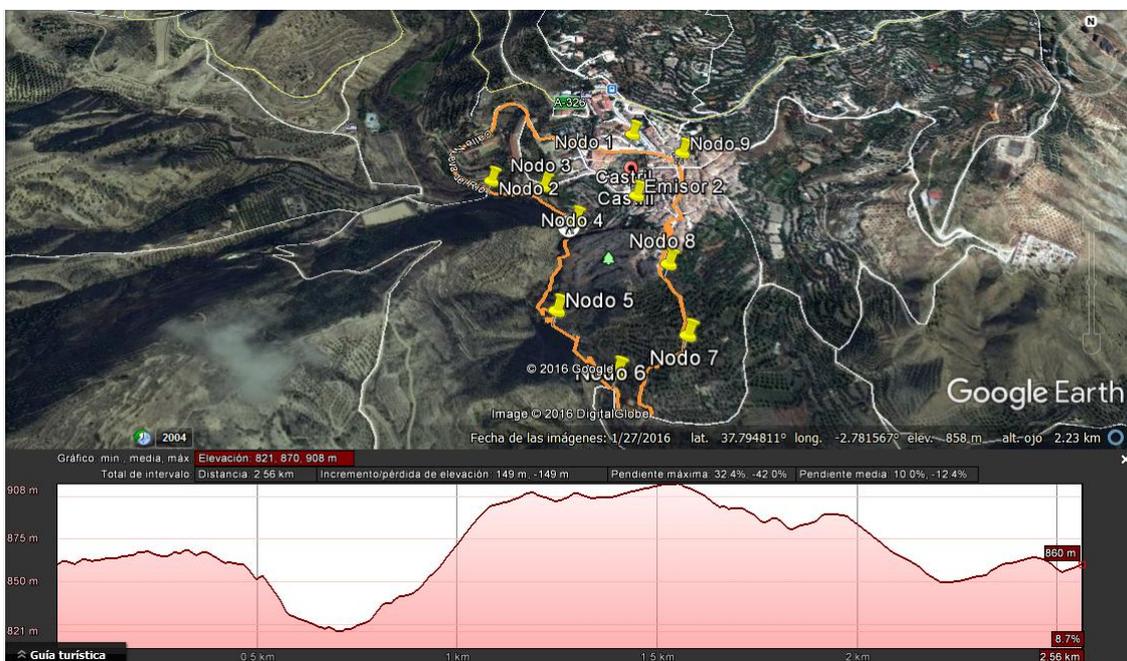


Ilustración 55 Recorrido de la ruta 10

Utilizando el programa de simulación se realizará de nuevo estudio de cobertura de Radio Mobile con la nueva ubicación de la estación base, de forma que se pueda verificar si existe comunicación entre los dispositivos.

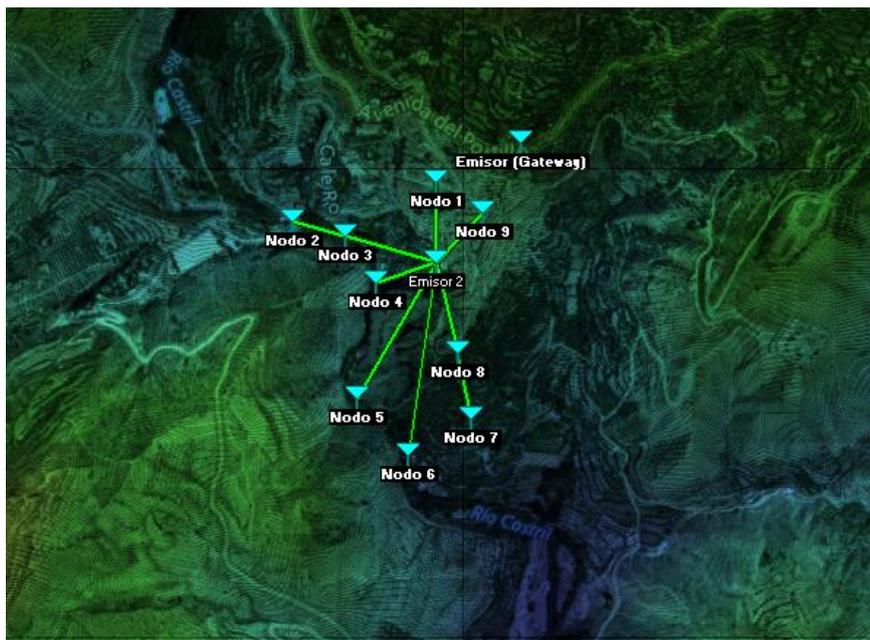


Ilustración 56 Nuevo mapa de cobertura

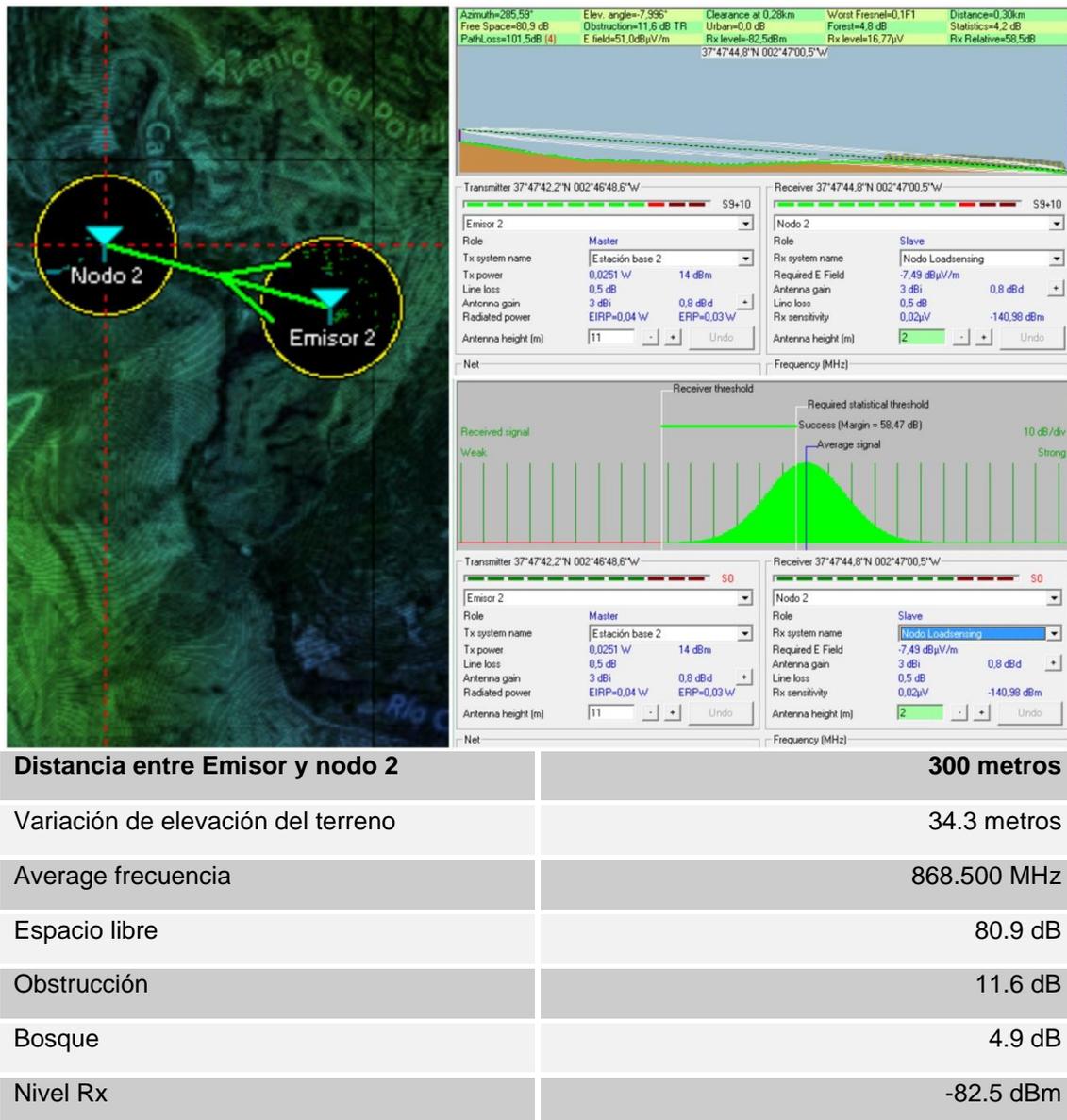


Ilustración 57 Características de enlace entre emisor y nodo 2

Calculo de la potencia teórico de la señal

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.300) = 80.71 \text{ dBm}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant1} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 80.71 + 3 - 1 = -62.72 \text{ dBm}$$



Distancia entre Gateway y nodo 3	190 metros
Variación de elevación del terreno	25.8 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	76.9 dB
Obstrucción	0.9 dB
Bosque	4.9 dB
Nivel Rx	-63.0 dBm

Ilustración 58 Características de enlace entre emisor y nodo 3

Calculo de la potencia teórico de la señal

$$\begin{aligned}
 L_{bf} &= 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.190) \\
 &= 76.74 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant1} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 76.74 + 3 - 1 = -58.74 \text{ dBm}$$

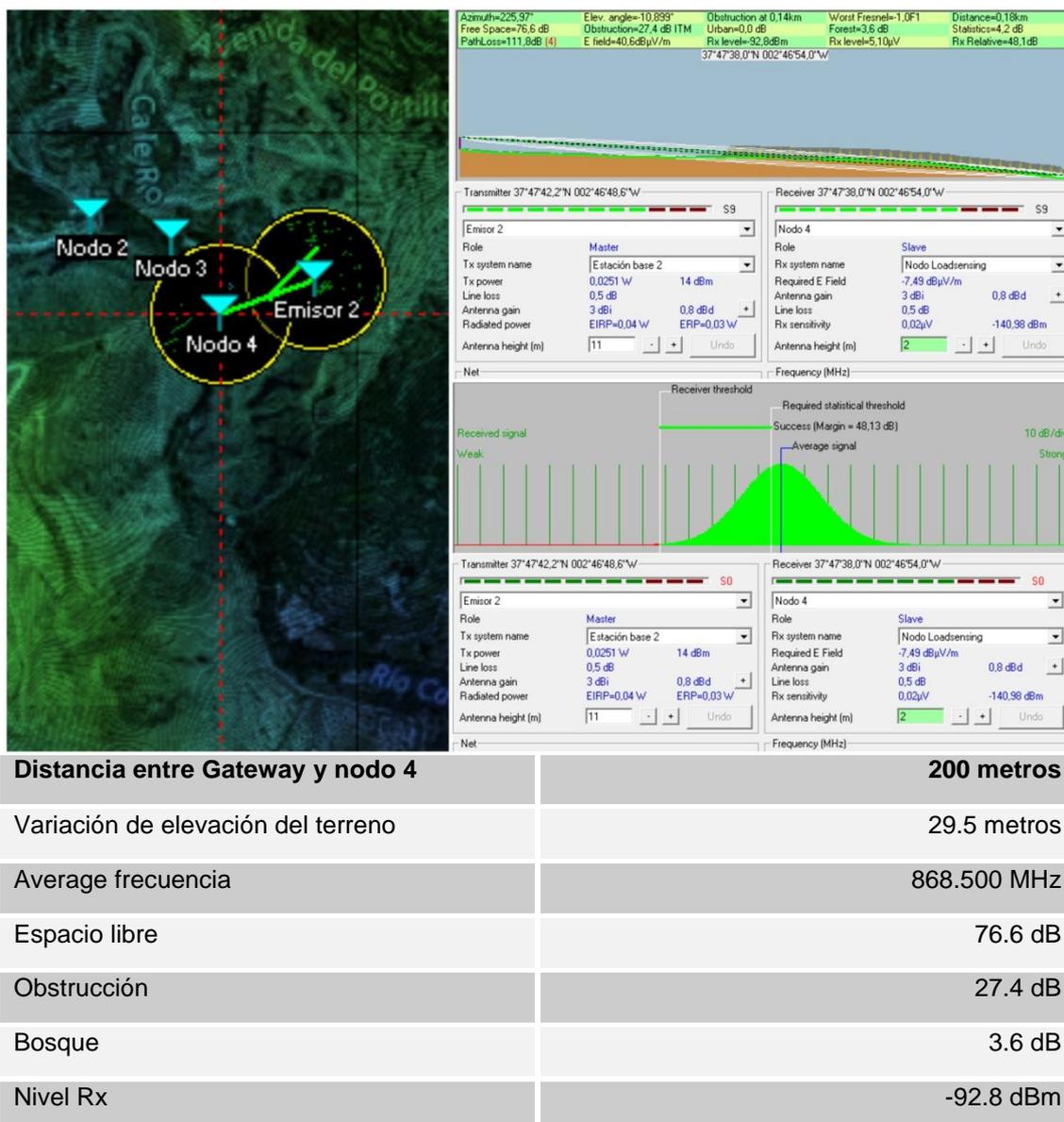


Ilustración 59 Características de enlace entre emisor y nodo 4

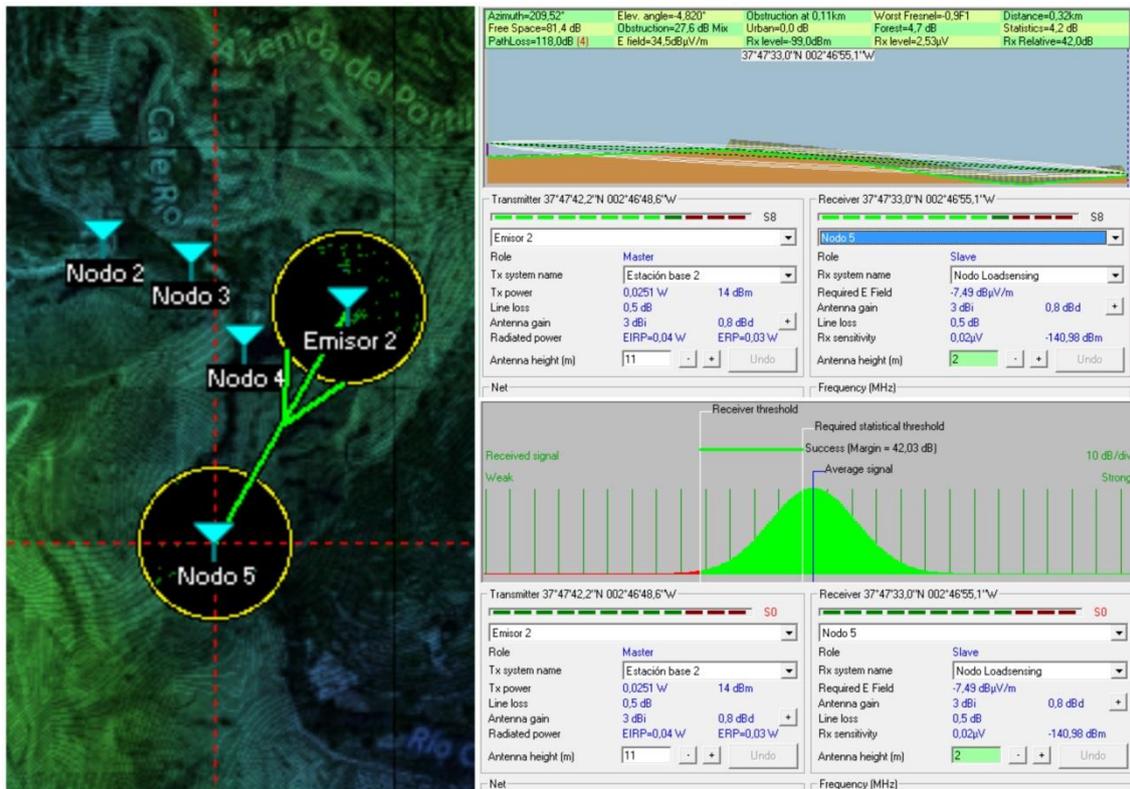
Calculo de la potencia teórico de la señal

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.200)$$

$$= 77.19 \text{ dBm}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant2} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 77.19 + 3 - 1 = -59.19 \text{ dBm}$$



Distancia entre Gateway y nodo 5	320 metros
Variación de elevación del terreno	42.1 metros
Average frecuencia	868.500 MHz
Espacio libre	81.4 dB
Obstrucción	27.6 dB
Bosque	4.7 dB
Nivel Rx	-99 dBm

Ilustración 60 Características de enlace entre emisor y nodo 5

Calculo de la potencia teórico de la señal

$$\begin{aligned}
 L_{bf} &= 32.4 + 20 \log(\text{frecuencia}) + 20 \log(\text{distancia}) = 32.4 + 20 \log(868) + 20 \log(0.320) \\
 &= 81.27 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

$$RSSI = P_{out} - P_{at1} + G_{ant1} - L_{bf} + G_{ant1} - P_{at2}$$

$$RSSI = 14 - 1 + 3 - 81.27 + 3 - 1 = -63.27 \text{ dBm}$$

➤ Simulación del enlace de radio real.

En referencia a la simulación real, se realizará una instalación de los cuatro nodos que anteriormente hemos analizado de forma virtual, de tal forma que posteriormente podamos comparar los resultados obtenidos. La ubicación de los nodos viene definida en la siguiente tabla junto a su correspondiente identificador.

Nodos	Latitud	Longitud
Nodo 2 (4061)	37.79646	-2.78199
Nodo 3 (3973)	37.79597	-2.78391
Nodo 4 (4039)	37.47407	-2.46536
Nodo 5 (3871)	37.47330	-2.46551

Tabla 7 Ubicación de los nodos con ID

Para poder trasladarlo a la práctica lo más real posible se utilizarán coordenadas de longitud y latitud exactas del lugar donde se vaya a implantar el nodo, utilizando una App en Android para poder obtener coordenadas exactas del lugar muy similares a las que hemos supuesto en la simulación virtual.

Los dispositivos utilizados corresponden a sensores de radiocomunicaciones de la empresa Worldensing "<http://www.worldensing.com/>" que funcionan con un FW propio permitiendo poder ver los dispositivos a través de un portal web.

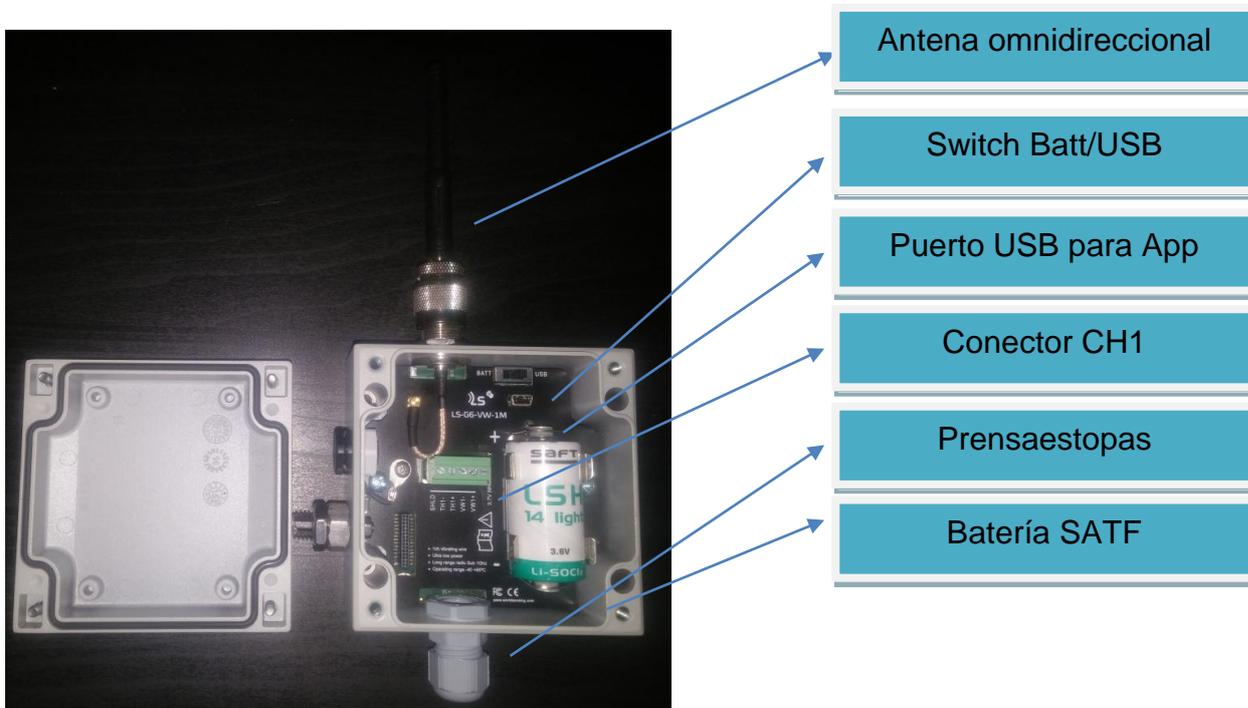


Ilustración 61 Nodo Loadensing utilizado

➤ Configuración de los dispositivos.

Para poder encender cada nodo es necesario configurarlo de forma individual utilizando la App que utiliza este hardware. El proceso de configuración de cada nodo es el siguiente.

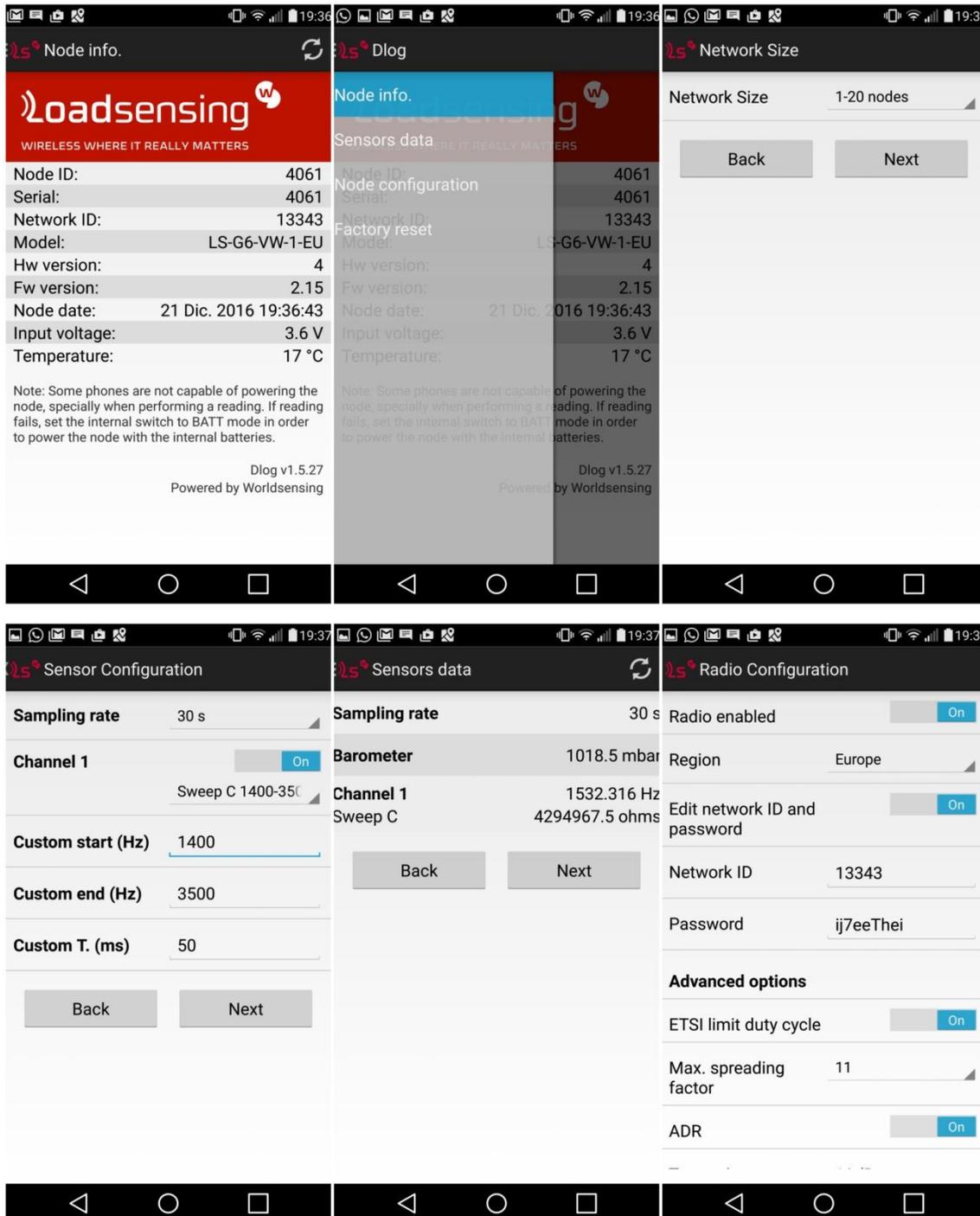
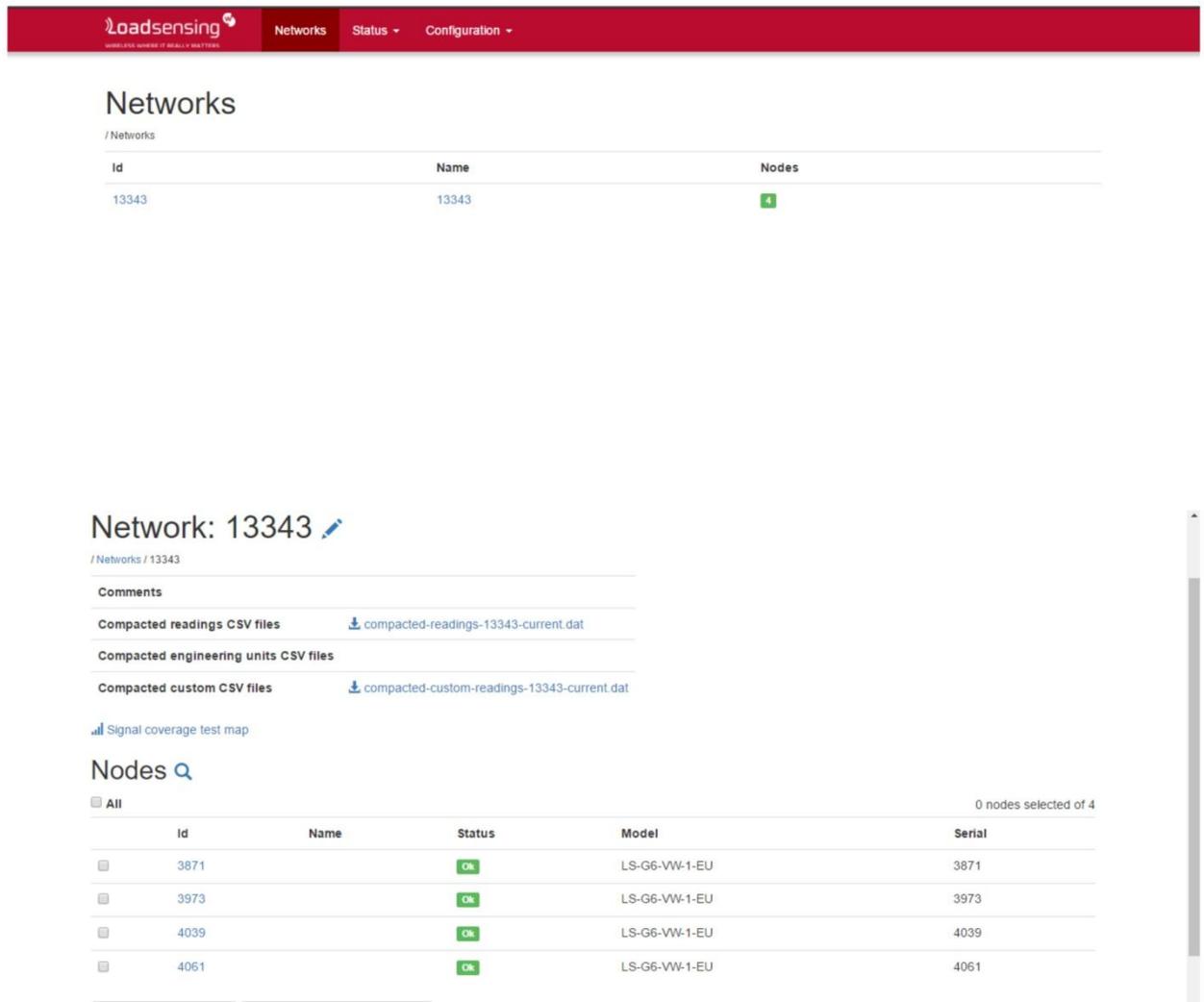


Ilustración 62 Configuración de los nodos

Una vez configurados cada nodo, se visualizarán los resultados en el portal web que dispone esta tecnología. Esta web corresponde a la plataforma que tiene esta tecnología para verificar el estado de los nodos, para ello se accederá a la url "https://loadsensing.woc3.com/<ID de la Gateway>", de forma que se visualicen los nodos que anteriormente se han configurado.



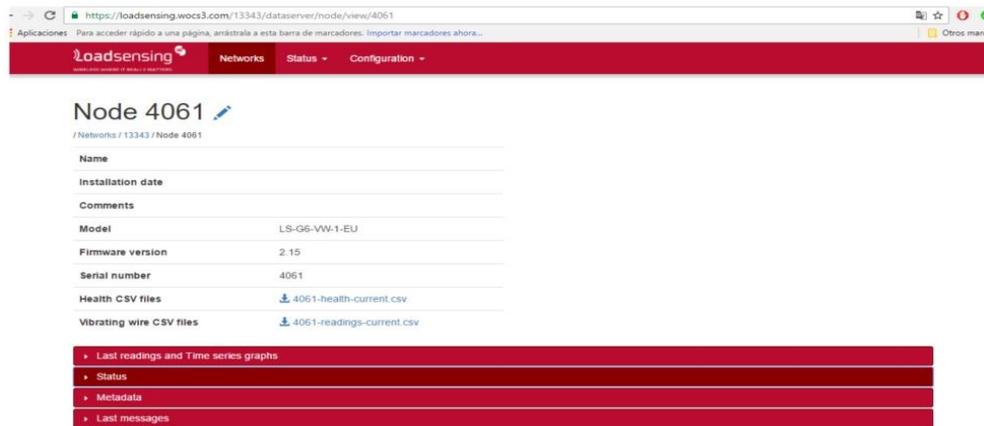
The screenshot shows the LoadSensing web interface. At the top, there is a navigation bar with 'Networks', 'Status', and 'Configuration' menus. The main content area is titled 'Networks' and shows a table with one entry for network ID 13343, which has 4 nodes. Below this, there is a detailed view for 'Network: 13343'. This view includes sections for 'Comments', 'Compacted readings CSV files' (with a download link for 'compacted-readings-13343-current.dat'), 'Compacted engineering units CSV files', and 'Compacted custom CSV files' (with a download link for 'compacted-custom-readings-13343-current.dat'). There is also a 'Signal coverage test map' section. The 'Nodes' section is expanded, showing a table with 4 nodes, all with a status of 'OK'. The nodes have IDs 3871, 3973, 4039, and 4061, all of model 'LS-G6-VW-1-EU'.

Id	Name	Nodes
13343	13343	4

Id	Name	Status	Model	Serial
3871		OK	LS-G6-VW-1-EU	3871
3973		OK	LS-G6-VW-1-EU	3973
4039		OK	LS-G6-VW-1-EU	4039
4061		OK	LS-G6-VW-1-EU	4061

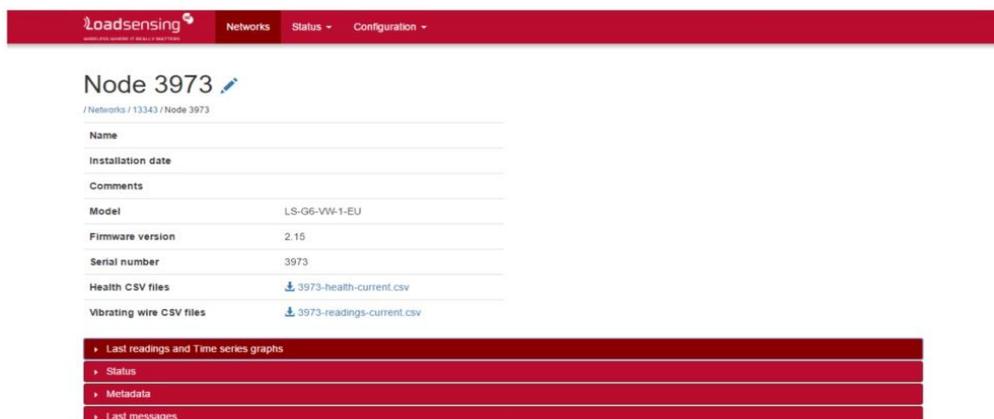
Ilustración 63 Plataforma web para visualizar conexión de nodos

Para obtener los datos de cada radioenlace se descargarán los datos en formato ".csv" la información obtenida de cada nodo, ya que, la información se encuentra guardada en formato de texto. La información obtenida corresponde a la potencia de recepción del sensor, así como información acerca de la presión atmosférica de cada lugar.




<i>RSSI (dbm)</i>	<i>SF</i>	<i>Freq (MHz)</i>
-75	7	868.850
-77	7	868.850
-70	7	868.850
-73	7	868.525
-77	7	868.300

Ilustración 64 Cobertura Nodo 2 (ID 4061)




<i>RSSI (dbm)</i>	<i>SF</i>	<i>Freq (MHz)</i>
-72	7	868.850
-68	7	868.850
-72	7	868.850
-69	7	868.525
-63	7	868.300
-64	7	868.100
-69	7	868.300
-70	7	868.525

Ilustración 65 Cobertura Nodo 3 (ID 3973)

loadsensing
UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

Networks Status Configuration

Node 4039

/Networks / 13343 / Node 4039

Name

Installation date

Comments

Model LS-G6-VW-1-EU

Firmware version 2.15

Serial number 4039

Health CSV files [4039-health-2016-12.csv](#)

Vibrating wire CSV files [4039-readings-2016-12.csv](#)

Last readings and Time series graphs

Channel	Thermistor (Ohms)	Frequency (Hz)
1	4105830.000	656.127



RSSI dbm	SF	Freq (MHz)
-91	10	868.850
-85	10	868.850
-83	10	868.850
-84	7	868.525
-79	7	868.300
-82	7	868.100
-83	7	868.300
-90	7	868.525

Ilustración 66 Cobertura Nodo 4 (ID 4039)

loadsensing
UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

Networks Status Configuration

Node 3871

/Networks / 13343 / Node 3871

Name

Installation date

Comments

Model LS-G6-VW-1-EU

Firmware version 2.15

Serial number 3871

Health CSV files [3871-health-current.csv](#)

Vibrating wire CSV files [3871-readings-current.csv](#)

Last readings and Time series graphs

Status

Metadata

Last messages



RSSI dbm	SF	Freq (MHz)
-92	10	868.520
-90	10	868.850
-94	10	868.100
-91	7	868.525
-95	7	868.300
-89	7	868.300
-92	7	868.300
-90	7	868.525

Ilustración 67 Cobertura Nodo 5 (ID 3871)

➤ Resumen de cada radioenlace entre Gateway y nodo

Enlace	Distancia	Elevación de terreno	Average frecuencia	Espacio libre	Obstrucción	Bosque	Rx virtual	Rx teórico	Average Rx real
Emisor-Nodo 2	300 m	25.8 m	868.500 MHz	79.9 dBm	0 dBm	4.9 dBm	-82.5 dBm	-62.72 dBm	-76 dBm
Emisor-Nodo 3	190 m	25.8 m	868.500 MHz	76.9 dBm	0.9 dBm	4.9 dBm	-63.0 dBm	-58.74 dBm	-68 dBm
Emisor-Nodo 4	200 m	29.5 m	868.500 MHz	76.6 dBm	27.4 dBm	3.6 dBm	-92.8 dBm	-59.19 dBm	-87 dBm
Emisor-Nodo 5	320 m	42.1 m	868.500 MHz	81.4 dBm	27.6 dBm	4.7 dBm	-99 dBm	-63 dBm	-92 dBm

Ilustración 68 Comparativa entre calculo virtual y teórico

A continuación, se mostrará información acerca la presión atmosférica, el cual es captado por un barómetro interno que dispone el sensor, de tal forma que se verifique comunicación se ha producido con éxito dentro de los cálculos estudiados.

➤ Presión atmosférica de los cuatro nodos de la simulación real de la ruta

En este punto se definirán datos de presión atmosférica durante un sampling rate de 1h, de forma que podamos verificar los mbar que hay en los diferentes puntos determinados por la ubicación de los sensores.

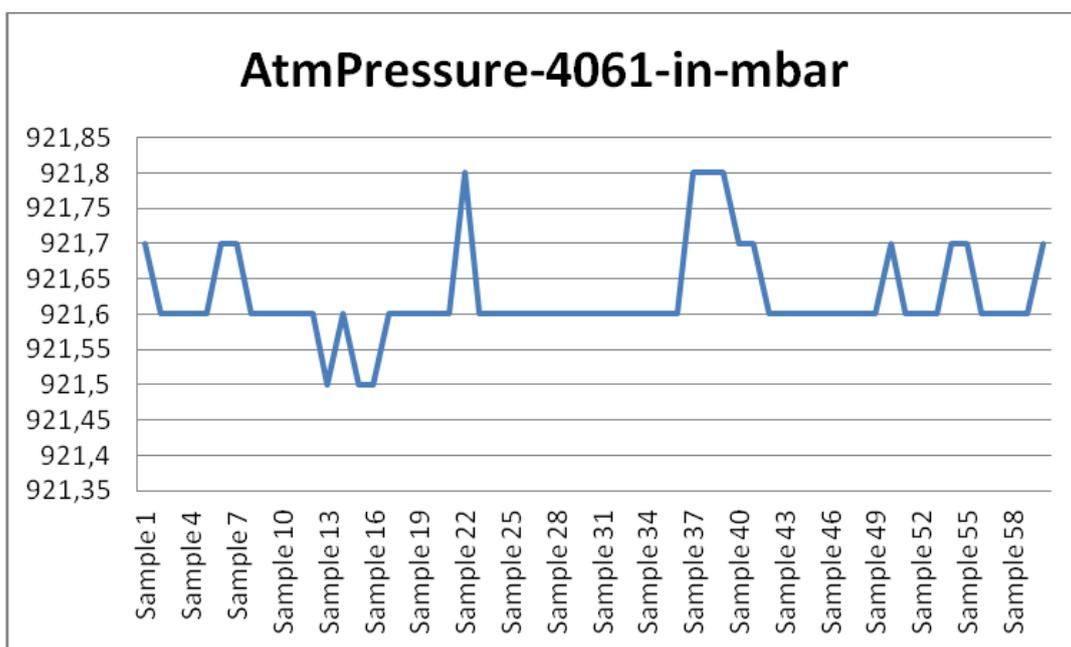


Ilustración 69 Presión atmosférica Nodo 2 (4061)

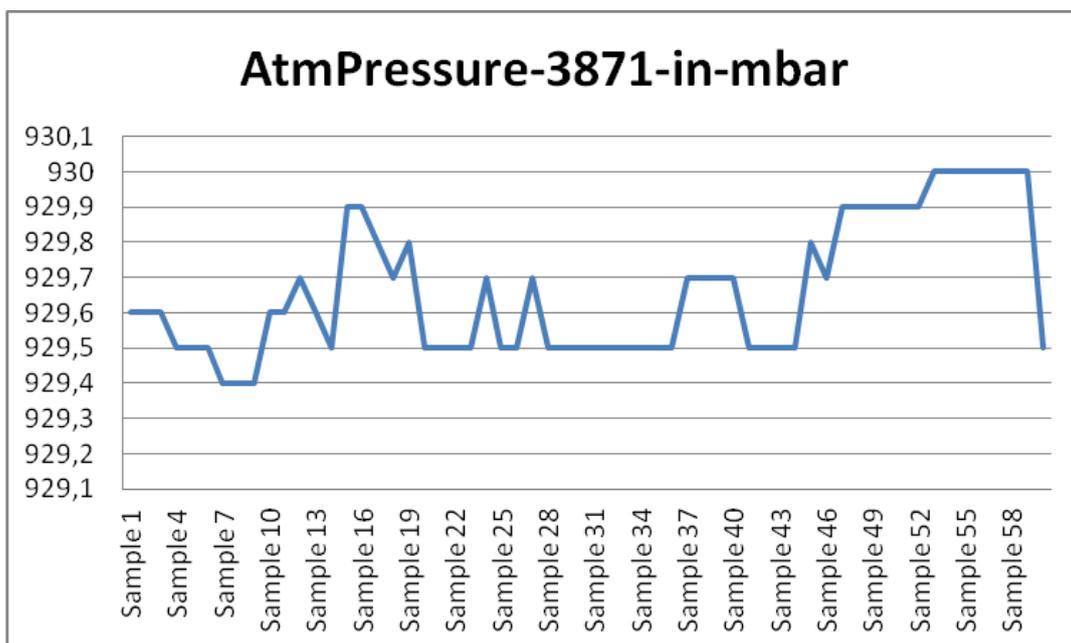


Ilustración 70 Presión atmosférica Nodo 3 (3871)

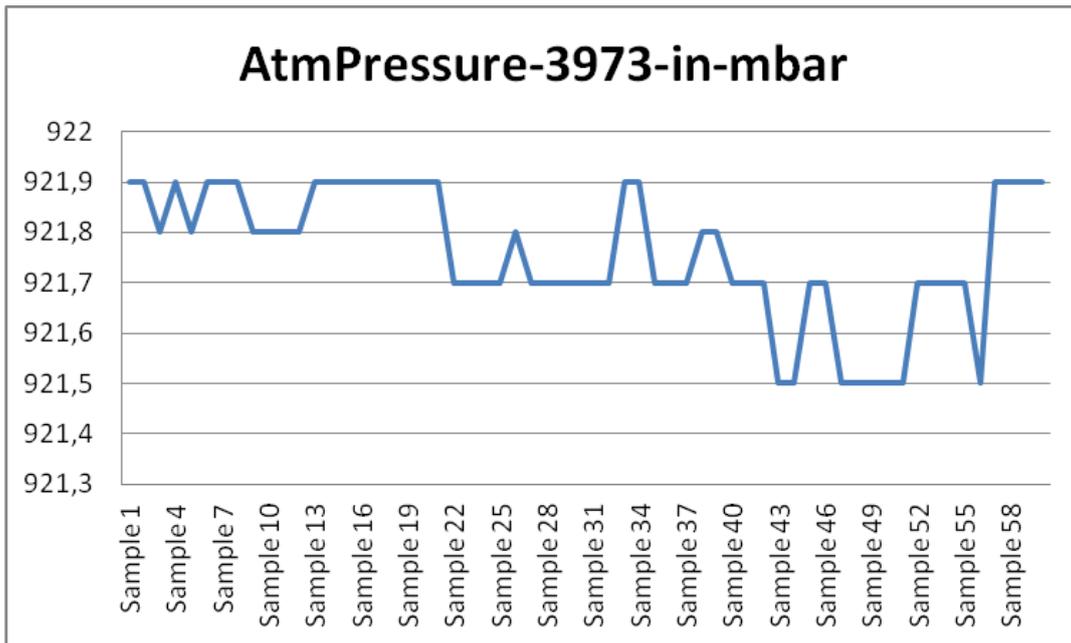


Ilustración 71 Presión atmosférica Nodo 4 (3871)

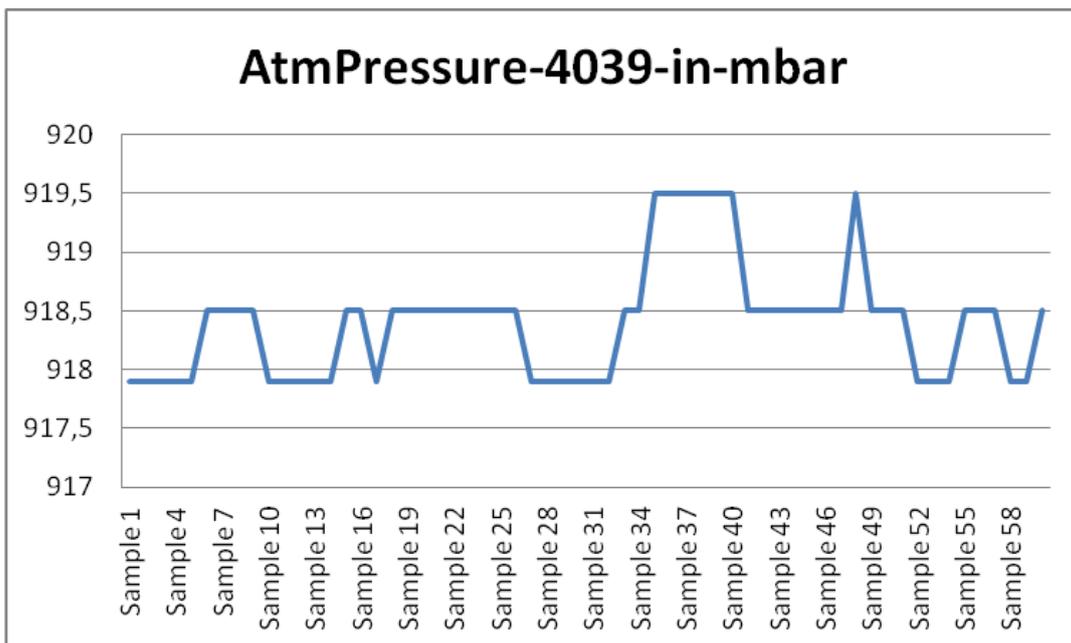


Ilustración 72 Presión atmosférica Nodo 5 (4039)

7. Resultados obtenidos

En referente a los resultados obtenidos en este proyecto, se ha de comentar que la simulación será realizada con la herramienta Radio Mobile se aproxima en gran parte a los resultados obtenidos en la simulación real, no obstante existen diferencias notables entre dichas potencias de transmisión por determinados factores externos que pueden hacer variar la calidad de la transmisión de datos. A pesar de estos cambios notables, la comunicación se ha podido realizar con éxito, de tal forma que hemos podido obtener información acerca de los sensores posicionados, en nuestro caso de la presión atmosférica.

A continuación se mostrará una tabla en comparación de los datos obtenidos en la simulación real de la ruta diez del parque natural, de tal forma, que podamos de forma clara los resultados obtenidos.

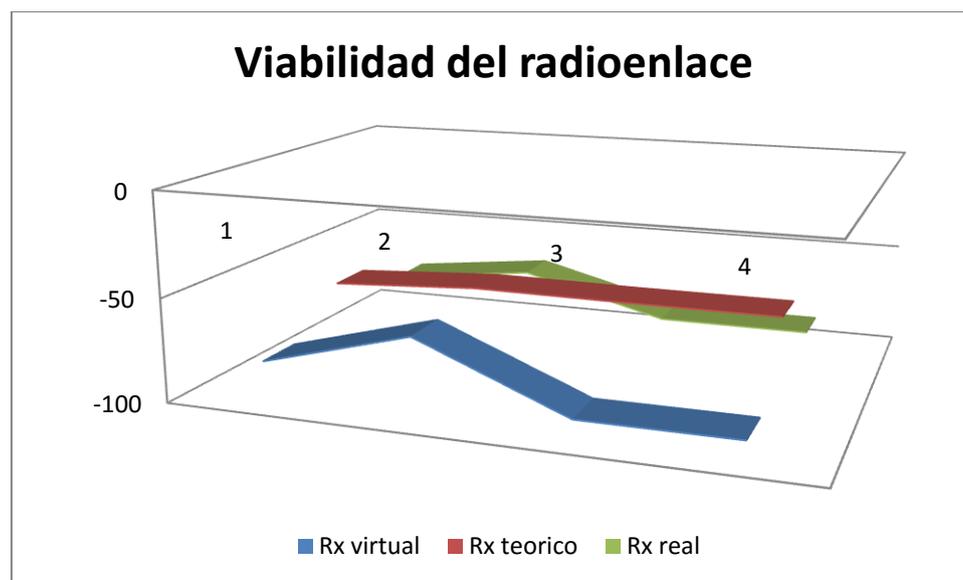


Ilustración 73 Relación de Rx

Como se puede observar la línea azul correspondiente a la Rx virtual es muy similar la línea verde Rx real, lo que significa que la simulación de parte de la ruta diez del parque podremos extrapolar los resultados para poder realizar un estudio completo de la ruta, así como de todas las rutas del parque natural.

8. Valoración económica del proyecto

En referente a la valoración económica del proyecto realizaremos el estudio económico de la ruta diez del parque natural, ya que, es la que es la ruta desarrollada a lo largo del proyecto.

- En primer lugar, la ruta diez está formada por nueve sensores que se distribuyen a lo largo del recorrido, es por ello que cada uno de los sensores tiene un precio aproximado de 600€.
- En segundo lugar, esta ruta formada por nueve sensores intercambia información con una única puerta de enlace, es decir una Gateway, cuyo precio es de aproximadamente 2500€.
- En tercer lugar, en función de los sensores que utilicemos a lo largo de la ruta, es decir, si deseamos medir la presión de agua en un pozo determinado o bien la temperatura exacta en un determinado punto de la ruta, los precios varían en función de los sensores que conectamos para su obtención de información, como por ejemplo, un piezómetro con un coste económico de aproximadamente 400€ o una estación meteorología completa desde 1500€. No obstante estos precios son orientativos.

En conclusión, en este proyecto no se analizará de forma detallada el coste económico que supondría la instalación de la ruta junto a los sensores que obtienen la información, sino analizaremos el coste económico que supone una instalación utilizando elementos de radiocomunicación, es decir la Gateway más los nodos con un precio 7900€ más instrumentación para obtener datos medioambientales (sensores), a esto hay que sumarle la mano de obra de un Ingeniero en Telecomunicaciones el cual realizará un estudio detallado de cobertura en la ruta planteada durante el periodo de implantación del proyecto.

8. Mejoras futuras

8.1 A nivel de proyecto

- Realizar un análisis de red de cada una de las rutas de manera similar a la realizada en la ruta diez del parque natural, tanto como simulación virtual y simulación real utilizando instrumentación real para su posterior comparación de resultados.

8.2 A nivel de hardware

En cuanto a las mejoras hardware que se han de realizar en el proyecto son las siguientes.

- Utilización de antenas de mayor cobertura, para así poder tener mejor recepción de la señal, además de la ubicación de la antena en un lugar adecuado para su implantación en un entorno real.
- Utilización de instrumentación de obtención de información para poder realizar un estudio medioambiental mucho más detallado.

8.3 A nivel de software

En cuanto a las mejoras software que se pueden realizar en el proyecto son las siguientes.

- Creación de una plataforma web para visualizar la información de forma visual, es decir, un portal web donde ver de forma gráfica el estado en tiempo real de cada zona del parque, así como de las rutas que hemos analizado. Esta plataforma será útil para los agentes forestales, encargados del control del parque natural.
- Creación de una APP para los excursionistas que realicen rutas, de forma que el senderista pueda conocer en tiempo real el estado de cada una de las rutas, así como de las condiciones ambientales que pueden ser del interés del senderista.

9. Conclusiones

Para dar por finalizado el proyecto planteado, hemos de dar unas conclusiones acerca de la evolución del trabajo realizado.

- En primer lugar, se ha analizado en gran parte las tecnologías existentes acerca de las comunicaciones inalámbricas, analizando y haciendo hincapié en la tecnología LoRaWAN, la cual nos ha sido utilizado a lo largo del proyecto en todo momento.
- En segundo lugar, se ha dado una posible solución a un problema existente actualmente en nuestro planeta, los cambios medioambientales, ayudando a la prevención y detección de cualquier catástrofe que pueda ocurrir en nuestro entorno, como por ejemplo, actuar de forma adecuada en caso de incendio en una determinada ruta donde existen excursionistas.
- En tercer lugar, se ha realizado un análisis de las rutas existentes en un parque natural, para su posterior análisis de un diseño de cobertura de radiocomunicación.
- En cuarto lugar, se ha utilizado herramientas propias de simulación de radiocomunicaciones "Radio Mobile" para analizar una de las rutas planteadas, utilizando herramientas propias de la integración de redes telemáticas.
- En quinto lugar, hemos realizado una implantación real con instrumentación real de forma que hemos podido saber de primera mano la información obtenida por parte de los sensores en un entorno virtual contra un entorno real.
- En sexto lugar, se ha obtenido información de los sensores y así dar por válido los estudios de los enlaces realizados de forma que la viabilidad del proyecto es satisfactoria.

En cuanto a la metodología de trabajo planteada se ha realizado como se propuso el trabajo en un principio, no obstante, por limitación propias del trabajo no hemos podido realizar un estudio virtual y real de cada una de las rutas del parque, por lo que se deja como mejoras para la realización de un estudio más completo del parque natural, así

como la utilización de sensores (captadores de información, tipo piezómetro) para su posterior interpretación de datos.

10. Glosario

Internet de las cosas (Internet of things, abreviado IoT). Es uno de los términos más populares de los últimos años en la industria tecnológica. El Internet de las cosas, es un concepto que se basa en la interconexión de cualquier producto con cualquier otro de su alrededor.

Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Las TIC son el conjunto de tecnologías que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información presentada en diferentes códigos (texto, imagen, sonido,...). El elemento más representativo de las nuevas tecnologías es sin duda el ordenador y más específicamente, Internet.

Ciudad inteligente o smart cities. Se puede describir como aquella ciudad que aplica las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) con el objetivo de crear infraestructuras que garanticen un desarrollo sostenible, y por lo tanto, un incremento de la calidad de vida de los ciudadanos.

Red de sensores inalámbricos (WSN – Wireless Sensor Network). Se basan en dispositivos de bajo coste y consumo (nodos) que son capaces de obtener información de su entorno, procesarla localmente y comunicarla a través de enlaces inalámbricos de un nodo central de coordinación. La red de sensores inalámbricos está formada por numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas la temperatura, el sonido, la vibración, la presión y movimiento o los contaminantes. Los sensores pueden ser fijos o móviles.

Nodos. Un nodo es un sensor de red que es capaz de realizar algún procesamiento, recopilando información sensible y comunicando con otros nodos conectados a la red.

Gateways (en inglés Gateway) o puerta de enlace es el dispositivo que actúa de interfaz de conexión entre aparatos o dispositivos, y también posibilita compartir recursos entre dos o más computadoras.

Tecnología LoRaWAN™. Es una red de área extendida (WAN) de gran alcance y optimizada para consumir muy poca energía. Esto significa que LoRaWAN™ es perfecta como red inalámbrica para nodos alimentados por baterías en redes IoT, además soporta de forma segura comunicación dúplex con una velocidad de datos que va desde los 0.3 Kbps hasta los 50 Kbps

M2M (Machine to Machine, `máquina a máquina`) es un concepto genérico que se refiere al intercambio de información o comunicación en formato de datos entre las máquinas remotas.

ZigBee. Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (*Wireless personal area network*, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

11. Bibliografía

- [1]. Dekkers, P. (2017). *LoRa, the Internet of Things - SURF Blog*. [online] SURF Blog. Available at: <https://blog.surf.nl/en/lora-the-internet-of-things/> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [2]. Minetad, (2017). [online] Available at: <http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/index.aspx> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [3]. Es.wikipedia.org. (2017). *Castril*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Castril> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [4]. Espuelas, D. and perfil, V. (2017). *El espectro radioeléctrico*. [online] Tecnología-escolapioslogrono.blogspot.com.es. Available at: <http://tecnologia-escolapioslogrono.blogspot.com.es/2010/12/el-espectro-radioelectrico.html> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [5]. Imberlina, C., Acosta. (2017). *LoRa / LoRaWan: pruebas de alcance con Multitech mDot (sx1272) y Conduit (sx1301) - IOTpreneur*. [online] Iotpreneur.com. Available at: <http://www.iotpreneur.com/lora-lorawan-pruebas-de-alcance-con-multitech-mdot-sx1272-y-conduit-sx1301/> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [6]. Worldsensing.com. (2017). *Loadsensing | Worldsensing*. [online] Available at: <http://www.worldsensing.com/solutions/industrial/technology/loadsensing-en.html> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [7]. The Things Network. (2017). *Mount*. [online] Available at: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/kerlink/mount.html> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [8]. <https://www.lora-alliance.org/what-is-lora/technology>. (2017). *Lora-Alliance*. [online] Available at: <https://www.lora-alliance.org/what-is-lora/technology> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [9]. Weyn, (2017). *Overview of Low Power Wide Area Networks*. [online] Slideshare.net. Available at: <http://www.slideshare.net/MaartenWeyn1/overview-of-low-power-wide-area-networks> [Accessed 22 Jan. 2017].
- [10]. Cooking-hacks.com. (2017). *LoRaWAN Technology for Arduino, Waspmote and Raspberry Pi*. [online] Available at: <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/lorawan-for-arduino-raspberry-pi-waspmote-868-900-915-433-mhz/> [Accessed 22 Jan. 2017].