

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN**

# **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

***PLANIFICACIÓN DE RED IOT-LORA EN LA  
CAV***

**Alumno** *Ibarguen Uribarrena, Aitor*  
**Director** *Eizmendi Izquierdo, Iñaki*  
**Departamento de Ingeniería de Comunicaciones**  
**Curso académico** *2017/2018*

*Bilbao, 26, septiembre, 2018*



---

## RESUMEN TRILINGÜE

### EUSKARA

Master amaierako lan honetan Itelazpi enpresa publikoan LoRaWAN teknologiarekin egindako sare planifikazioa aurkezten da. Proiektu hau aurrera eramateko testuingurua eta Euskal Autonomia Erkidego osoan estaldura izateko planifikazioa aurkezten da, Itelazpik kudeatzen dituen emplazamenduak erabiliz. Horretarako, estaldura simulazio bat egin eta haren emaitza aztertzen da. Horrez gain, Vitoria-Gasteiz eta Sopelan egindako bi frogak azaltzen dira; haien helburuak, plangintza eta emaitzak aztertuz.

### CASTELLANO

En este Trabajo de Fin de Master se presenta una planificación de una red con tecnología LoRaWAN llevada a cabo en la empresa pública Itelazpi. Se presenta el contexto en el que Itelazpi decide llevar a cabo el proyecto y se realiza una planificación de cobertura base para toda la Comunidad Autónoma Vasca utilizando emplazamientos ya existentes. Se realiza una simulación de cobertura y se analiza el resultado. Además, se explican dos pruebas llevadas a cabo en Vitoria-Gasteiz y en Sopela; para ello se explica su objetivo, planificación y el resultado de las mismas.

### ENGLISH

In this Master Final Work a LoRaWAN network planning, made in the public enterprise Itelazpi, is presented. The context that leads to the decision of making this project is explained and also a coverage planning for the whole Basque Country by using currently existing placements. A coverage simulation is presented and its result analyzed. Besides that, two real tests, made in the cities of Vitoria-Gasteiz and Sopela, are explained as well as their aim, planning and results.



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>2. CONTEXTO.....</b>	<b>10</b>
2.1. Categorización de centros .....	11
2.2. Red de transporte .....	11
2.2.1. Red troncal .....	12
2.2.2. Red capilar .....	12
2.2.3. Red IP-MPLS .....	13
<b>3. OBJETIVOS Y ALCANCE .....</b>	<b>15</b>
<b>4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO.....</b>	<b>16</b>
4.1. Beneficios Técnicos .....	16
4.1.1. Cobertura de red de nueva tecnología en toda la CAV .....	16
4.1.2. Instalación en infraestructura existente .....	16
4.1.3. Bajo consumo.....	16
4.1.4. Nuevas aplicaciones corporativas.....	16
4.1.5. Protocolo abierto .....	16
4.1.6. Fácil instalación.....	17
4.1.7. Escalabilidad .....	17
4.2. Beneficios Económicos .....	17
4.2.1. Bajo coste de instalación .....	17
4.2.2. Bajo consumo.....	17
4.3. Beneficios sociales y medioambientales .....	17
4.3.1. Mejora del bien común.....	18
<b>5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>19</b>
5.1. Estado del arte IoT .....	19
5.1.1. Concepto de IoT.....	19
5.1.2. Ámbitos de aplicación .....	20
5.1.3. Tecnologías de acceso inalámbrico.....	22
5.1.4. Actividades de los diferentes Agentes de una red IoT .....	24
<b>6. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS.....</b>	<b>26</b>
6.1. Funcionalidades.....	26
6.2. Características.....	27
6.3. Rol de Itelazpi en la red .....	27
<b>7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>29</b>
7.1. Plataformas de simulación .....	29
7.1.1. Sirenet.....	29
7.1.2. Xirio 29	
7.1.3. ICS Telecom.....	31



7.1.4.	Elección de plataforma de simulación .....	32
7.2.	Fabricantes de gateways .....	32
7.2.1.	Cisco.....	33
7.2.2.	Multitech .....	34
7.2.3.	Kerlink .....	34
7.2.4.	Elección del fabricante .....	35
7.3.	Pruebas piloto .....	35
7.3.1.	Telelectura de contadores de agua .....	36
7.3.2.	Control de estacionamiento en parking.....	36
7.3.3.	Geolocalización de ganado.....	37
7.3.4.	Elección de pruebas.....	38
<b>8.</b>	<b>METODOLOGÍA SEGUIDA .....</b>	<b>39</b>
8.1.	Descripción de Tareas y Fases.....	40
8.1.1.	Supervisión de proyecto .....	40
8.1.2.	Análisis de tecnologías .....	40
8.1.3.	Análisis de requerimientos.....	40
8.1.4.	Realización de la planificación.....	41
8.1.5.	Validación de resultados.....	41
8.1.6.	Documentación .....	42
8.2.	Diagrama de Gantt .....	43
<b>9.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA .....</b>	<b>44</b>
9.1.	Elección de emplazamientos .....	44
9.2.	Descripción de los resultados .....	46
<b>10.</b>	<b>PRUEBAS PILOTO .....</b>	<b>50</b>
10.1.	Network Servers para las pruebas .....	50
10.1.1.	Wanesy.....	50
10.1.2.	LoRa Server .....	51
10.2.	Metdología de pruebas.....	52
10.2.1.	Medidas de cobertura.....	53
10.3.	Gasteiz – EJIE.....	54
10.3.1.	Simulación.....	54
10.3.2.	Caso de uso de parking .....	55
10.3.3.	Medidas de cobertura en la ciudad .....	57
10.3.4.	Análisis de la prueba .....	58
10.4.	Sopela – CABB.....	59
10.4.1.	Análisis previo .....	59
10.4.2.	Emplazamientos.....	61
10.4.3.	Medidas .....	62
10.4.4.	Conclusiones del caso de uso .....	63
10.4.5.	Cobertura en Sopela .....	64
10.5.	Análisis de las pruebas .....	64



<b>11. PRESUPUESTO.....</b>	<b>66</b>
11.1. Horas internas.....	66
11.1.1. Coste por tipo de miembro del equipo.....	66
11.1.2. Cálculo de horas internas.....	66
11.2. Amortizaciones .....	66
11.3. Gastos .....	67
11.4. Pruebas Piloto .....	67
11.5. Resumen planificación y pruebas .....	67
11.6. Despliegue completo de la red.....	68
11.7. Resumen.....	68
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>13. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>70</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. TOPOLOGÍA DE LA RED DE TRANSPORTE TRONCAL DE ITELAZPI S.A. Y SUS CAPACIDADES. FUENTE: ITELAZPI.....	12
FIGURA 2. PLANO TOPOLÓGICO DE LA RED CAPILAR DE ITELAZPI. FUENTE: ITELAZPI .....	13
FIGURA 3. TOPOLOGÍA DE RED IP-MPLS .....	14
FIGURA 4. LOS TRES COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA IOT. FUENTE: TSR .....	19
FIGURA 5. REDES INALÁMBRICAS Y PRINCIPALES SISTEMAS. FUENTE: TSR .....	23
FIGURA 6. AGENTES DEL ECOSISTEMA IOT. FUENTE: TSR .....	25
FIGURA 7. PILA DE PROTOCOLOS UTILIZADA EN LORA. FUENTE: LORA ALLIANCE .....	27
FIGURA 8. ESQUEMA BÁSICO DE RED CON LA PARTE DE ITELAZPI RESALTADA EN EL RECTÁNGULO DISCONTINUO. ....	28
FIGURA 9. CAPTURA DE PANTALLA DE LA HERRAMIENTA WEB XIRIO. FUENTE: APTICA .....	30
FIGURA 10. INTERFAZ GRÁFICA DE ICS. FUENTE: ATDI .....	31
FIGURA 11. SOLUCIÓN COMPLETA PARA LORAWAN DE CISCO. FUENTE: CISCO.....	33
FIGURA 12. MULTITECH CONDUIT. FUENTE: MULTITECH .....	34
FIGURA 13. SENSIBILIDAD SEGÚN FACTOR DE ENSANCHAMIENTO. FUENTE: LORA ALLIANCE .....	46
FIGURA 14. COBERTURA BÁSICA DE RED CON 54 CENTROS. ....	48
FIGURA 15. RANGO DE COLORES UTILIZADO EN LA SIMULACIÓN. ....	48
FIGURA 16. PANTALLA DE INICIO EN WANESY. ....	51
FIGURA 17. CAPTURA DE PANTALLA DE LORA SERVER. ....	52
FIGURA 18. TRACKER LT-100 DE GLOBALSAT. FUENTE: GLOBALSAT .....	53
FIGURA 19. RESULTADO DE LA SIMULACIÓN EN GASTEIZ.....	55
FIGURA 20. IMAGEN AÉREA DE LA ZONA DE PRUEBAS CON LA UBICACIÓN DEL GATEWAY EN EL TEJADO DEL EDIFICIO DE LAKUA Y EL PARKING EXTERIOR SEÑALADO POR EL CÍRCULO DISCONTINUO. FUENTE: GOOGLE EARTH. ....	56
FIGURA 21. CAPTURA DE PANTALLA DE LA APLICACIÓN DE HIRISENS.....	57
FIGURA 22. CAPTURA DE PANTALLA CON EL RECORRIDO REALIZADO EN GASTEIZ.....	58
FIGURA 23. VISTA AÉREA DE SOPELA Y EL CENTRO DE BARRIKA. ....	60
FIGURA 24. RESULTADO DE SIMULACIÓN DESDE EL CENTRO DE BARRIKA. ....	60
FIGURA 25. LOCALIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PRUEBA. ....	61
FIGURA 26. CAPTURA DE MENSAJES RECIBIDOS EN WANESY.....	62
FIGURA 27. CAPTURA DE PANTALLA CON LE RECORRIDO REALIZADO EN SOPELA.....	64




---

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. TABLA RESUMEN DE TAREAS.....	39
TABLA 2. CENTROS ELEGIDOS COMO EMPLAZAMIENTOS PARA LA RED.....	45
TABLA 3. EMPLAZAMIENTOS ELEGIDOS PARA LA PRUEBA.....	61
TABLA 4. MEDIDAS EN EMPLAZAMIENTOS DE SOPELA.....	62
TABLA 5. COSTE HORARIO POR TIPO DE MIEMBRO DEL EQUIPO.....	66
TABLA 6. COSTE HORAS INTERNAS.....	66
TABLA 7. AMORTIZACIONES.....	66
TABLA 8. COSTE DE LOS GASTOS.....	67
TABLA 9. COSTE DE LAS PRUEBAS PILOTO.....	67
TABLA 10. COSTE DE LA PLANIFICACIÓN Y PRUEBAS.....	67
TABLA 11. COSTE DEL DESPLIEGUE COMPLETO DE LA RED.....	68
TABLA 12. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	68



---

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- API: Application Programming Interface
- CABB : Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia
- CAV: Comunidad Autónoma Vasca
- CPD: Centro de Procesamiento de Datos
- EiTB: Euskal Irrati Telebista
- EJGV: Eusko Jaurlaritzza-Gobierno Vasco
- EJIE: Eusko Jaurlaritzaren Informatika Elkartea
- FM: Frecuencia Modulada
- GPS: Global Navigation System
- GW: gateway
- IoT: Internet of Things
- IP: Internet Protocol
- ITU: International Telecommunications Union
- LoRa: Long Range
- LPWAN: Low Power Wide Area Network
- NFC: Near Field Communication
- NS: Network Server
- PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy
- SDH: Synchronous Digital Hierarchy
- SN: Signal to Noise Ratio
- TDT: Televisión Digital Terrestre
- TETRA: Terrestrial Trunked Radio
- VLAN: Virtual Local Area Network
- WFAN: Wireless Factory Area Network
- WHAN: Wireless Home Area Network
- WLAN: Wireless Local Area Network
- WNAN: Wireless Neighborhood Area Network.
- WPAN: Wireless Personal Area Network
- WWAN: Wireless Wide Area Networks





---

## 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se ha desarrollado en la empresa Itelazpi S.A empresa pública perteneciente 100% al Gobierno Vasco-Eusko Jaurlaritza (EJGV). Itelazpi es la empresa que gestiona gran parte de la infraestructura de telecomunicaciones perteneciente a EJGV, que contempla unos 250 centros de telecomunicaciones repartidos por todo el territorio de la Comunidad Autónoma Vasca (CAV).

El principal servicio que proporciona Itelazpi es el de transporte y difusión de la señal de radio y televisión de Euskal Irrati Telebista (EiTB). Para ello, cuenta con una amplia red de transporte que conecta los principales centros de comunicaciones entre sí, lo que resulta en una gran red de comunicaciones que abarca toda la CAV, preparada para transportar cualquier tipo de información, no solo señal de radio y televisión. Prueba de ello es que además de proporcionar el ya citado servicio a EiTB, Itelazpi tiene desplegada una red TETRA (Terrestrial Trunked Radio) de uso civil con cobertura en todo el territorio. Con esta red TETRA se ofrece un servicio de comunicaciones inalámbricas seguras a organismos públicos (ayuntamientos, bomberos, Eusko Tren, entre otros). Además de estos servicios, Itelazpi ofrece un acceso rural de banda ancha con tecnología WiMAX.

Además de los servicios mencionados, Itelazpi ofrece el servicio de albergue a otros operadores o empresas que necesiten hacer uso de sus infraestructuras. Este servicio incluye el alquiler de espacio tanto en las casetas de los centros como en las torres de comunicación, el transporte de la señal en caso de ser necesario e incluso proporciona energía eléctrica a los equipos albergados.

Se trata, por tanto, de un operador de telecomunicaciones autonómico que está capacitado para proporcionar cualquier servicio de comunicaciones que requiera de una infraestructura como la existente. Además de ello, al ser una empresa pública que gestiona patrimonio público, tiene el deber de buscar nuevos usos para la infraestructura existente, bien sea para proporcionar nuevos servicios que puedan resultar útiles a la sociedad, o bien sea para optimizar el uso de la red existente. Dentro de esta búsqueda de nuevos servicios, surgió la idea de estudiar la implantación de alguna tecnología relacionada con el Internet de las Cosas (IoT), es decir, alguna tecnología desarrollada para dispositivos que requiriesen poca capacidad de transmisión y con la que se pudiese cubrir futuras necesidades de los distintos organismos públicos.



---

## 2. CONTEXTO

Como se ha explicado en la introducción, Itelazpi es una empresa pública que fundamentalmente presta servicio a EITB, pero que tiene la necesidad de buscar nuevos usos para su infraestructura. Estos nuevos usos tienen que estar pensados para ser utilizados por la administración pública, ya que Itelazpi no puede actuar como un agente privado y ofrecer servicios de manera comercial.

Para ello, resulta de especial interés el hecho de contar con una red de centros transmisores que se encuentran distribuidos por todo el territorio de la CAV, y que se estima que proveen de una cobertura tanto de televisión digital como de TETRA de más del 99% de la superficie. Para dar estos servicios, Itelazpi cuenta con cuatro áreas técnicas: Transporte, Broadcast (o Difusión), Albergue y TETRA.

- **Albergue:** es el área que se encarga de gestionar el espacio físico en los centros de Itelazpi, tanto en las casetas como en las torres o postes. Este área es quien da servicio a aquellas empresas que necesiten hacer uso con sus propios equipos de la infraestructura existente. Así mismo, es la encargada de asignar espacios para los nuevos equipos que se vayan a instalar en los centros.
- **Broadcast:** es el área encargada de emitir (difundir) la señal del grupo EITB así como de la extensión de cobertura de los canales TDT de ámbito estatal. Es la responsable de los equipos transmisores y de sus sistemas radiantes. Además de encargarse de la gestión de los equipos transmisores, es el área encargada de encontrar y dar solución a problemas de cobertura de la señal de TDT.
- **TETRA:** es el área que gestiona la red TETRA de uso civil propiedad de Itelazpi. Este servicio se ofrece a entidades o empresas públicas que necesiten comunicaciones móviles seguras. Entre sus clientes se encuentran Euskotren, Metro Bilbao o Interbiak.
- **Transporte:** es el área encargada de gestionar la red de transporte de Itelazpi. Presta servicio a las áreas de Broadcast y TETRA, transportando su señal, y también a aquellas empresas albergadas en la red y que necesiten utilizar esta red para transportar su señal (o datos). Por la naturaleza de este proyecto, se considera interesante explicar la red de transporte.

Otro aspecto importante, y que tiene mucho peso en este proyecto, es la categorización de centros que existe en Itelazpi, ya que se utiliza como un criterio importante a la hora de realizar la planificación.



## 2.1. CATEGORIZACIÓN DE CENTROS

Como se ha mencionado, en Itelazpi se gestionan unos 250 centros propios, pero además algunos equipos necesarios para dar los diferentes servicios están albergados en centros de otros operadores.

Para la gestión adecuada de toda la infraestructura, es necesario clasificar los centros según su importancia. Administrativamente existe una categorización del 1 al 6, en la que C1 son los 10 centros más importantes, por tamaño de la infraestructura, servicios ofrecidos y población cubierta. Las categorías C5 y C6 se consideran especiales, ya que son centros de otros operadores y no se tienen en cuenta para este proyecto. Para este proyecto las categorías que se consideran son las siguientes:

- C1: 10 centros
- C2: 37 centros
- C3: 118 centros
- C4: 55 centros

Una puntualización importante a realizar es la diferencia entre los centros. Como se ha dicho, los más importante son los C1 por tamaño y población cubierta, seguidos de los C2 que también se consideran centros principales e importantes. El resto de centros se clasificaba históricamente en una única tercera categoría. Sin embargo, se decidió dividir dicha categoría en dos atendiendo a criterios que resultan de interés para este proyecto. La categoría C3 incluye aquellos centros que cuentan con caseta (esto quiere decir que los equipos se pueden instalar en interior) y además cuentan con red de transporte (con alguna excepción), aspecto clave este último para la elección de centros en este proyecto.

Por otro lado, dicha categorización no es única, puesto que cada centro requiere un tiempo de atención a las incidencias diferente en función del servicio afectado, lo que genera que cada área tenga su propia categorización. Sin embargo, para este TFM se tiene en cuenta la categorización administrativa explicada anteriormente, ya que se considera que es la más representativa.

## 2.2. RED DE TRANSPORTE

En este apartado se describe brevemente la estructura de la red de transporte de Itelazpi, ya que, a pesar de no ser el objeto de este TFM, es una parte fundamental en la existencia del mismo; gracias a su existencia y actual configuración se puede llevar a cabo el despliegue del nuevo servicio.

Esta red se ha ido desarrollando para transportar el múltiplex de EITB, que se transporta desde la cabecera (en distintas sedes de EITB), donde son multiplexados los diversos programas (ETB1, ETB2, ETB3, ETB4, ETB1 HD y ETB2 HD) y los servicios de radio FM EI1, EI2, EI3, EI4 y EI5), hasta los centros principales



de difusión para que puedan ser radiodifundidos. Posteriormente se ha ido extendiendo para soportar el resto de servicios que ha ido desplegando Itelazpi.

En esta red el servicio de transporte se presta sobre dos tipos de radioenlaces en función del protocolo de transporte empleado.

### 2.2.1. Red troncal

La red troncal actual está basada en radioenlaces IP nativo de Nokia, funcionando en las bandas de frecuencia de 6, 8, 13 y 18 GHz, y en una estrella interprovincial sobre Fibra Óptica que une las sedes de EITB en las tres capitales vascas: Bilbao, Gasteiz y Donostia. Además de dos fibras oscuras entre la sede de EITB en Gasteiz y el centro emisor de Zaldiaran.

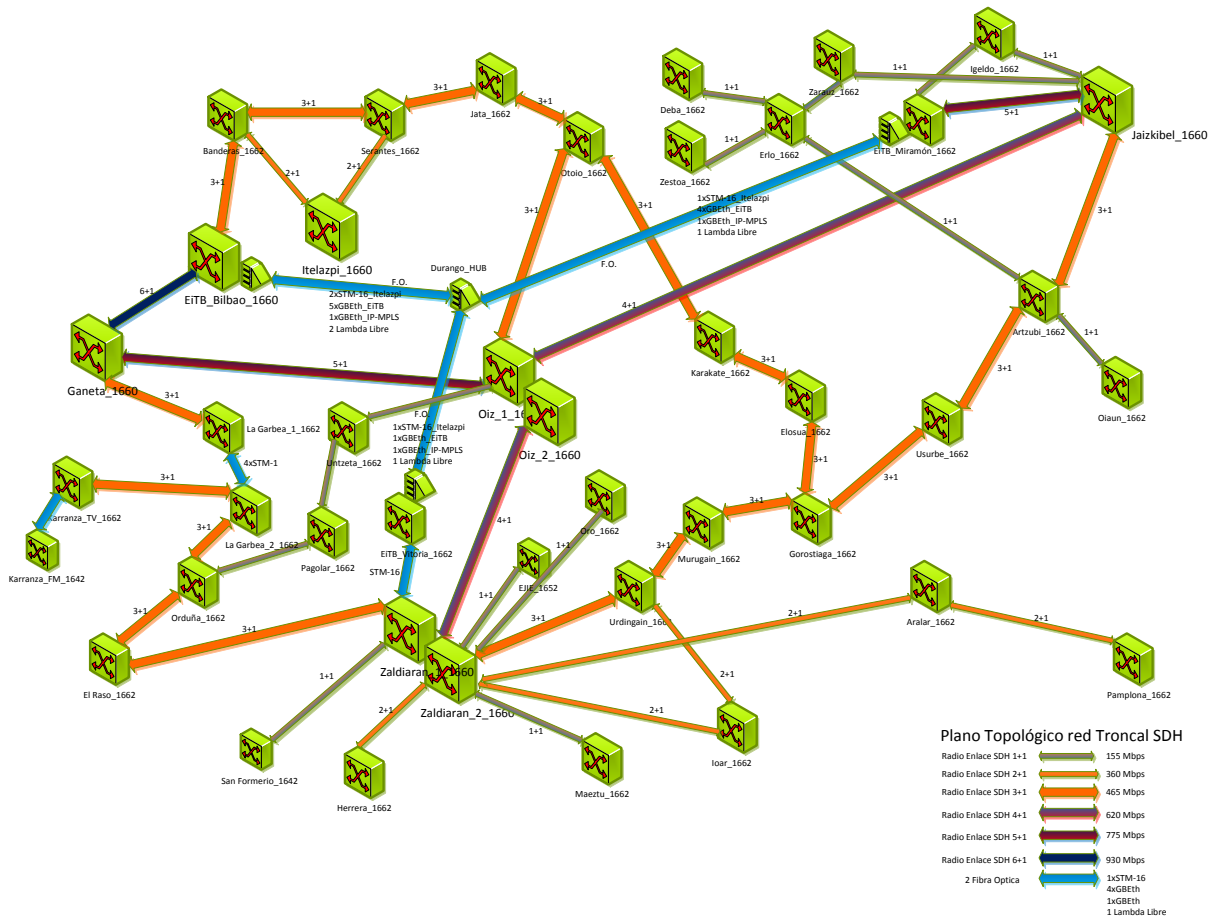


Figura 1. Topología de la red de transporte troncal de Itelazpi S.A. y sus capacidades. Fuente: Itelazpi

### 2.2.2. Red capilar

Está formada por radioenlaces de baja capacidad PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) y también por radioenlaces IP nativo, hacia donde se está migrando progresivamente toda la red. Las capacidades de transporte están entre 8 Mbps y 80 Mbps. Extienden los servicios de red troncal a donde esta no llega, dando

servicio a las redes WiMAX, TETRA, Distribución de TDT en IP, Contribuciones de TV en IP, Red de Supervisión y Líneas Alquiladas en 135 estaciones.

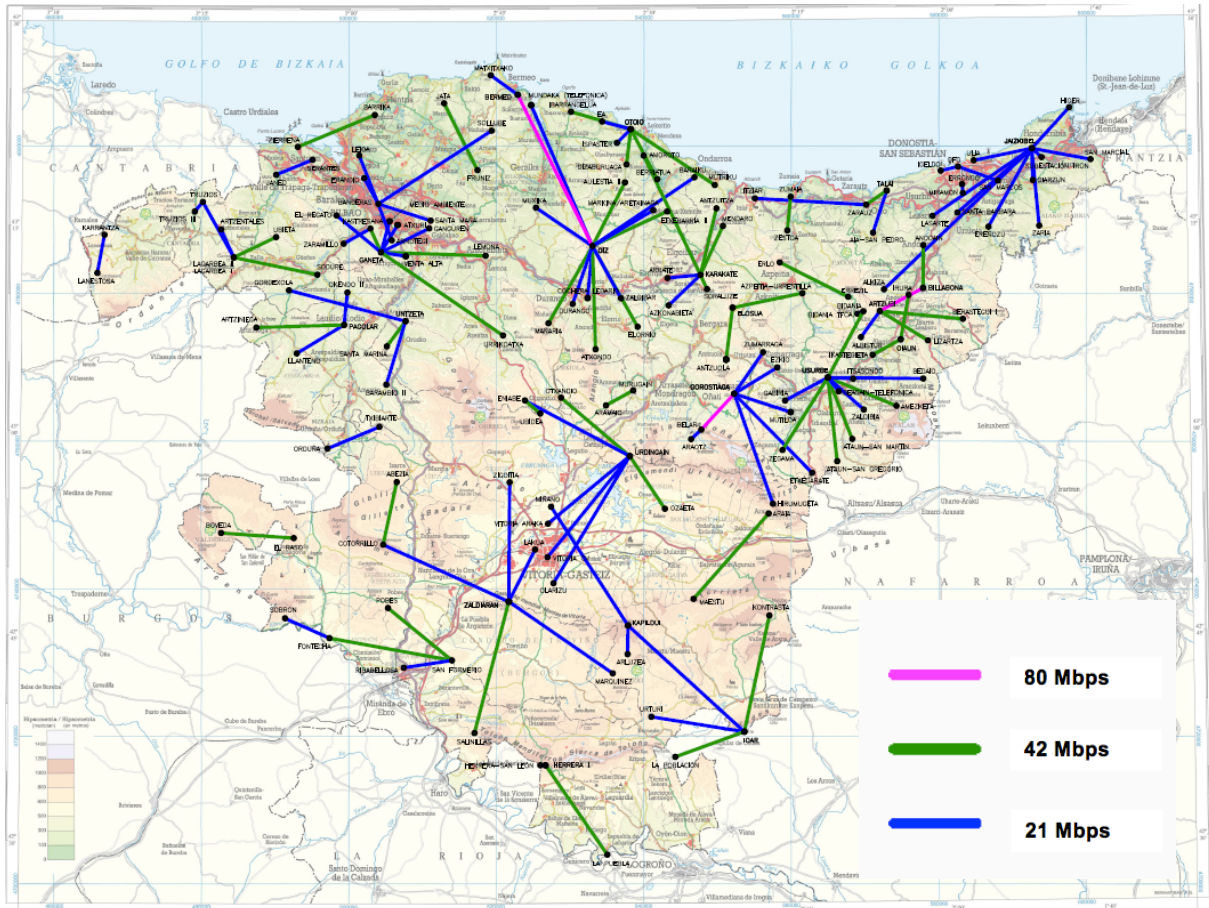


Figura 2. Plano topológico de la Red Capilar de Itelazpi. Fuente: Itelazpi

### 2.2.3. Red IP-MPLS

MPLS (Multiprotocol Label Switching o Conmutación Multi-Protocolo mediante Etiquetas) es un mecanismo de transporte de datos estándar que opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red del modelo OSI.

Desde el año 2014, Itelazpi ha ido migrando su red desde la tecnología SDH a la tecnología IP-MPLS. En la actualidad (septiembre de 2018) en torno al 90% de la red está migrada y está preparada para utilizar el protocolo de red IP.

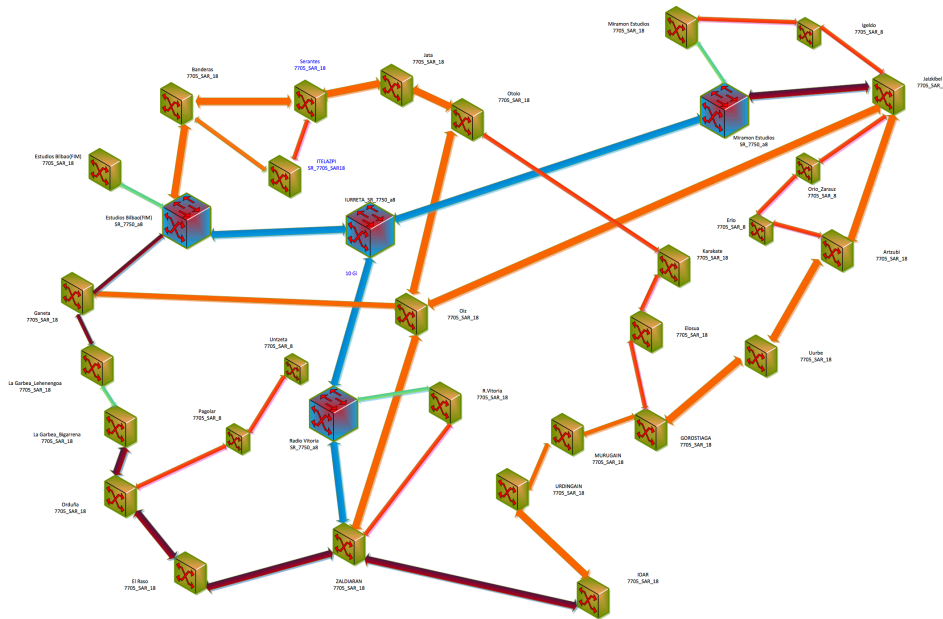


Figura 3. Topología de Red IP-MPLS

Teniendo en cuenta dicha red y su capacidad para funcionar con el protocolo IP de manera nativa, se ha considerado interesante iniciar la búsqueda de alguna tecnología relacionada con el concepto de Internet de las Cosas (más conocido por su denominación en inglés Internet of Things, IoT), que pueda funcionar sobre el protocolo IP. El concepto de IoT es bastante amplio y no existe una definición única aceptada mundialmente, pero se puede decir que hace referencia a la capacidad de que cualquier objeto, sea cual sea su uso, se pueda conectar a Internet. Para tener una visión completa del estado del arte, Itelazpi ha encargado un informe al grupo TSR perteneciente al departamento de Ingeniería de Comunicaciones de la Escuela de Ingeniería de Bilbao [1].

Basándose en el informe mencionado, Itelazpi ha decidido elegir una de las tecnologías propuestas y desarrollar una planificación de red, que se recoge en este documento, y poner en marcha diferentes pruebas para comprobar sobre su propia red el funcionamiento de la tecnología elegida.



---

### 3. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo de este proyecto es la realización de la planificación de una red con tecnología LoRa con cobertura para toda la CAV.

La planificación de la red se hará teniendo en cuenta la infraestructura que ya tiene Itelazpi; por lo tanto, se utilizarán como punto de partida los emplazamientos ya existentes, con los que se espera, *a priori*, lograr una cobertura adecuada en gran parte del territorio. Esta planificación será la base sobre la que se vaya desarrollando la red en el futuro, ya que, en principio, el despliegue no se va a hacer de manera inminente en su totalidad, sino que se irán instalando los equipos en aquellos lugares en los que surjan proyectos concretos.

Cabe destacar que esta planificación se limita a buscar la configuración adecuada para dar cobertura en la mayor parte posible del territorio, dejando para futuras ampliaciones del presente proyecto la planificación de canales, en caso de considerarse necesario llevarla a cabo.

Por lo tanto, el resultado de este proyecto será un listado de emplazamientos con los que se consiga dar cobertura a todo el territorio de la CAV, y una simulación de la cobertura esperada con la red al completo.

Además de lo mencionado, se han llevado a cabo dos pruebas piloto en entornos reales que quedan reflejadas en este documento con el fin de comparar los resultados obtenidos en la simulación con el comportamiento real, y con el objetivo de tener un primer contacto con la nueva tecnología en un entorno real.



---

## **4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO**

### **4.1. BENEFICIOS TÉCNICOS**

#### **4.1.1. Cobertura de red de nueva tecnología en toda la CAV**

La red va a proporcionar acceso a una nueva tecnología a las empresas o instituciones, ya que un alto porcentaje geográfico de la CAV va a tener una buena cobertura de red, incluso una mejor cobertura que algunas de las redes celulares actuales. Para conseguir cubrir la mayor parte del área geográfica, las estaciones base se instalarán en puntos que faciliten que la señal se propague sin interferencias en el trayecto.

#### **4.1.2. Instalación en infraestructura existente**

La instalación de los equipos se hará en infraestructuras ya existentes, lo que facilita la puesta en marcha, además de suponer un menor impacto económico inicial.

#### **4.1.3. Bajo consumo**

Una de las características de las redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) es que se consigue una amplia cobertura con un número reducido de estaciones base. Están pensadas para aplicaciones que requieran poca cantidad de datos, y comunicaciones que no requieren el envío constante de datos, sino un envío esporádico (varias veces al día, una transmisión al día o incluso menos).

#### **4.1.4. Nuevas aplicaciones corporativas**

Con esta nueva red las diferentes administraciones van a poder desarrollar nuevas herramientas que les permitan gestionar de manera más eficiente sus recursos. Entre otros usos, van a poder instalar diferentes dispositivos (como sensores de caudal en ríos, reguladores lumínicos, detectores de humos, etc.) que les va a permitir obtener información de interés con la que poder tomar decisiones de manera más eficiente e incluso de forma automatizada.

Además, el almacenamiento masivo de datos puede suponer una futura ventaja o aporte de más información para futuros proyectos de Big Data [2],[3].

#### **4.1.5. Protocolo abierto**

El hecho de que sea un protocolo abierto es beneficioso, porque cualquiera puede formar parte del desarrollo de esta tecnología; esto se traduce en un gran soporte técnico bien documentado. Se prevé que el mercado crezca y sean más los fabricantes que proporcionen esta tecnología en sus equipos [4], facilitando el despliegue y minimizando los costes.





#### **4.1.6. Fácil instalación**

Además del ya mencionado uso de infraestructura existente, una de las características de esta tecnología es que sus equipos son sencillos y de tamaño reducido. Muchos de ellos, además, utilizan la alimentación vía POE (Power Over Ethernet) con lo que para su instalación solo es necesario un único cable que se conecta al equipo de red ya existente.

Esto hace que, incluso en aquellos centros en los que la instalación sea en torre, el proceso de instalación de una estación base nueva lleve unas dos horas de trabajo, quedando operativa desde el mismo momento de la instalación.

#### **4.1.7. Escalabilidad**

Como se ha mencionado antes, el diseño de la red facilita la escalabilidad. Es decir, es posible incrementar el número de dispositivos finales conectados a la red, o aumentar el número de estaciones base para proporcionar una mayor capacidad.

### **4.2. BENEFICIOS ECONÓMICOS**

#### **4.2.1. Bajo coste de instalación**

Como se ha mencionado anteriormente, la instalación de los equipos es sencilla técnicamente y además se utiliza infraestructura ya existente. Esto conlleva que el coste de instalación sea muy reducido, tanto en coste económico como en tiempo.

#### **4.2.2. Bajo consumo**

El consumo de los equipos de la red es bajo (30 W). Además, teniendo en cuenta que por la naturaleza de esta tecnología los GW son equipos que prácticamente no emiten mensajes, su consumo se reduce a mantener el sistema operativo a la escucha de los mensajes ascendentes. En cuanto a los dispositivos (sensores) son muy sencillos y suelen estar alimentados por baterías que duran varios años [5].

### **4.3. BENEFICIOS SOCIALES Y MEDIOAMBIENTALES**

Además de los beneficios ya mencionados hasta el momento, el proyecto también favorece, de modo indirecto, el bienestar común de la sociedad. Existen beneficios mencionados anteriormente que además del beneficio técnico o económico conllevan beneficios medioambientales, como en el caso del ahorro de consumo de energía, o en el uso de infraestructuras ya existentes, evitando la necesidad de instalar nuevas torres de comunicaciones.



### 4.3.1. Mejora del bien común

Cuando se habla de IoT, se considera la idea de que cualquier tipo de dispositivo pueda estar conectado a Internet. Analizando esta situación, y atendiendo a los beneficios que puede proporcionar este hecho, se puede decir que la utilización de este tipo de red genera beneficios para la sociedad en su conjunto. Para ilustrar esto, se consideran los siguientes ejemplos de uso probables:

- **Sensores IoT:** la gran cantidad de tipos de sensores que se pueden fabricar hace que se puedan desarrollar muchas aplicaciones. Por ejemplo, sensores que mejoren el rendimiento de instalaciones que antes requerían una supervisión *in situ* por parte de algún empleado, pudiendo ser el caso de las instalaciones del consorcio de aguas. No solo se puede mejorar su gestión mediante la telelectura del consumo, si no que instalado caudalímetros en toda la red de abastecimiento podrían detectarse fugas o alguna otra anomalía.
- **Semáforos y vehículos:** cada vez las ciudades van tendiendo a hacer uso el concepto de "Smart City", utilizando la tecnología para mejorar la calidad de vida de sus vecinos. La existencia de una red como la propuesta en el presente TFM ayuda a conseguir este concepto de ciudad. Una Smart City está orientada a mejorar la calidad de vida de las personas, como puede ser el caso de mejora del tráfico de vehículos gracias a la comunicación de coches con elementos propios de la ciudad (como semáforos) mediante este tipo de tecnología. Sería posible implementar nuevos sistemas que faciliten el aparcamiento, reduzcan las infracciones, controlen el flujo de tráfico, etc.

## 5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

Como se ha mencionado previamente, para este proyecto Itelazpi ha encargado al grupo TSR la realización de un informe que recoge el estado del arte del IoT. Dicho informe es un documento muy amplio que incluye varios capítulos; en el presente documento se presenta un resumen de los aspectos más importantes, a partir de los cuales Itelazpi decide qué tecnología usar y qué rol adoptar en la futura red.

### 5.1. ESTADO DEL ARTE IOT

#### 5.1.1. Concepto de IoT

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT-T, [6] plantea el “Internet de los objetos (IoT)” como una “infraestructura mundial para la sociedad de la información que propicia la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperabilidad de tecnologías de la información y la comunicación presentes y futuras”.

En el estudio citado se menciona que existen diferentes definiciones de este concepto y se aporta una propia que resulta algo más práctica. Se define el término IoT como “un ecosistema de diferentes dispositivos, tecnologías y metodologías, que permiten disponer de un conjunto de objetos o dispositivos interconectados en una red”.

De esta definición se extrae que el concepto de IoT se basa en tres componentes:

- Los objetos
- La interconectividad
- La red

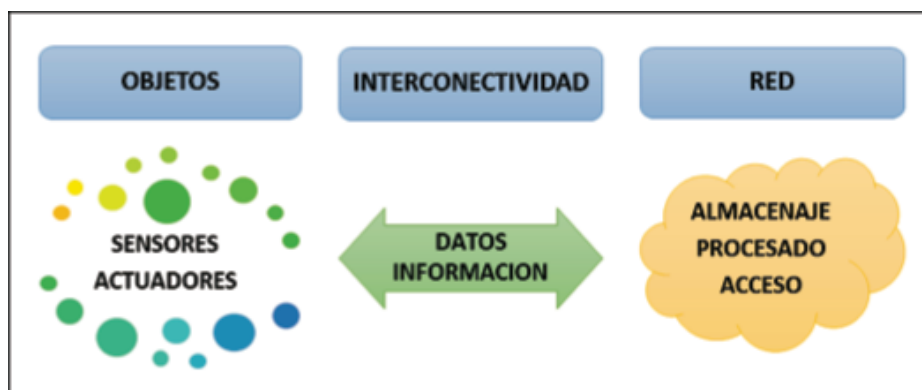


Figura 4. Los tres componentes principales de un sistema IoT. Fuente: TSR



Los objetos son aquellos dispositivos que sean capaces de proporcionar información sobre su propio estado o su entorno, o bien de actuar sobre su propio estado o su entorno. Es decir, se puede hablar de forma general de sensores que aporten información (sensores de temperatura, presión, contadores de personas, parking) o de actuadores que realicen alguna función (abrir/cerrar una puerta, encender/apagar la luz, accionar un determinado mecanismo, etc.).

La interconectividad hace referencia a la capacidad de esos objetos de comunicarse entre sí o con la red. Y también se establece que esa conectividad ha de ser global, disponible en todo momento y en todo lugar.

La red abarca todos aquellos elementos que conforman la infraestructura necesaria en un sistema de este tipo. Aquí es importante aclarar que, aunque en un principio se pueda dar a entender que el concepto de Internet of Things hace referencia necesariamente a la conectividad desde cualquier lugar (es decir, al uso necesario de la red global conocida como Internet) esto no es estrictamente correcto, ya que se pueden implantar sistemas en redes privadas no interconectadas con otra red, incluida la red global Internet.

#### 5.1.1.1. Funcionalidades

Las aplicaciones con este tipo de sistemas pueden ser muy variadas aunque se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- **Monitorización:** es la funcionalidad básica de este tipo de sistemas. En general se basa en la utilización de sensores que proporcionen información sobre su entorno.
- **Seguridad:** este tipo de aplicación se puede considerar un añadido a la anterior. Por ejemplo, en base a la información recibida establecer una serie de alarmas para actuar en consecuencia (alerta por temperaturas, presiones, pérdida de conexión con dispositivo, etc.)
- **Control:** se trata de actuar directamente sobre dispositivos que puedan interactuar con el entorno mediante órdenes que reciban de forma remota o mediante automatizaciones.

#### 5.1.2. Ámbitos de aplicación

Como se ha mencionado las aplicaciones posibles en este tipo de sistemas son muy variadas. Pero, basándose en varios autores, en el informe se agrupan dichas aplicaciones en siete categorías:

- **Ciudad Inteligente (Smart City):** es un gran campo de acción de estos sistemas y ámbito interesante para las administraciones públicas, tanto



por aprovechamiento de infraestructuras como por las posibles aplicaciones específicas. Algunas de ellas son el control de la iluminación, control de tráfico, control de la contaminación o gestión de residuos.

- **Edificio Inteligente:** en realidad se trata de un ámbito muy similar al anterior pero reducido a edificios. Se pueden desarrollar aplicaciones de gestión eficiente del propio edificio (eficiencia energética, sistemas de seguridad, etc.).
- **Agricultura y medio ambiente:** según este informe “la agricultura es uno de las industrias que más está contribuyendo al desarrollo de IoT”. En este ámbito se están desarrollando diferentes aplicaciones, desde la monitorización (control de humedad, posicionamiento de ganado, estado de las explotaciones) a la búsqueda de optimización de los recursos.
- **Energía y suministros:** este ámbito es uno de especial interés para las empresas. En él se pueden destacar dos grandes aplicaciones.
  - **Contadores inteligentes:** contadores de consumos de electricidad o agua, con posibilidad de realizar la lectura de forma remota.
  - **Smart grid:** es un término que se utiliza para referirse a redes eléctricas inteligentes. Son redes en las que la electricidad puede circular en ambas direcciones (también el cliente final puede contribuir a la red con energía generada en su domicilio) y cuentan con mecanismos y dispositivos tanto para su control y monitorización como para optimizar los recursos.
- **Fabricación avanzada:** se trata de aplicaciones desarrolladas específicamente para la industria.
  - Máquinas inteligentes
  - Control de tanques y depósitos
  - Localización y estado de las piezas
  - Gestión de transporte y logística
- **Salud y medicina:** en esta categoría se agrupan muchas aplicaciones, algunas de ellas se mencionan a continuación:
  - Dispositivos de medición de parámetros médicos
  - Dispositivos de alarma: actuados por el paciente para pedir auxilio o automáticamente para detectar caídas, por ejemplo.
  - Localizadores de posición
  - Control de equipamiento deportivo
  - Equipos de sensorización
- **Vehículo autónomo y conectado:** otro de los ámbitos muy conocidos, sobre todo a nivel popular, aunque no sea de especial interés en el caso de este TFM. Se trata de aplicaciones para ayuda a la conducción o incluso



para que la conducción sea completamente autónoma. Implica una gran cantidad de sensores en los vehículos pero también en la infraestructura viaria.

### 5.1.3. Tecnologías de acceso inalámbrico

A la hora de implementar un sistema IoT se ha de resolver el problema de comunicar a los dispositivos con la red. Por la naturaleza de los dispositivos que se emplean en estos sistemas (que pueden ser dispositivos móviles alimentados por baterías) las tecnologías que se utilizan son inalámbricas. Estas tecnologías de radio reciben una clasificación, que se considera universal, en función del alcance para el que se han concebido. Se establecen cuatro categorías, de menor a mayor área de cobertura:

- Proximidad (NFC, Near Field Communication).
- WPAN: Wireless Personal Area Network
- WLAN: Wireless Local Area Network
- WWAN: Wireless Wide Area Networks

Además de esta clasificación, recientemente han aparecido más clasificaciones que además del criterio de área de cobertura tienen en cuenta el ámbito de aplicación. Son las siguientes:

- LPWAN: Low Power Wide Area Network
- WHAN: Wireless Home Area Network
- WFAN: Wireless Factory Area Network
- WNAN: Wireless Neighborhood Area Network.

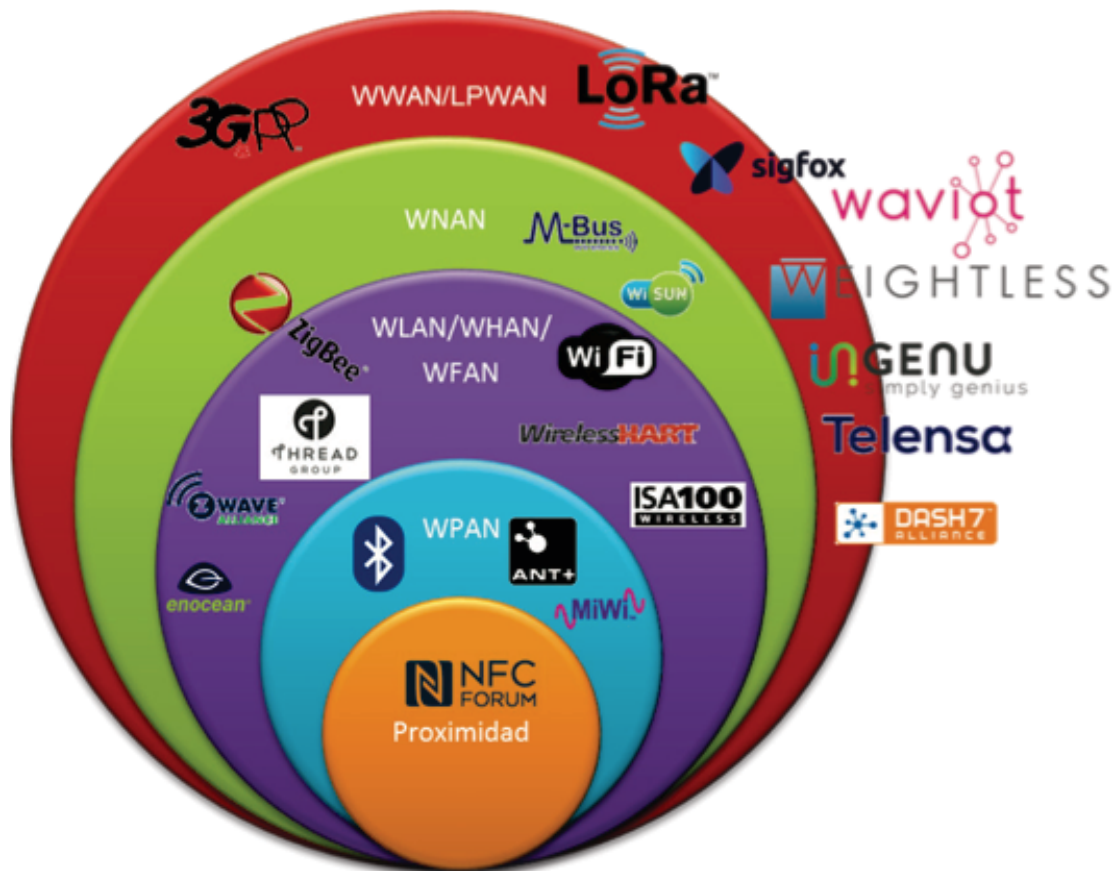


Figura 5. Redes inalámbricas y principales sistemas. Fuente: TSR

Para este TFM, y debido a que previamente a su elaboración la tecnología a emplear ya estaba elegida, se recoge la explicación de la tecnología LoRaWAN que aparece en el mencionado informe. Esta tecnología está dentro de la categoría de tecnologías LPWAN (Low Power Wide Area Network).

- **LoRaWAN**

Se trata de un sistema de baja potencia y largo alcance, de donde viene el nombre LoRa (Long-Range, low-power), específicamente diseñado para sistemas IoT. Además de la capa física, que está patentada, LoRa Alliance ha desarrollado su propio protocolo MAC para la conexión entre los dispositivos y la estación base LoRaWAN, que es un estándar abierto y cuyas especificaciones están disponibles de forma gratuita.

La capa física de LoRaWAN se basa en la técnica de espectro expandido, que permite recibir la señal con valores de SNR negativos (hasta -20 dB) a costa de ocupar un ancho de banda mayor que el estrictamente necesario. En el caso extremo se ocupan 500 kHz para una velocidad de transmisión de 1.1 kbps.

La técnica de espectro expandido utilizada es CSS (Chirp Spread Spectrum), donde para enviar un bit se transmiten varios Chirps o barridos de frecuencia donde la frecuencia de la portadora aumenta o disminuye con el tiempo,



ocupando todo el ancho de banda asignado (125, 250 o 500 kHz). La relación entre el ancho de banda ocupado y la velocidad de símbolo viene dada por el factor de ensanchamiento (SF)

La información además se envía protegida con un código de detección y corrección de errores que aumenta la robustez.

La implementación concreta de esta modulación está protegida por una patente, por lo que aunque gran parte de LoRaWAN es libre, no lo es en su totalidad. El negocio de la empresa impulsora de LoRa es la venta de sus chips, que son los únicos capaces de transmitir y recibir esta señal.

El sistema utiliza bandas sin licencia por debajo de los GHz, lo que disminuye las pérdidas de propagación frente a sistemas que utilizan frecuencias más elevadas. Pero el hecho de utilizar bandas sin licencia supone que cualquier otro dispositivo LoRaWAN o de otros sistemas puedan usar el mismo espectro produciéndose interferencias. Los dispositivos IoT y las puertas de enlace pueden transmitir en cualquier momento sin comprobar antes que el canal que utilizan está libre, en un protocolo similar al ALOHA, donde las colisiones se solucionan con reintentos. La técnica CSS implementada hace que las señales que utilizan diferentes SF sean ortogonales, por lo que no se interfieren, pero las señales que tienen el mismo SF sí colisionan, esto limita el número de dispositivos máximos, el alcance máximo o la velocidad de transmisión.

Los dispositivos IoT se conectan a una puerta de enlace LoRaWAN que es el nodo concentrador que se conecta a Internet. Los dispositivos no se identifican en la red por una dirección IP sino por un identificador LoRaWAN.

#### **5.1.4. Actividades de los diferentes Agentes de una red IoT**

En todo el ecosistema IoT participan diferentes agentes con roles bien diferenciados. En el informe de TSR se propone una posible clasificación que se muestra en la Figura 6.





Figura 6. Agentes del ecosistema IoT. Fuente: TSR

Estos roles de los agentes son:

- Operador de la red de acceso inalámbrica
- Integrador del sistema
- Cliente final
- Distribuidor
- Desarrollador de aplicaciones
- Desarrollador de plataformas
- Desarrollador de objetos inteligentes
- Productor de componentes hardware.



---

## 6. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS

En este apartado se listan los aspectos técnicos más importantes que se han de cumplir, una vez estudiado el estado del arte.

Como primer requerimiento importante, se concluye que la tecnología adecuada para implementar el nuevo servicio es LoRaWAN en la banda ISM de 868 MHz.

Otro de los aspectos importantes a destacar, ya mencionado pero de especial interés, es que se ha de utilizar la infraestructura ya existente. La planificación de la ubicación de los nuevos equipos se hará sobre los centros de comunicación ya existentes; como se ha explicado, Itelazpi considera que con los centros por él gestionados, y tras un primer análisis de la tecnología, se puede conseguir una cobertura adecuada para el servicio que pretende ofrecer. Este es un aspecto clave para la viabilidad económica del proyecto, aunque si se ve necesario se contemplaría la opción de buscar alguna ubicación alternativa (en este supuesto, se buscarían infraestructuras de otros operadores y se solicitaría albergue en sus instalaciones).

Además del criterio de la existencia del centro de comunicaciones, existe otro aspecto limitante que viene dado por tratarse el nuevo servicio de una tecnología de transmisión de datos. Los centros elegidos deben estar dentro de la red de transporte de Itelazpi. Esto no siempre es así, ya que al tratarse una red que se ha desarrollado principalmente para la transmisión de señal de televisión, algunos de los centros que dan cobertura de TDT en zonas muy determinadas son de tipo *gapfiller*, es decir, centros que reciben la señal difundida por otro centro emisor y la vuelven a difundir a la zona de cobertura objetivo. En estos centros no es necesaria la red de transporte, y aunque en algunos casos puedan resultar interesantes por su ubicación, para este proyecto quedan descartados.

### 6.1. FUNCIONALIDADES

- **Comunicación mediante tecnología LoRaWAN:** se ha determinado que la tecnología de acceso sea LoRaWAN.
- **Concentración de datos en un único punto:** todos los datos que se recojan con los dispositivos de la red deberán procesarse desde el mismo punto. En esta tecnología, el agente encargado de controlar la red y almacenar (o redireccionar) los datos es el Network Server (NS).

## 6.2. CARACTERÍSTICAS

- **Alta escalabilidad:** la red puede crecer tanto en número de equipos que acceden al servicio como los que proporcionan cobertura, sin necesidad de realizar cambios complejos.
- **Alta seguridad:** la información sensible está protegida con técnicas de encriptación proporcionadas por la tecnología LoRa. En la siguiente figura se muestra la pila de protocolos que utiliza LoRa, donde se ve que la información se encripta en diferentes capas.

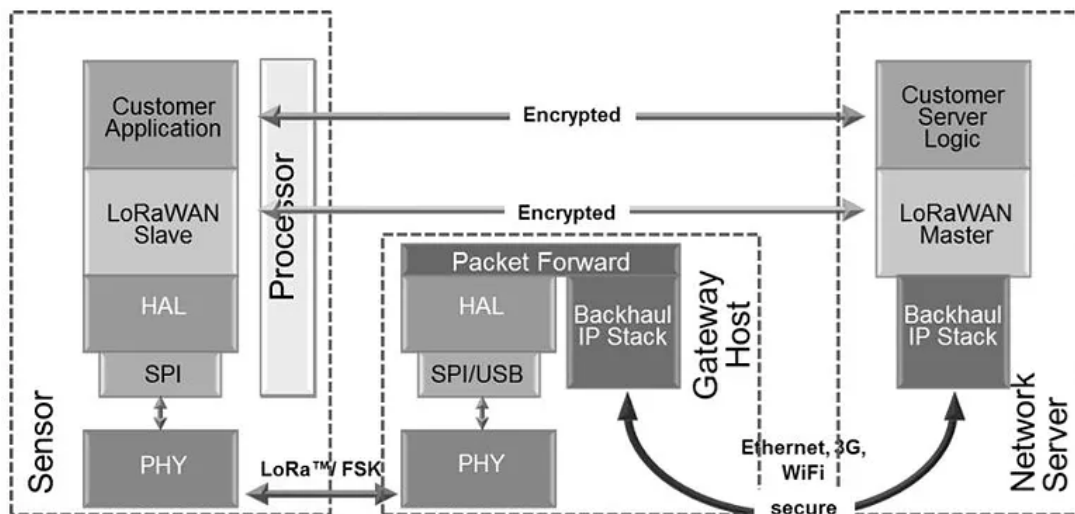


Figura 7. Pila de protocolos utilizada en LoRa. Fuente: LoRa Alliance

- **Velocidad de transmisión:** si bien el flujo de datos requerido no es grande, se ha de asegurar un flujo constante, que garantice la disponibilidad constantemente.
- **Estandarización:** los equipos que se elijan deberán cumplir estrictamente con el estándar LoRa, para garantizar que cualquier dispositivo que elijan los futuros usuarios de la red no tenga problemas de comunicación con la misma.

## 6.3. ROL DE ITELAZPI EN LA RED

Tras analizar los diferentes roles que puede ocupar Itelazpi, se ha decidido que el rol que va a tener es el de operador de red. Esto quiere decir que Itelazpi aprovechará su infraestructura para dar cobertura y para transportar los datos a un único punto (ubicado en el Centro de Procesamiento de Datos, CPD, de la sede de la empresa en Zamudio). De esta manera, los clientes de la red elegirán qué sensores utilizar (siempre y cuando cumplan con el estándar LoRaWAN serán compatibles con la red) y también desarrollarán su propia aplicación,

tomando los datos de la red de Itelazpi y tratándolos por su cuenta; esto se ilustra esquemáticamente en la Figura 8:

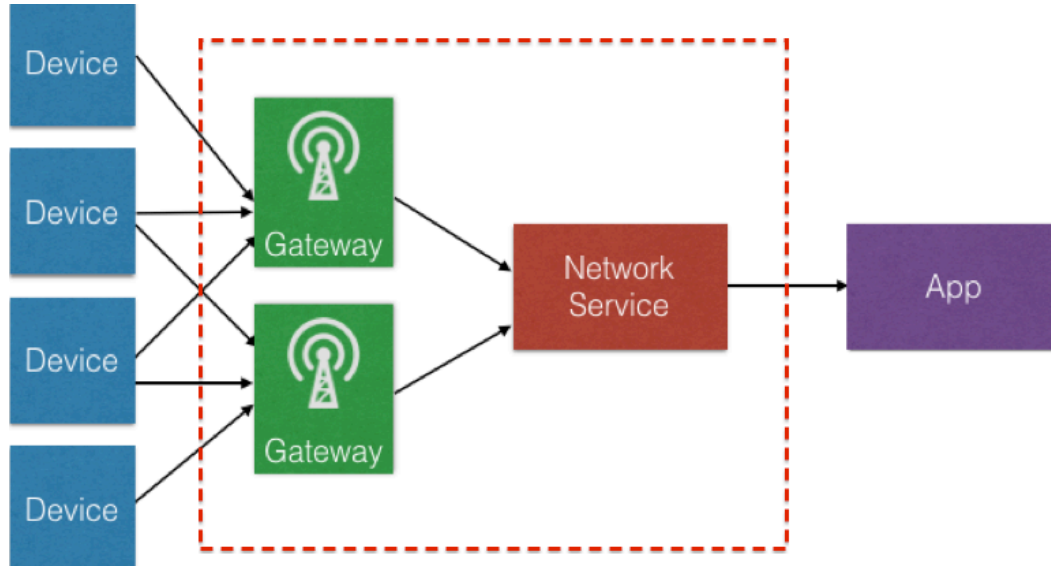


Figura 8. Esquema básico de red con la parte de Itelazpi resaltada en el rectángulo discontinuo.



---

## 7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

### 7.1. PLATAFORMAS DE SIMULACIÓN

Itelazpi es cliente de la empresa Aptica [7], que comercializa dos herramientas de simulación radioeléctrica: Sirenet y Xirio. En los pasados años, Itelazpi ha utilizado el programa Sirenet para realizar la simulación de cobertura de sus distintas redes (TDT y FM de EITB, TETRA). En este apartado también se recoge un pequeño análisis de otra herramienta de simulación conocida y establecida en el mercado que podría ser una alternativa.

#### 7.1.1. Sirenet

La herramienta Sirenet es un programa realizado para el sistema operativo Windows. Requiere una licencia de uso que necesita el uso de una llave hardware USB. Es la herramienta que lleva años comercializando Aptica y es una herramienta madura y que ofrece buenos resultados. Sin embargo, debido a la demanda del mercado, Aptica se está centrando más en el desarrollo de su otra herramienta Xirio, que es una aplicación web.

##### 7.1.1.1. Ventajas

- Herramienta conocida, al haber sido utilizada anteriormente.
- Los emplazamientos disponibles están en la base de datos.
- Ya se tienen adquiridos varios mapas de la CAV.
- Se cuenta con dos licencias.

##### 7.1.1.2. Desventajas

- No está implementada la tecnología LoRa.
- Los emplazamientos de la base de datos tienen pequeños errores en su ubicación que hay que corregir.
- Requiere licencia e instalación, esto hace que solo se pueda ejecutar en un máquina en la que esté instalado el programa y hace que compartir los resultados (tanto dentro de la empresa como a clientes) sea complicado.
- El cálculo lo hace la propia máquina del usuario, con lo que para proyectos grandes se necesita un ordenador relativamente potente.

#### 7.1.2. Xirio

Xirio es una herramienta web de simulación radioeléctrica. Es el producto que está impulsando Aptica, y es donde están implementando las herramientas

para simular las nuevas tecnologías. Su uso es más sencillo que Sirenet y cuenta con una interfaz gráfica sencilla que se muestra en la siguiente figura.

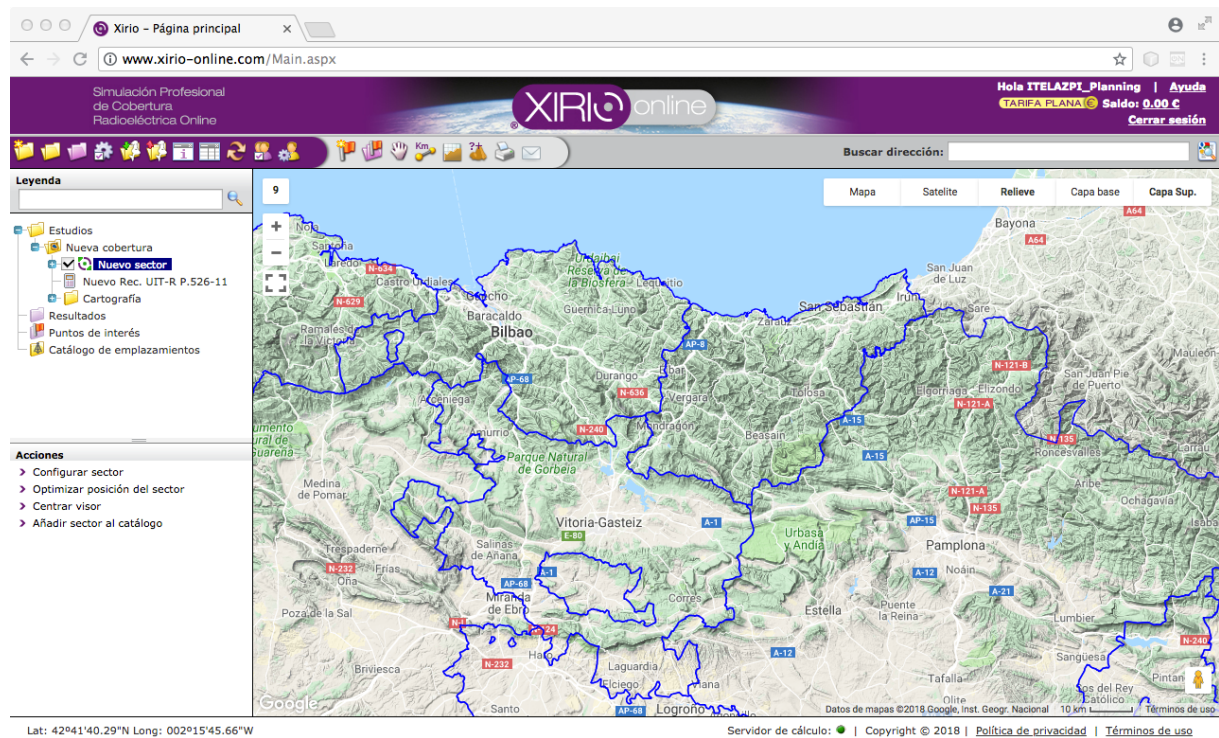


Figura 9. Captura de pantalla de la herramienta web Xirio. Fuente: Aptica

### 7.1.2.1. Ventajas

- Tiene implementada la tecnología LoRa.
- Es una herramienta web accesible desde cualquier ordenador.
- Se pueden habilitar usuarios de visualización, con lo que se puede habilitar a un cliente el acceso al resultado de los proyectos sin riesgo de que afecte al mismo.
- Es más sencilla de utilizar que Sirenet.
- Su uso entra dentro de la tarifa que ya tiene contratada Itelazpi.
- El cálculo lo realiza el servidor de Aptica, es más rápido y el usuario no necesita un hardware especialmente potente.

### 7.1.2.2. Desventajas

- Su sencillez se debe a que cuenta con alguna opción menos que Sirenet.
- No se ha utilizado previamente.



- Hay que hacer una importación de los emplazamientos existentes, además de corregir su posición.

### 7.1.3. ICS Telecom

ICS Telecom [8] es un software de simulación de la empresa ATDI con el que se puede planificar y modelar sistemas de radiocomunicación en el rango de frecuencias de 8 kHz a 350 GHz. Tiene incorporados varios métodos de análisis entre ellos los recomendados por la ITU (International Telecommunications Union) e incluye tecnologías como 5G, LTE, TETRA o varias de IoT e incluso el cálculo de radioenlaces.

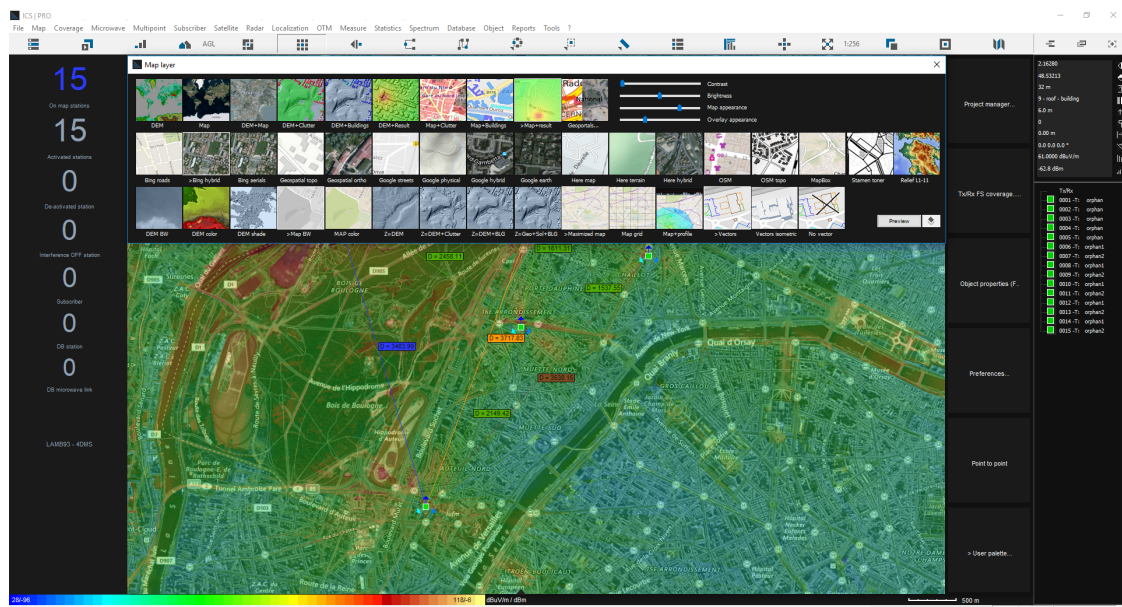


Figura 10. Interfaz gráfica de ICS. Fuente: ATDI

Es un software de pago que ofrece tarifa mensual, anual o una tarifa de por vida. No es un servicio online, exige la instalación en la máquina del cliente (solo compatible con el sistema operativo Windows). Su licencia puede ser configurada en un servidor, por lo que no es necesario que cada máquina cuente con una llave hardware mientras esté en la misma red LAN que el servidor.

#### 7.1.3.1. Ventajas

- Es una herramienta madura con una interfaz gráfica fácil de usar.
- Las licencias se pueden instalar en un servidor, sin necesidad de llaves hardware.



### 7.1.3.2. Desventajas

- Requiere de pago de licencia.
- Es una herramienta que no se ha utilizado previamente, no se conoce si se puede importar la base de datos de emplazamientos ya disponible en otras plataformas.

### 7.1.4. Elección de plataforma de simulación

Como se ha mencionado, Itelazpi ya tiene contratado los servicio de Aptica y tiene, por tanto, licencias para utilizar tanto Sirenet como Xirio en su versión de pago, así como un servicio de asesoramiento. Por lo tanto, a pesar de existir en el mercado alternativas que técnicamente pueden ser interesantes, se ha decidido utilizar Xirio para este proyecto ya que no hay motivos suficientes para cambiar de herramienta de simulación exclusivamente para este trabajo.

Además, es la única herramienta de Aptica que tiene implementada la tecnología LoRa; pero también es muy importante el hecho de ser una herramienta web, ya que más de una persona puede trabajar en el mismo proyecto fácilmente (por experiencia previa, en Itelazpi esto ha sido un problema), se pueden habilitar usuarios de visualización para que los clientes puedan ver el resultado de la planificación y además, no se necesita tener un hardware especialmente potente.

## 7.2. FABRICANTES DE GATEWAYS

Los equipos que hay que elegir para este proyecto son las estaciones base, o en el argot de IoT, gateways (GW). El NS se alojará en máquinas virtuales que ya tiene Itelazpi en su CPD y queda fuera del alcance este TFM.

Una cosa a destacar en este apartado es que se han de buscar equipos para un uso industrial, a la intemperie y que en muchos casos se van a instalar en torres de comunicaciones que están situadas en las cimas de los montes, por lo que van a soportar condiciones climatológicas extremas (lluvia, nieve, hielo, calor, temperaturas muy bajas en invierno). Esto hace que algunos fabricantes de GW que comercializan productos sencillos o exclusivamente para interiores queden excluidos en la búsqueda, y se acuda directamente a consultar el catálogo de aquellos fabricantes que ofrezcan equipos profesionales.



### 7.2.1. Cisco

Cisco es una de los fabricantes de equipamiento de redes más importantes del mundo y también ofrece productos para la tecnología LoRaWAN [9]. Ofrecen la siguiente solución completa:

- Gateway: equipo de acceso radio outdoor/indoor con protección IP67.
- IoT Field Network Director: Gateway de gestión IP.
- LoRaWAN Network Server: el controlador central de gestión de la red y dispositivos finales.

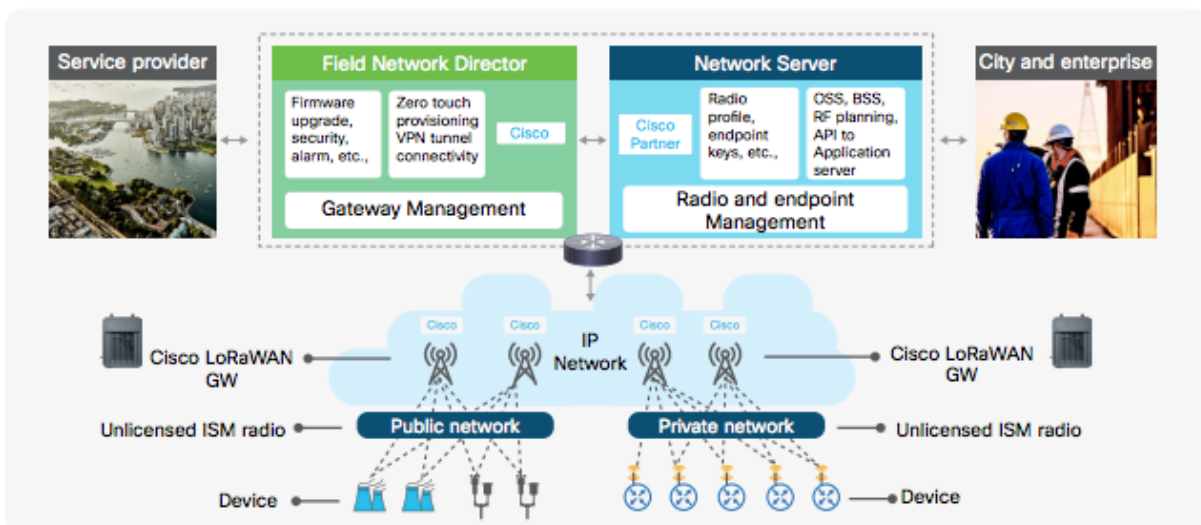


Figura 11. Solución completa para LoRaWAN de Cisco. Fuente: Cisco

Es un sistema cerrado y con software propietario. Está pensado para usar el sistema completo y no resultaría sencillo utilizar sus Gateways con otro NS que controle la red. Ofrece la posibilidad de instalar el NS en máquinas propias del cliente o alojarlo en la nube.

#### 7.2.1.1. Ventajas

- Fabricante de prestigio y muy conocido. Equipos de calidad profesional.
- Equipos con protección IP67.

#### 7.2.1.2. Desventajas

- Solución cerrada. No parece abierto a integraciones con otros fabricantes (de NS, principalmente).
- Software de los gateways propietario, no hay control sobre el mismo.

## 7.2.2. Multitech

El fabricante Multitech [10] diseña, desarrolla y fabrica equipo de comunicaciones para lo que se denomina Industrial IoT (IIoT). Ofrece un producto en el que se pueden elegir diferentes módulos de comunicación WAN (4G LTE, 3G, Ethernet) y dos sistemas operativos (node-Red, mLinux).



Figura 12. Multitech Conduit. Fuente:Multitech

### 7.2.2.1. Ventajas

- Software Linux, configurable por el usuario.
- Abierto a integraciones en redes de cualquier fabricante.

### 7.2.2.2. Desventajas

- Equipos de interior.

## 7.2.3. Kerlink

Kerlink [11] es un fabricante pionero en la tecnología LoRaWAN que ofrece varios tipos de estaciones base y también ofrece un NS llamado Wanesy. De los tres tipos de estaciones base que ofrece son especialmente interesante para este proyecto dos, denominadas Wirnet Station (que según el propio fabricante fue el primer Gateway comercial disponible a nivel mundial [12]) y Wirnet iBTS. Se trata de dos productos modulares, en los que se pueden elegir varios de sus componentes. Ambos son equipos de exterior y cuentan con protección IP67.

### 7.2.3.1. Ventajas

- Equipos con sistema operativo Linux totalmente configurable por el usuario.
- Equipos de exterior con IP67.
- Las estaciones pueden integrarse con el NS de otro fabricante.



- Su NS (Wanesy) es un producto comercial maduro y está integrado con sus estaciones; ofrece una solución completa.

#### 7.2.3.2. Desventajas

- La distribución de Linux utilizada utiliza varias herramientas propias que requieren de un aprendizaje para su uso.

#### 7.2.4. Elección del fabricante

Como se ha explicado en la introducción de este apartado, se buscan productos de calidad profesional y que soporten condiciones climatológicas adversas. Eso descarta al fabricante Multitech. Por otro lado se quieren probar varios NS y para ello es importante que las estaciones se puedan configurar fácilmente. Esto no parece una característica destacable en el caso de Cisco y sí en el caso de Kerlink que, además, son una empresa pionera en la tecnología LoRa.

En cuanto a las características técnicas de los equipos tanto las estaciones de Cisco como las de Kerlink ofrecen características similares, y son productos de gama profesional de fabricantes contrastados.

Para las pruebas piloto que se incluyen en este TFM, Itelazpi ha decidido probar las estaciones del fabricante Kerlink. Una de las razones principales es la posibilidad de probarlas con diferentes Network Servers, aunque también ha tenido mucho peso en esta decisión el hecho de contar con un sistema operativo abierto y configurable por el usuario.

### 7.3. PRUEBAS PILOTO

Para las pruebas que se pretenden llevar a cabo es interesante poder probar varias cosas que se listan a continuación:

- Pruebas de laboratorio en las que comprobar la integración de los dispositivos en la red.
- Probar dispositivos outdoor y dispositivos indoor para comprobar la penetración de la tecnología en interiores.
- Entornos urbanos: instalación de Gateway y dispositivos en un entorno estrictamente urbano (a pesar de que las ubicaciones van a ser centros de Itelazpi).
- Entornos semiurbanos: instalación en un centro de Itelazpi (en un monte, posición dominante) y pruebas en alguna población.
- Diferentes aplicaciones: muchos envíos de datos a lo largo del día, pocos envíos al día, envíos programados, envíos aleatorios...



En la búsqueda de colaboradores para realizar estas pruebas en campo, se han encontrado diferentes alternativas que se recogen en este apartado.

### **7.3.1. Telelectura de contadores de agua**

El Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia (CABB) propone a Itelazpi realizar una prueba con unos contadores de consumo de agua de usuarios y que envían la lectura realizada mediante la tecnología LoRa.

#### **7.3.1.1. Ventajas**

- Ofrece la oportunidad de probar dispositivos indoor, ya que los contadores suelen estar situados en cuartos en los interiores de los edificios.
- Se puede realizar en entorno estrictamente urbano (en una de las tres capitales, instalación de Gateway en monte o en interior de ciudad) o en un entorno semirrural (una población más pequeña, con instalación en monte).
- El CABB ya tiene elegidos los dispositivos a probar.
- El CABB se encarga de la instalación de los dispositivos.
- Se trata de una aplicación con envío de datos programado y con poca frecuencia (se envía la lectura cada 12 horas).

#### **7.3.1.2. Desventajas**

- No se tiene acceso a la configuración de los dispositivos para aumentar la frecuencia de envío.
- No se tiene acceso a la aplicación del fabricante que visualiza los datos (aunque en el NS se puede comprobar la recepción de los mensajes)

### **7.3.2. Control de estacionamiento en parking**

EJIE (Eusko Jaurlaritzaren Informatika Elkartea) propone a Itelazpi hacer una instalación en la sede de EJGV en Lakua e instalar unos sensores de aparcamiento en un parking exterior.

#### **7.3.2.1. Ventajas**

- Instalación íntegramente urbana.
- Permite realizar la prueba desde un emplazamiento de Itelazpi (podría ser Zaldiaran) o desde un emplazamiento urbano (sede de EJGV).
- Dispositivos instalados en exterior.



- Permite buscar dispositivos válidos para la prueba y aprovechar a conocer el mercado de dispositivos (aunque Itelazpi no vaya a ofrecerlos en un futuro)
- Al ser el ente colaborador EJIIE (que da servicio informático a Itelazpi) se puede participar en un sistema completo (desde los dispositivos hasta la aplicación).
- Permite probar una aplicación en la que el envío de datos no es programado, si no que varía la frecuencia a lo largo del día, en función de la utilización del parking.

#### 7.3.2.2. Desventajas

- Se instala la estación en un emplazamiento que no es titularidad ni responsabilidad de Itelazpi.

### 7.3.3. Geolocalización de ganado

En esta búsqueda de pruebas se ha contactado con HAZI [13], que es una fundación que nace de la fusión entre las empresas Itsasmendikoi, IKT y Fundación Kalitatea y que tiene el objetivo de impulsar la competitividad y la sostenibilidad del sector primario, alimentario y del medio rural y litoral vasco; es una empresa dependiente del Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco.

Tienen interés en hacer una prueba en la sierra de Aralar para controlar la localización de rebaños de ovejas. El caso de uso consiste en instalar unos dispositivos con tecnología LoRa a cada oveja, y que manden su posición; se hace con la intención de controlar a los rebaños en la época en la que se les deja en libertad, y de esta manera se puede controlar que ningún animal salga de la zona que tienen delimitada.

#### 7.3.3.1. Ventajas

- Permite hacer una prueba real en un entorno estrictamente rural.
- Aplicación del sector primario, que es un sector que puede beneficiarse de la existencia de la red que se presenta en este TFM, y en el que se pueden desarrollar aplicaciones de interés.

#### 7.3.3.2. Desventajas

- Terreno sin población, por lo tanto no hay garantía de la existencia de centros que puedan dar servicio a la superficie completa.
- Terreno escarpado, que puede requerir la instalación de más de una estación para una superficie que debería cubrirse con una sola.



#### **7.3.4. Elección de pruebas**

Las tres pruebas que se explican brevemente en este apartado son casos de uso muy interesantes para hacer una primera puesta en marcha de la red y probar la tecnología en casos diferentes. Las tres pruebas se van a llevar a cabo, si bien solo dos de ellas se recogen en esta memoria (la prueba de geolocalización de ganado no se ha desarrollado al tiempo de redactar esta memoria); se explican con más detalle en el apartado 10.



## 8. METODOLOGÍA SEGUIDA

En este apartado se describen las fases y tareas del proyecto. Es de especial interés la fase de realización de la planificación, ya que en ella se describe brevemente el método seguido para hacer la elección de los centros. En la siguiente tabla se muestra un listado de las fases y tareas, que se describen en el siguiente apartado.

Tabla 1. Tabla resumen de tareas.

<i>Nombre de tarea</i>	<i>Comienzo</i>	<i>Fin</i>	<i>Duración</i>
Supervisión de proyecto	mié 01/03/17	vie 14/09/18	403 días
<b>Análisis de tecnologías</b>	<b>lun 06/03/17</b>	<b>vie 13/10/17</b>	<b>160 días</b>
Petición de informe estado del arte	lun 06/03/17	vie 21/07/17	5 mss
Análisis del informe	lun 24/07/17	vie 15/09/17	2 mss
Elección de tecnología	lun 18/09/17	vie 13/10/17	1 ms
Tecnología elegida	vie 13/10/17	vie 13/10/17	0 días
<b>Análisis de requerimientos</b>	<b>lun 16/10/17</b>	<b>vie 05/01/18</b>	<b>60 días</b>
Elección de fabricante de Gateways	lun 16/10/17	vie 08/12/17	2 mss
Elección de plataforma de simulación	lun 13/11/17	vie 05/01/18	2 mss
<b>Realización de la planificación</b>	<b>lun 08/01/18</b>	<b>vie 25/05/18</b>	<b>100 días</b>
Definición de parámetros técnicos	lun 08/01/18	vie 02/02/18	1 ms
<b>Elección de emplazamientos (Simulación/diseño Xirio)</b>	<b>lun 05/02/18</b>	<b>vie 25/05/18</b>	<b>80 días</b>
Simulación monoemplazamiento	lun 05/02/18	vie 02/03/18	1 ms
Creación de multicobertura	lun 05/03/18	vie 13/04/18	1,5 mss
Iteraciones	lun 16/04/18	vie 25/05/18	1,5 mss
Emplazamiento elegido	vie 25/05/18	vie 25/05/18	0 días
<b>Validación de resultados</b>	<b>lun 08/01/18</b>	<b>vie 22/06/18</b>	<b>120 días</b>
<b>Pruebas piloto</b>	<b>lun 08/01/18</b>	<b>vie 22/06/18</b>	<b>120 días</b>



Configuración de equipos	lun	vie	1 ms
	08/01/18	02/02/18	
Instalación	lun	vie	2,5 mss
	05/02/18	13/04/18	
Medidas	lun	vie	2,5 mss
	16/04/18	22/06/18	
<b>Documentación</b>	<b>lun</b>	<b>vie</b>	<b>60 días</b>
	<b>25/06/18</b>	<b>14/09/18</b>	
Redacción de la memoria	lun	vie	3 mss
	25/06/18	14/09/18	
Cierre del proyecto	vie	vie	0 días
	14/09/18	14/09/18	

## 8.1. DESCRIPCIÓN DE TAREAS Y FASES

### 8.1.1. Supervisión de proyecto

Esta es la primera fase del proyecto y que se mantiene activa durante toda la vida del proyecto. Es la fase de control y seguimiento del proyecto y de las diferentes tareas que se lleven a cabo.

### 8.1.2. Análisis de tecnologías

En esta fase es donde se hace el análisis previo para elegir la tecnología a emplear. Incluye las siguientes tareas:

#### 8.1.2.1. Petición de informe estado del arte

Itelazpi encarga al grupo TSR la realización de un informe que recoja el estado del arte de IoT. Se espera a la entrega del mismo para tomar decisiones futuras.

#### 8.1.2.2. Análisis del informe

Tras recibir el informe, se analiza para decidir qué hacer.

#### 8.1.2.3. Elección de tecnología

Una vez analizado el informe, se ha de decidir qué tecnología usar y qué rol va a tener Itelazpi en la nueva red.

### 8.1.3. Análisis de requerimientos

Una vez elegida la tecnología, se ha de buscar fabricante de los gateways y al mismo tiempo se elige la plataforma de simulación.





#### 8.1.3.1. Elección fabricante gateways

#### 8.1.3.2. Elección de plataforma de simulación

### 8.1.4. Realización de la planificación

Esta es la fase en la se definen los parámetros más importantes para la planificación (potencia transmitida, ganancia de la antena, etc.) y se lleva a cabo la elección de los emplazamientos.

#### 8.1.4.1. Definición parámetros técnicos

Tras haber elegido el fabricante de los GW, y atendiendo a los parámetros más típicos de uso, se eligen los parámetros de potencia y ganancia de la antena. También es necesario elegir una altura para la antena; como cada centro cuenta con una torre o poste de características distintas y no se puede saber a estas alturas del proyecto dónde se van a instalar, se toma como criterio la mitad de la altura de la torre de cada centro.

#### 8.1.4.2. Elección de emplazamientos (Simulación/diseño Xirio)

Esta fase es la más significativa en lo referente a la planificación de la red. Las subtareas que contiene, y que se describen a continuación, describen el método que se utiliza para elegir los emplazamientos.

##### 1. Simulación monoemplazamiento

En primer lugar, se realiza una simulación con un solo emplazamiento. Se hace con la intención de tomar contacto con la herramienta y hacer un primer análisis de los resultados que se obtienen.

##### 2. Creación de multicobertura

En esta tarea se hace una primera simulación multicobertura con los centros C1 y C2. Se eligen estos centros porque, debido al conocimiento de la red, se sabe que en conjunto suponen la base principal para cubrir todo el territorio.

##### 3. Iteraciones

Esta tarea consiste en analizar los resultados obtenidos en la tarea anterior, y buscar entre los centros de tipo C3 aquellos que cubran las zonas que no cubren los primeros.

### 8.1.5. Validación de resultados

En esta fase se comparan los resultados teóricos obtenidos en la simulación con pruebas de cobertura reales.



### 8.1.5.1. Pruebas piloto

Se hacen dos pruebas piloto paralelas, con equipos comprados para tal fin.

#### 1. Configuración equipos

Se reciben los equipos, y se configuran para poder instalarlos en campo.

#### 2. Instalación

Se instalan los equipos en las ubicaciones elegidas para las pruebas.

#### 3. Medidas

Se realizan medidas de cobertura en cada ubicación.

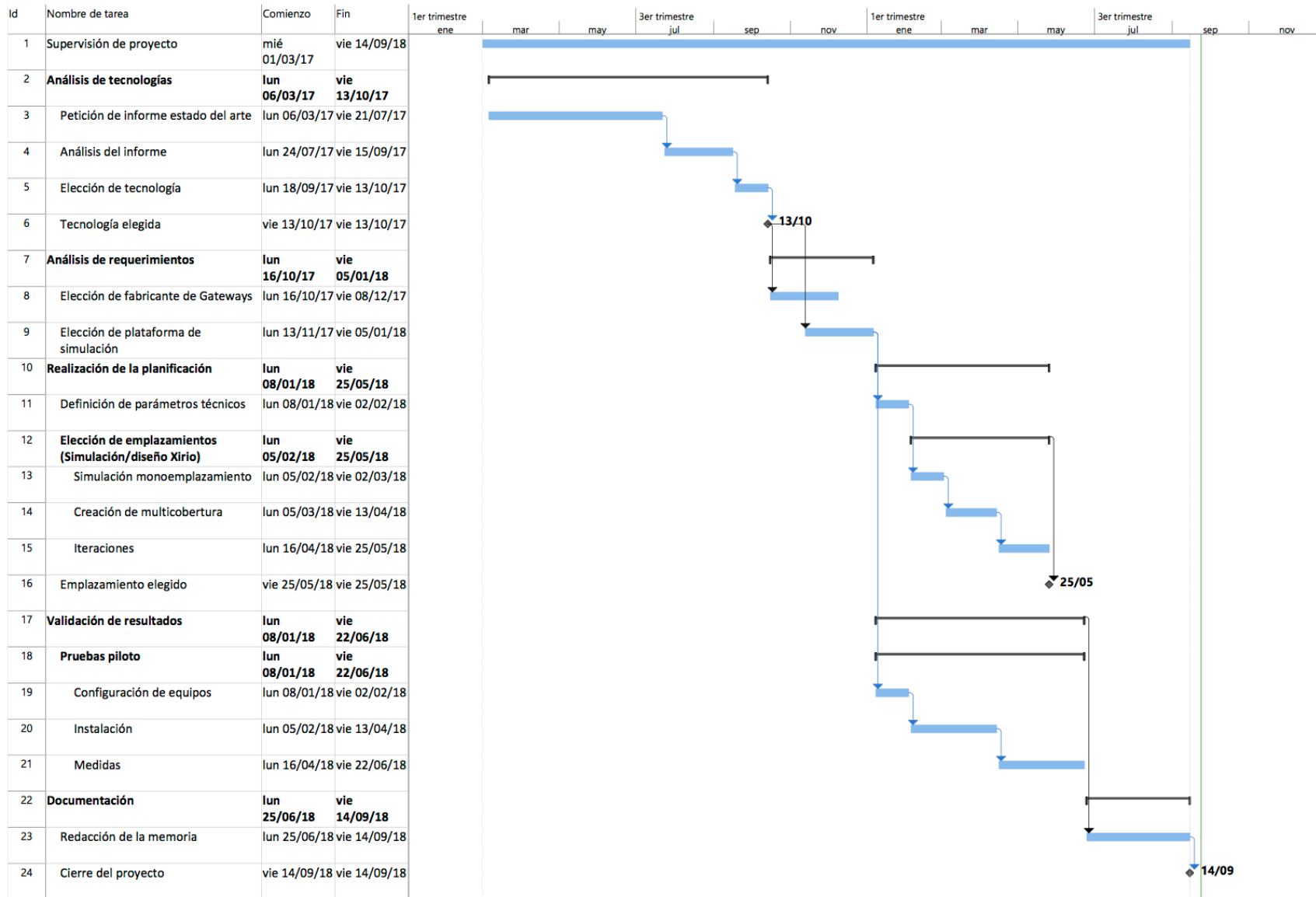
### 8.1.6. Documentación

Es la última fase del proyecto en la que se revisa la documentación más relevante que se ha ido obteniendo en el proyecto y se redacta esta memoria.

#### 8.1.6.1. Redacción de la memoria.



## 8.2. DIAGRAMA DE GANTT





---

## 9. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

En primer lugar, es necesario recordar que Itelazpi gestiona unos 250 centros y para facilitar ciertas tareas, y atendiendo a criterios tanto técnicos como de servicio, los tiene categorizados de la manera que se explica en el apartado 2.1. Esta categorización es importante para la presente solución, porque automáticamente descarta algunos centros como centros elegibles para la planificación, y también señala aquellos centros que cubren grandes núcleos de población y que son los primeros a tener en cuenta.

### 9.1. ELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

Tal y como se ha explicado, la categorización de centros es el punto de partida para la elección de los emplazamientos para la nueva red. Lo primero a destacar es que quedan excluidos los centros de tipo C6 y C5, por pertenecer a una categoría que se considera especial, y no ser titularidad ni responsabilidad de Itelazpi.

Por otra parte, y como se ha explicado en el apartado 6, la elección de los centros está condicionada a que cuenten con red de transporte y a que cubran (o se espere que cubran) mucha superficie con el nuevo servicio. El primer criterio, el de la red de transporte, lo cumplen automáticamente todos los centros de tipo C1, C2 y C3. El segundo criterio es más difícil de determinar a priori, ya que atiende a varios parámetros como ubicación específica del centro, y es que algunos pueden estar pensados para dar cobertura de TDT a una zona muy concreta, y no resultar tan adecuados para la nueva tecnología.

Por conocimiento de la red, se sabe que los centros de tipo C1 y C2 son centros que cumplen con ambos criterios; se trata de centros importantes, con buenas infraestructuras, con espacio para albergar los nuevos equipos y que se sabe que, en conjunto, proporcionan servicio a gran parte del territorio. Por lo tanto, todos estos centros se eligen como emplazamientos de partida para la nueva red.

Aún así, se espera que con esos centros no sea suficiente para cubrir todo el territorio, sobre todo teniendo en cuenta la orografía del terreno de la CAV, donde hay muchos valles pequeños y poblados que también necesitan ser cubiertos. De esta manera, y como se ha explicado en la metodología, una vez realizada la planificación y calculada la simulación con los C1 y C2, se ha estudiado el resultado y se han añadido aquellos centros de categoría C3 que son necesarios para cubrir el territorio que queda sin cubrir.

Finalmente, en la siguiente tabla se muestra un listado con los 54 centros elegidos para dar cobertura en toda la CAV.



Tabla 2. Centros elegidos como emplazamientos para la red.

<b>CENTRO</b>	<b>CATEGORÍA</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>LATITUD</b>
ANTZUITZA	C2	-2,387438889	43,27173889
ARNOTEGI	C2	-2,930130556	43,23610833
ARTZUBI	C2	-2,116225	43,14634167
AZKONABIETA	C2	-2,468494444	43,15538889
BANDERAS	C1	-2,952419444	43,28048056
BARAIKU	C2	-2,424016667	43,31166111
BARRIKA	C3	-2,958366667	43,38925278
EL_MAZO	C2	-3,411136111	43,2425
EL_RASO	C2	-3,093183333	42,87255833
ELOSUA	C2	-2,361758333	43,15220833
ERLO	C2	-2,282522222	43,20685833
ESTIBALITZ	C2	-2,573455556	42,84598611
FONTETXA	C2	-3,033913889	42,75015
GANETA	C1	-2,947847222	43,22154722
GANGUREN	C2	-2,868105556	43,25067778
GOROSTIAGA	C1	-2,360105556	43,04712222
HERRERA	C1	-2,676605556	42,59445833
HIRUMUGETA	C2	-2,250841667	42,89569444
IGELDO	C1	-2,011838889	43,317025
IOAR	C1	-2,347802778	42,63437222
ITELAZPI_ZAMUDIO	C0	-2,860022222	43,29022778
JAIZKIBEL	C1	-1,8597	43,34270556
JATA	C2	-2,841997222	43,40332778
KAPILDUI	C2	-2,537802778	42,76604167
KARAKATE	C1	-2,414933333	43,19248889
KARRANTZA	C2	-3,409730556	43,24215
KONTRASTA	C3	-2,304730556	42,77593056
KORTEZUBI	C3	-2,621938889	43,33853889
KOTORRILLO	C2	-2,943627778	42,86567778
LA_GARBEA-BIGARRENA	C2	-3,193652778	43,215025
LA_GARBEA-LEHENENGOA	C2	-3,194888889	43,2156
LEMOA	C2	-2,773308333	43,21698611
MATXITXAKO	C2	-2,763588889	43,43758056
MIRAMON	C2	-1,971019444	43,28728056
MURUGAIN	C2	-2,528411111	43,05181944
OIAUN	C2	-2,081977778	43,11156667
OIZ	C1	-2,594941667	43,22839444
OLANO	C3	-2,759141667	42,94838889
ORDUÑA	C2	-3,037222222	42,98175278
ORIO-ZARAUTZ	C2	-2,137113889	43,27633889
OTOIO	C2	-2,529794444	43,37077778
PAGOLAR	C2	-3,009708333	43,13271111
RETES_DE_LLANTENO	C3	-3,089272222	43,09804722
RIBABELLOSA	C3	-2,911058333	42,71411111
SAN_MARCOS	C2	-1,91405	43,29801389



SERANTES	C2	-3,062763889	43,33435833
TALAI	C2	-2,102838889	43,29311111
TXIBIARTE	C2	-2,951055556	43,00823889
UBIETA	C3	-3,124197222	43,24015278
UNTZETAPIKU	C2	-2,9071	43,13728333
URDINGAIN	C2	-2,534458333	42,97183889
URRIKOATXA	C2	-2,744897222	43,11957778
USURBE	C2	-2,204102778	43,06574444
ZALDIARAN	C1	-2,736422222	42,79468889

En esta tabla se muestra un centro con categoría especial C0, no explicada anteriormente ya que se trata de una categoría administrativa especial en la que no entran centros de comunicaciones. En este caso, se trata de la sede de Itelazpi en Zamudio, donde se ha instalado una estación base con el objetivo de realizar pruebas en el laboratorio de la empresa y en el entorno del parque tecnológico. Esta estación base se quedará instalada en esa ubicación permanentemente y por eso forma parte de la red.

## 9.2. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

Para analizar los resultados es importante conocer cuáles son los niveles de sensibilidad establecidos para la tecnología elegida, los cuales se muestran en la Figura 13.

ADR, Spreading Factor and Payload				
Spreading Factor	Data Rate (bit/s)	Time on Air (ms)	Maximum Payload Size	End-device sensitivity (dBm)
SF12	250	1400	59 bytes	-137
SF11	440	740	59 bytes	-135
SF10	980	370	59 bytes	-133
SF9	1760	200	123 bytes	-130
SF8	3125	100	250 bytes	-127
SF7	5470	28	250 bytes	-124

*EU 863-870MHz Frequency band, 125kHz channels*

Figura 13. Sensibilidad según factor de ensanchamiento. Fuente: LoRa Alliance



De la tabla mostrada se observa que en el peor de los casos, utilizando un SF de 12 el nivel mínimo que asegura el funcionamiento es de -137 dBm.

Con los centros mostrados en la Tabla 2 se realiza la simulación con los siguientes parámetros de configuración:

- Frecuencia = 868 MHz
- Polarización vertical
- Tipo antena TX y RX = omnidireccional
- Ganancia antena TX y RX = 2.15 dBi
- Parámetros TX
  - Potencia = 14 dBm
  - Altura antena = mitad de la altura de cada torre.
- Parámetros RX
  - Parámetro umbral = potencia
  - Altura antena = 0.01 m (nivel de suelo)
- Método de cálculo: Rec. UIT-R P.526-11 [14]

El resultado de la simulación se muestra en la Figura 14

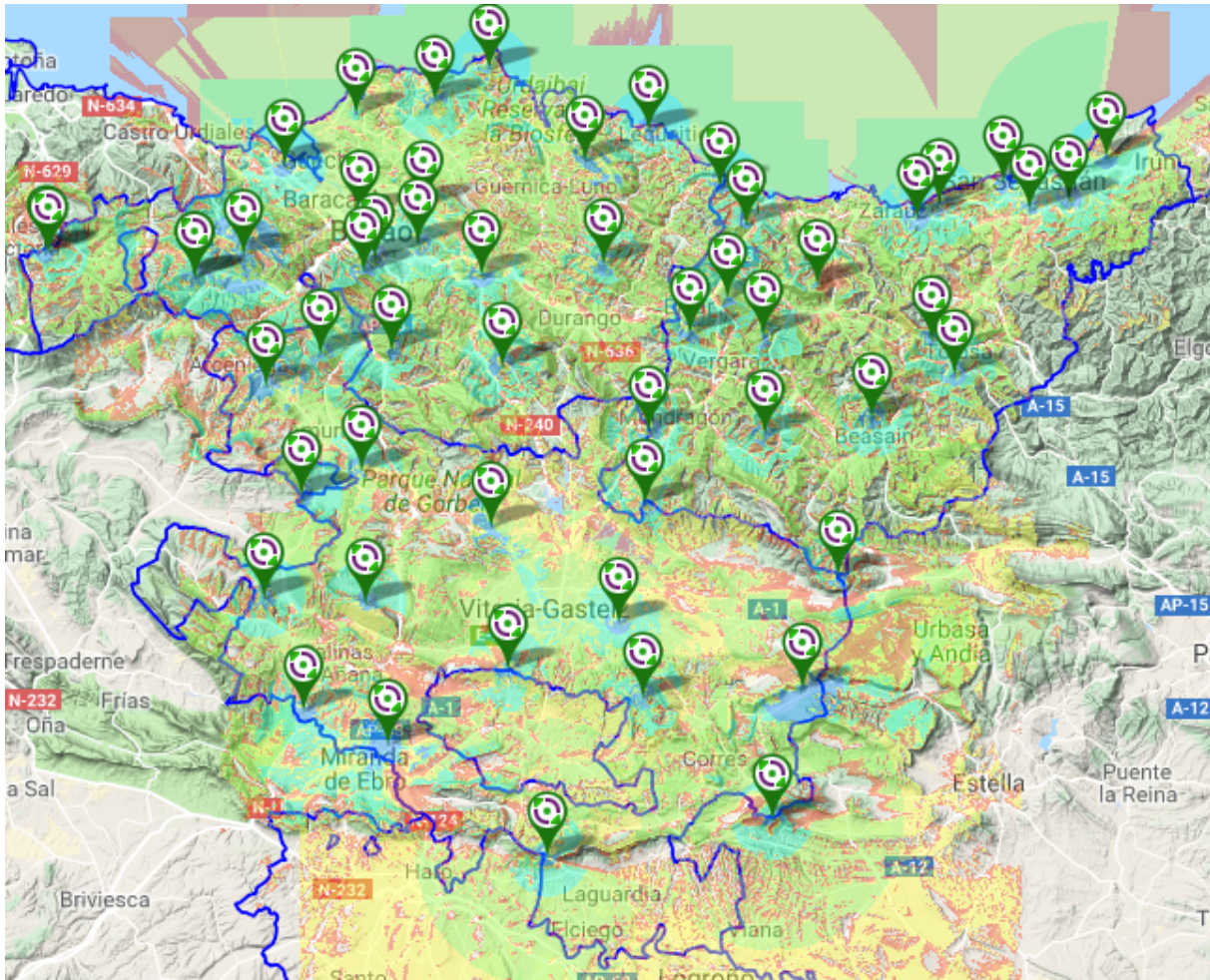


Figura 14. Cobertura básica de red con 54 centros.

Conociendo el nivel límite de potencia, mostrado en la Figura 13, se ha utilizado el siguiente rango de colores para la simulación, en saltos de 10 dB.

Color	Rango
	[-137.00 , -127.00)
	[-127.00 , -117.00)
	[-117.00 , -107.00)
	[-107.00 , -97.00)
	[-97.00 , -87.00)
	[-87.00 , -57.00)
	[-57.00 , Infinity)

Figura 15. Rango de colores utilizado en la simulación.

Es importante destacar dos aspectos; no se dispone de una capa de edificios. Por este motivo, los resultados en entornos estrictamente urbanos no son





concluyentes (en caso de una futura planificación estrictamente urbana se adquiriría un mapa de edificios y se haría una ampliación del análisis llevado a cabo en este TFM). Sin embargo, para la planificación general de todo el territorio, cuya mayor superficie es rural o de pequeñas poblaciones el análisis es válido y por experiencia previa con otras tecnologías se sabe que es suficiente.

Por otro lado, también es importante recordar que el objetivo de esta planificación es conseguir una cobertura base de partida con la que, en caso de decidirlo así, poder hacer un primer despliegue y tener servicio en gran parte del territorio; de esta manera, se iría ampliando la red en aquellos lugares en los que surgiesen proyectos específicos. Por este motivo aparecen algunas áreas aparentemente sin cubrir en el resultado de la simulación. Algo común en todas estas áreas es que son difíciles de cubrir con un número pequeño de emplazamientos, lo que hace que para dar servicio haya que aumentar significativamente el número de centros empleados.



---

## 10. PRUEBAS PILOTO

Con el objetivo de comparar los resultados de la simulación obtenidos, y también para probar la tecnología en un entorno real, se ha decidido hacer un par de pruebas piloto en entornos diferentes y para aplicaciones diferentes.

Durante el proceso previo a la elaboración de este proyecto, Itelazpi puso en conocimiento de algunas entidades la intención de llevar a cabo el mismo, con el fin de conocer previamente algunas empresas o instituciones públicas que pudieran estar interesadas en hacer uso de la nueva red. En ese momento, se propuso la posibilidad de llevar a cabo alguna prueba piloto con estas instituciones. Tanto el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia (CABB) como EJIE (Eusko Jauriaritzaren Informatika Elkarte) mostraron interés en poder realizar una prueba para una aplicación específica en la que estaban interesados. En esta sección se describen ambas pruebas, los resultados y las conclusiones que se han extraído en cada una.

También se ha aprovechado estos pilotos para probar diferentes Network Servers. Aunque, como se ha explicado, esta parte queda fuera del alcance de este proyecto, es interesante explicar brevemente en este apartado la función de este elemento de una red LoRa. Por explicarlo de una forma resumida, el NS es el cerebro de la red que tiene conexión con todas las estaciones base, las controla, y recibe los mensajes que llegan a las estaciones base. Es el elemento encargado de gestionar esos mensajes, bien sea almacenándolos o reenviándolos a otro equipo para su posterior tratamiento. Durante las pruebas, los NS están alojados en Internet para que resulte más sencillo su uso. En una fase posterior del proyecto se ha de elegir un NS, que se instalará en una máquina virtual en el CPD de Itelazpi.

### 10.1. NETWORK SERVERS PARA LAS PRUEBAS

En estos pilotos se prueban dos NS diferentes. Para la prueba en conjunto con EJIE se utiliza LoRa Server [15]. ya que es un NS que ya está utilizando EJIE en otros proyectos y tienen una aplicación en marcha desarrollada para él. Para la prueba con el CABB se utiliza Wanesy, que es el NS comercial del fabricante Kerlink ya que ha facilitado un periodo de prueba del mismo a Itelazpi con la compra de sus estaciones base.

#### 10.1.1. Wanesy

Wanesy es el NS que comercializa Kerlink y que ofrece junto sus estaciones base para obtener un producto completo. Está preparado para funcionar con sus estaciones, ofreciendo grandes ventajas como el control total de las estaciones desde esta plataforma web.

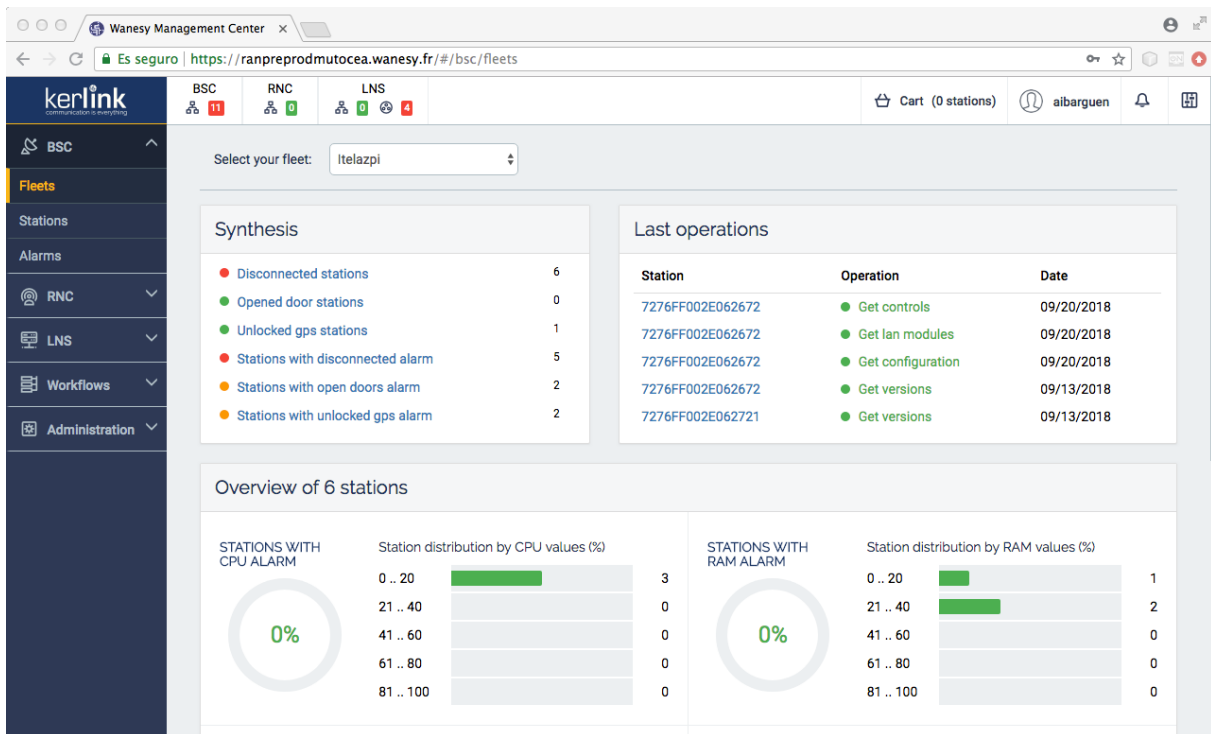


Figura 16. Pantalla de inicio en Wanesy.

Como se ve en la Figura 16, presenta una interfaz gráfica muy desarrollada ya que se trata de un producto comercial orientado a gestionar toda la red desde el mismo.

Para esta prueba los mensajes se extraen mediante su API (Application Programming Interface), y posteriormente se hace un tratamiento de datos para poder abrirlos con alguna aplicación de mapas digitales.

### 10.1.2. LoRa Server

LoRa Server es un NS de código abierto que puede usarse con fines comerciales. Al igual que Wanesy, ofrece una interfaz web para manejar la red y ofrece algún componente más que este, como un módulo para utilizar el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) que se ha utilizado durante la prueba para obtener los mensajes. MQTT es un protocolo estándar ISO (ISO/IEC PRF 20922) de mensajería basado en la publicación y suscripción.

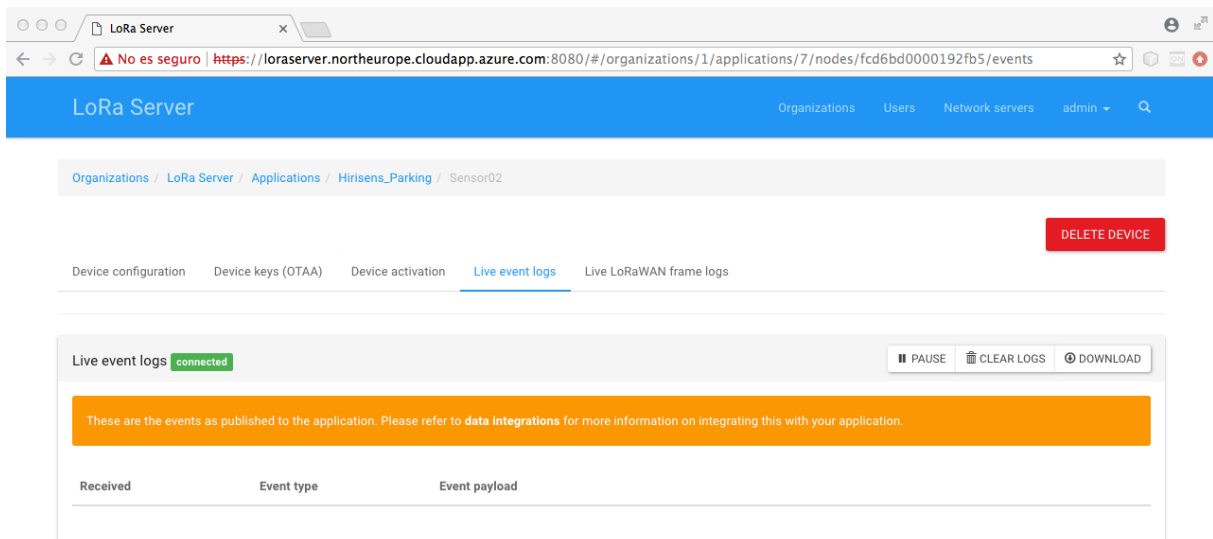


Figura 17. Captura de pantalla de LoRa Server.

Su interfaz web es más sencilla que la de Wanesy, y no está pensada para gestionar los mensajes desde ella. Es un NS que requiere más trabajo de integración por parte del cliente.

## 10.2. METODOLOGÍA DE PRUEBAS

En este apartado se explica de manera breve la metodología común que se ha llevado a cabo en ambas pruebas. En primer lugar, en ambas pruebas se ha realizado una simulación de cobertura con las ubicaciones reales de los gateways, para tener una primera aproximación teórica sobre la viabilidad de las mismas.

Una vez visto que con los emplazamientos propuestos se espera que las pruebas sean válidas, se pone en marcha el proceso de compra de estaciones base. Así mismo, para la prueba de Gasteiz en conjunto con EJIE se inicia un proceso de búsqueda de sensores. Para el caso de la prueba con el CABB esto no es necesario porque ya cuentan con unos sensores propios.

Tras recibir los gateways del fabricante Kerlink (modelo iBTS), se configuran en el laboratorio de Itelazpi. Se monta una maqueta con una configuración equivalente a la que van a tener los equipos en el entorno real. Para ello se conectan a una VLAN (Virtual Local Area Network) existente en el laboratorio, que posteriormente se propagará hasta los emplazamientos elegidos. De esta manera, la configuración de los iBTS no se tiene que modificar cuando se instalen en campo.

Una vez configurados y conocidos los gateways, se procede a probar los sensores (unos Bosch modelo TPS 110 EU para la prueba de EJIE, y unos caudalímetros del fabricante Itrón facilitados por el CABB).



Tras probar los sensores en el laboratorio y comprobar que la configuración de toda la maqueta es válida y funciona correctamente, se pasa a la fase de prueba en entorno real y se procede a instalar los iBTS en sus emplazamientos definitivos.

De forma paralela, se instalan los sensores para las dos pruebas. Estos sensores ya están configurados, por lo que no es necesario hacer ninguna tarea extra.

Además de analizar el funcionamiento de los sensores específicos para cada prueba, se aprovecha la instalación en campo para hacer una medida de cobertura en los municipios en los que se han instalado los iBTS (Sopela y Gasteiz)

### 10.2.1. Medidas de cobertura

Estas medidas se realizan con la intención de conocer el funcionamiento de la tecnología a nivel de calle. Para ello, y atendiendo a las características de la tecnología y al equipamiento disponible se desarrolla un método sencillo que se explica en este apartado.

Al tratarse de una tecnología en la que las estaciones base no emiten constantemente una señal, no puede medirse la cobertura de las mismas con equipamiento de medidas clásico como un medidor de campo. Esto implica que se ha de medir el enlace ascendente (desde los dispositivos a la estación base). Para ello, y ya que ambos NS utilizados muestran la potencia y SNR (Signal to Noise Ratio o Relación Señal a Ruido) del mensaje recibido, se decide utilizar unos dispositivos con los que se han hecho varias pruebas para que envíen mensajes cada 30 segundos y poder hacer de esta manera medidas con un vehículo.

Los dispositivos utilizados son del fabricante GlobalSat, modelo LT-100.



Figura 18. Tracker LT-100 de Globalsat. Fuente: GlobalSat

Este dispositivo es un tracker GPS (Global Navigation System); está pensado para mandar su ubicación periódicamente y cuenta con un botón de pánico que al mantenerse pulsado durante dos segundos entra en modo alarma y aumenta la frecuencia de envío de mensajes. Estas frecuencias de envío de mensajes son



configurables, y se ha decidido aprovechar esta característica para configurar el envío de mensajes cada 30 segundos (es el mínimo permitido por el dispositivo).

Mediante diferentes métodos (para cada NS es necesario usar uno diferente) se obtienen esos mensajes, y se trata hasta obtener un archivo que se pueda abrir en Google Maps o en Google Earth (o en otra aplicación de mapas) y poder analizar los resultados de una manera gráfica sobre un mapa.

### **10.3. GASTEIZ – EJIE**

EJIE es la empresa pública que gestiona la parte informática de EJGV. Al conocer las intenciones de Itelazpi de poner en marcha el presente proyecto, ha propuesto hacer una prueba en la sede de EJGV sita en Gasteiz, en el barrio de Lakua. La aplicación es el control de estacionamiento de uno de los parkings de la sede de EJGV.

Esta prueba es especialmente interesante al hacerse en un entorno urbano. Además, las sedes de EJIE y de Itelazpi están conectadas telemáticamente ya que EJIE presta servicio informático a Itelazpi. Esto hace que el Gateway destinado a esta prueba pueda instalarse directamente en la sede de EJGV (cuya infraestructura informática también gestiona EJIE), a diferencia de la idea inicial de sólo utilizar emplazamientos de Itelazpi (prácticamente todos situados en montes).

Por lo tanto, se ha decidido instalar un Gateway en el Edificio I de la sede de EJGV en Lakua, situado a escasos metros del parking que se quiere cubrir. Esto implica que, en principio, para la aplicación de la prueba se cubra perfectamente y no se esperen problemas. Pero por otro lado, también da la oportunidad de hacer medidas en las calles circundantes, e incluso en toda la ciudad para ver cómo se comporta la tecnología en un entorno urbano.

En esta sección se van a analizar por separado las dos pruebas llevadas a cabo: el funcionamiento con los sensores de parking y la prueba de cobertura en el resto de la ciudad. Para ello, en primer lugar se muestra el resultado de la simulación de cobertura del Gateway instalado.

#### **10.3.1. Simulación**

En la aplicación de simulación no se dispone de una capa de edificios, por lo que el resultado mostrado solo tiene en cuenta las pérdidas por espacio libre. Esto hace que no se puedan sacar prácticamente conclusiones de la misma, aunque se muestra en la siguiente figura al haber formado parte de la planificación de la prueba piloto.

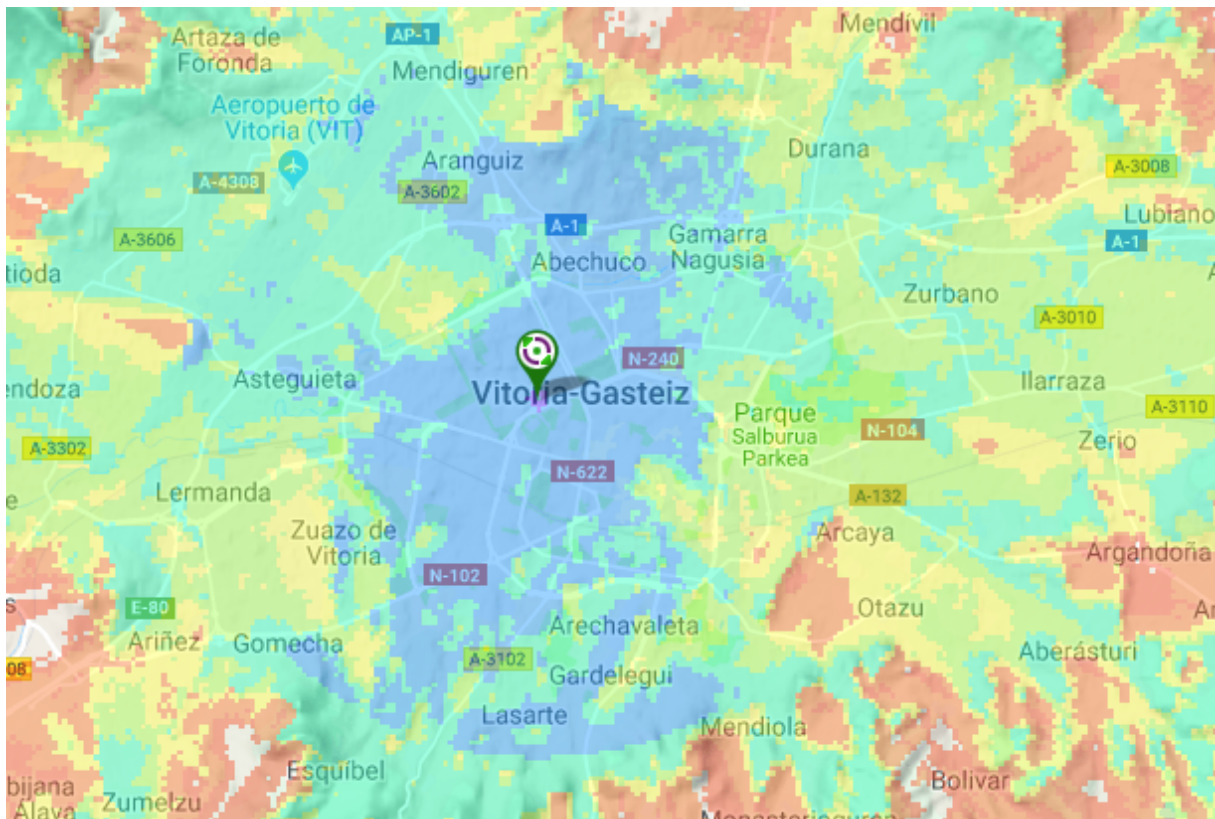


Figura 19. Resultado de la simulación en Gasteiz.

Tal y como se ha mencionado, los niveles observados son muy optimistas ya que no tienen en cuenta los edificios de la ciudad. En esta prueba se espera que el caso de uso de EJIE funcione sin problemas, y en cuanto a la cobertura en la ciudad es una incógnita, si bien se espera que se cubran bastantes calles circundantes.

### 10.3.2. Caso de uso de parking

Para esta prueba se han comprado diez dispositivos del fabricante Bosch modelo Parking Sensor TPS 110 EU suministrados por la empresas Hirisens, aunque en el parking de Lakua solo se han instalado siete; el resto se han utilizado para otras pruebas. Estos sensores indican si la plaza de parking donde se han instalado se encuentra ocupada o libre.

Además de los sensores, Hirisens aporta para esta prueba una aplicación que tienen desarrollada en la que van a habilitar un usuario para Itelazpi, y van a hacer una integración de los sensores instalados para poder probar un sistema completo.

En la siguiente imagen se muestra una foto aérea de la zona de pruebas.

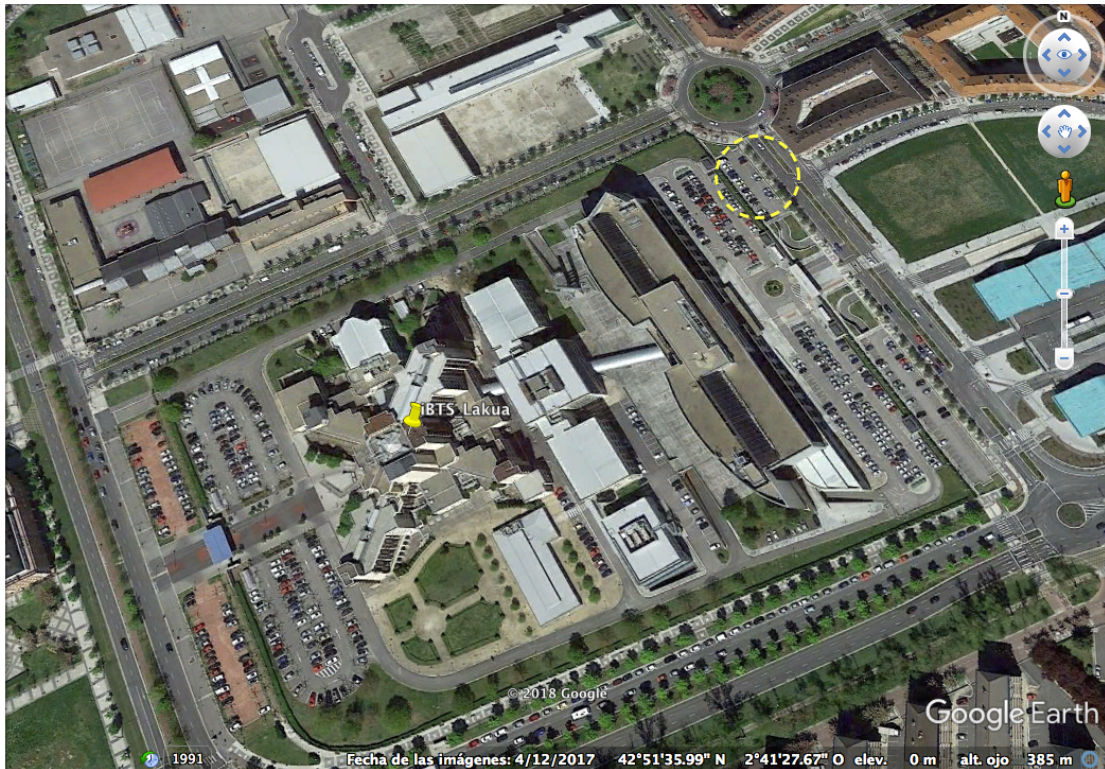


Figura 20. Imagen aérea de la zona de pruebas con la ubicación del gateway en el tejado del edificio de Lakua y el parking exterior señalado por el círculo discontinuo. Fuente: Google Earth.

Una vez instalado el Gateway y antes de la instalación de los sensores Bosch se acude al lugar con los dispositivos de tracking de Itelazpi para hacer una primera validación de la prueba. Como se ve en la foto, hay dos edificios entre el Gateway y el parking; aun así, los mensajes enviados por estos dispositivos llegan al Gateway sin problemas con una potencia comprendida entre -97 y -84 dBm (en función de la ubicación). La simulación establece un valor de -59 dBm para la zona del parking, por lo que se comprueba *in situ* que el hecho de no contar con una capa de edificios hace que dicha simulación no sea válida.

Tras validar que la zona de prueba está cubierta se instalan los sensores en el parking señalado en la imagen de manera repartida. Los sensores también funcionan de manera adecuada y sus mensajes se reciben en condiciones muy similares a los de los dispositivos de prueba.

### 10.3.2.1. Aplicación de Hirisens

Ya se ha mencionado varias veces que Itelazpi se limita a ejercer de operador de red, sin entrar ni en los dispositivos ni en el nivel de aplicación. Sin embargo, en esta prueba Itelazpi ha participado en toda la cadena de valor y como se ha explicado ha tenido acceso a la aplicación de Hirisens, para poder tener contacto con un sistema completo.



Esta aplicación muestra de una manera gráfica y sencilla el estado de los sensores de parking, mostrando su ubicación en una fotografía aérea del parking. En color verde muestra las plazas vacías y en color rojo las ocupadas, como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Captura de pantalla de la aplicación de Hirisens.

### 10.3.3. Medidas de cobertura en la ciudad

Como se ha mencionado, se aprovecha esta prueba piloto para comprobar el funcionamiento de la tecnología en un entorno urbano. Para ello se hace un recorrido por la ciudad con un vehículo en el que se lleva a bordo un dispositivo GlobalSat Lt-100, que envía mensajes con su ubicación cada 30 segundos.

El objetivo de esta prueba no es tener un mapa completo de cobertura real en toda la ciudad si no tener un primer contacto con el comportamiento de la tecnología LoRaWAN en una ciudad.

En la Figura 22 se puede ver el recorrido realizado, importado a la aplicación Google Earth para poder tener una vista satelital del mismo.

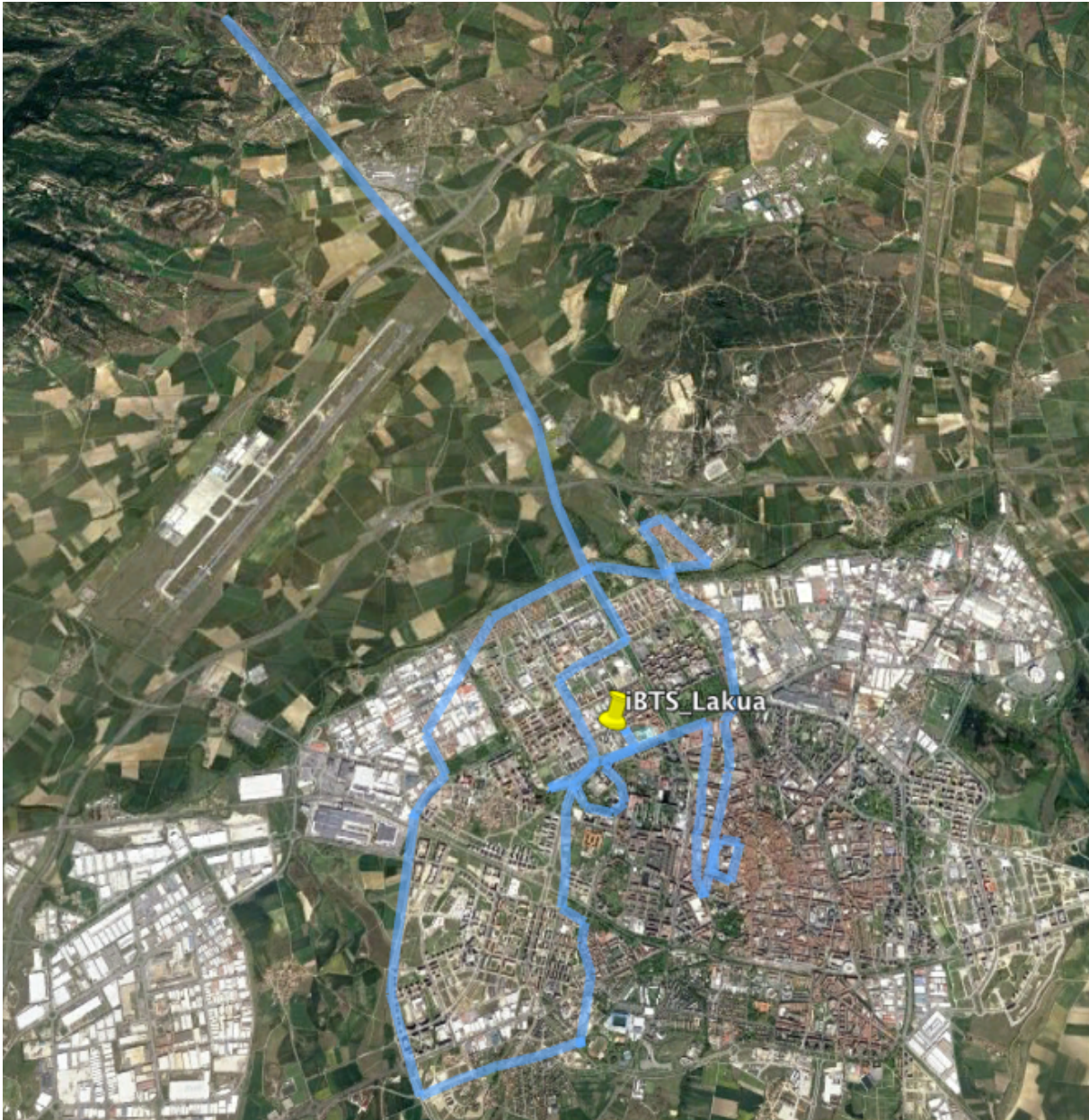


Figura 22. Captura de pantalla con el recorrido realizado en Gasteiz.

#### 10.3.4. Análisis de la prueba

En este apartado se realiza un análisis sencillo de esta prueba piloto.

En cuanto al caso de uso del parking el funcionamiento ha sido correcto, tal y como se esperaba. La superficie del parking está cubierta de forma adecuada, y se podría hacer un despliegue de sensores en los diferentes parkings de la sede de EJGV. Se ha comprobado que todo el sistema funciona adecuadamente.

En cuanto a las medidas por la ciudad, si bien como se ha mencionado no se ha realizado más que una pequeña toma de contacto, el resultado es satisfactorio. Se ha comprobado que se cubre el perímetro de la sede de EJGV sin problema y



la señal llega incluso a lugares alejados en la misma ciudad. Se estima que a nivel de calle se podría dar servicio con este único Gateway en casi toda la ciudad; si bien al no estar instalado en una ubicación dominante pueden aparecer zonas de sombra. Por lo tanto, combinado con otro Gateway ubicado en el centro de Zaldiaran el servicio a nivel de calle se estima que sería bueno.

#### **10.4. SOPELA – CABB**

Esta prueba piloto se ha llevado a cabo en conjunto con el CABB, que es el organismo público encargado de gestionar y distribuir el agua corriente en Bizkaia. El CABB lleva tiempo probando diferentes tecnologías para la telelectura de consumos. Por ese motivo, les ha parecido interesante probar la tecnología LoRaWAN, ya que el fabricante de los contadores que utiliza en la actualidad (Itrón) cuenta con productos de esta tecnología.

Este caso de uso se diferencia del anterior en un aspecto clave: los dispositivos que se van a utilizar van a estar instalados en interiores; de hecho se busca con esta prueba analizar casos extremos en los que algunos dispositivos estén instalados incluso en sótanos o garajes bajo el nivel de la calle.

##### **10.4.1. Análisis previo**

En primer lugar hay que destacar que el centro que da servicio al municipio de Sopela es el centro de BARRIKA. En la Figura 23 se muestra una foto aérea de la zona, donde se ve el centro de Barrika, el municipio de Sopela y está resaltada la zona donde se han instalado los dispositivos (que se muestra con más detalle en la Figura 25).

### 10.4.1.1. Localización de la zona



Figura 23. Vista aérea de Sopela y el centro de Barrika.

### 10.4.1.2. Simulación

Con el emplazamiento del gateway elegido se hace una simulación, para comprobar previamente si la zona objetivo está cubierta de manera teórica. El resultado de la simulación se muestra en la Figura 24.



Figura 24. Resultado de simulación desde el centro de Barrika.

## 10.4.2. Emplazamientos

Los emplazamientos de los dispositivos de medida han sido elegidos por técnicos del CABB, y han sido elegidos teniendo en cuenta diferentes situaciones: desde cuartos de contadores a nivel del portal como los casos más recónditos posibles con el cuarto de contadores situados en garajes bajo el suelo. Las localizaciones de los dispositivos instalados se muestran en la Tabla 3 junto con un número identificador para cada dispositivo.

Tabla 3. Emplazamientos elegidos para la prueba.

Dirección	Dispositivo
Bentatxu, 1	50.81.17.11.80.C2
Olabide, 18	50.81.17.11.80.82
Gobelabide, 10	50.81.17.11.80.E1
Lizarre, 13	50.81.17.11.80.7C
Enrique Urrutikoetxea, 2	50.81.17.11.80.CB

Estas localizaciones se muestran de manera gráfica en la Figura 25.



Figura 25. Localización de los dispositivos de prueba.



### 10.4.3. Medidas

En esta prueba no se cuenta con acceso a ninguna aplicación que muestre los datos enviados por los dispositivos, por lo que todas las pruebas se hacen utilizando los mensajes mostrados en la interfaz gráfica del NS Wanesy.

Tras la instalación se comprueba que algunos de los dispositivos no consiguen mandar mensajes y otros sí. En la Figura 26 se ve una captura de pantalla de Wanesy con mensajes recibidos.

Date	Frame counter upstream	Frame counter downstream	Frequency	Modulation	Bandwidth	Sf	Adr	Coding rate	Station	Channel	Radio id	RSSI	SNR
09/20/2018 11:34:39 AM	298	5132	868.5	LORA	125	12	true	4/5	7276FF002E062672	7	0	-108 dBm	-18 dB
09/20/2018 9:59:30 AM	297	5131	868.3	LORA	125	12	true	4/5	7276FF002E062672	6	0	-115 dBm	-12 dB
09/19/2018 11:34:20 PM	296	5130	867.7	LORA	125	12	true	4/5	7276FF002E062672	3	0	-112 dBm	-11 dB
09/19/2018 11:33:58 AM	295	5129	868.5	LORA	125	12	true	4/5	7276FF002E062672	7	0	-106 dBm	-18 dB
09/18/2018 11:34:15 PM	294	5128	867.9	LORA	125	12	true	4/5	7276FF002E062672	4	0	-112 dBm	-12 dB
09/18/2018 11:34:18 AM	292	5127	867.1	LORA	125	12	true	4/5	7276FF002E062672	0	0	-112 dBm	-20 dB

Figura 26. Captura de mensajes recibidos en Wanesy.

Para comprobar la cobertura en los puntos en concreto se hacen unas medidas utilizando los dispositivos Lt-100, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Medidas en emplazamientos de Sopela.

Dirección	Dispositivo	RSSI	SNR	RSSI	SNR
		(dBm)	(dB)	(dBm)	(dB)
		<b>Cuarto contadores</b>		<b>Exterior Portal</b>	
<b>Bentatxu, 1</b>	50.81.17.11.80.C2	--	--	-106	-13
<b>Olabide, 18</b>	50.81.17.11.80.82	--	--	-103	-6
<b>Gobelabide, 10</b>	50.81.17.11.80.E1	-104	-13	-101	-1
<b>Lizarre,13</b>	50.81.17.11.80.7C	-105	-14	-102	0
<b>Enrique Urrutikoetxea,2</b>	50.81.17.11.80.CB	-100	-15	-105	-9



#### 10.4.3.1. Análisis del caso de uso

Las medidas se han realizado tanto en el exterior del portal como en el cuarto de contadores donde están instalados los dispositivos.

- Bentatxu, 1: los niveles detectados en el portal son justos en cuanto a relación señal ruido. El cuarto de contadores se encuentra en un garaje comunitario, para cuyo acceso es necesario bajar una planta desde el nivel de la calle. Desde el cuarto de contadores no se consigue recibir ningún mensaje enviado por el dispositivo utilizado para la medida, y tampoco el dispositivo de Itrón instalado ha mandado nada.
- Olabide, 18: los niveles en el portal son correctos. El cuarto de contadores está en el sótano, hay que bajar una planta desde el portal. El dispositivo de Itrón ha mandado algunos mensajes, pero no consigue enviarlos de forma continua. Con el dispositivo de medida no se ha conseguido enviar ningún mensaje.
- Gobelabide, 10: el cuarto de contadores está en el mismo portal, encastrado en la pared y con puerta de madera. Los niveles detectados son correctos.
- Lizarre, 13: en el portal el nivel es correcto, pero el cuarto de contadores está en un garaje, una planta por debajo del portal. El dispositivo de medida consiguió mandar mensajes pero con una relación señal-ruido muy pequeña. El dispositivo de Itrón no había mandado mensajes desde el interior.
- Enrique Urrutikoetxea, 2: el cuarto de contadores se encuentra encastrado en la pared en el portal. Niveles correctos.

#### 10.4.4. Conclusiones del caso de uso

Tras observar varios días el comportamiento de los dispositivos y analizar la zona *in-situ*, se ha observado que los niveles en el interior de los edificios son muy justos, sobre todo en cuanto a relación señal-ruido. Tres de los cinco dispositivos no consiguen enviar mensajes de forma estable (uno de ellos incluso no ha conseguido enviar), ya que al estar en una situación cercana a los límites de recepción de la tecnología la recepción correcta de sus mensajes es aleatoria. Los otros dos dispositivos sí se encuentran en una zona con cobertura adecuada y su funcionamiento es normal.

Por ello, se concluye que para esta aplicación la cobertura ofrecida actualmente por el Gateway ubicado en el centro transmisor de Barrika no garantiza la correcta recepción de los mensajes.

### 10.4.5. Cobertura en Sopela

También se ha aprovechado la instalación del Gateway en el centro de Barrika para hacer medidas por todo el municipio de Sopela para comprobar si a nivel de calle se ofrece cobertura; utilizando el mismo método ya explicado de embarcar un dispositivo LT-100 en un vehículo y circular por el municipio.

El recorrido captado se muestra en la Figura 27

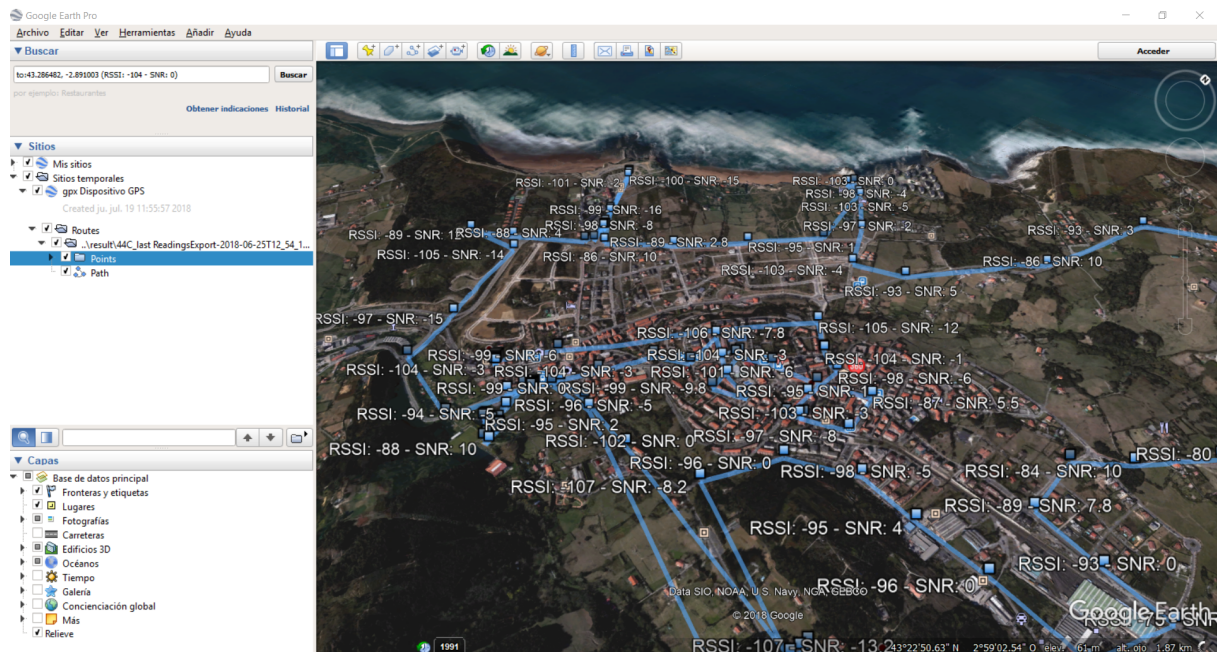


Figura 27. Captura de pantalla con le recorrido realizado en Sopela.

En este caso se ha hecho un recorrido por la zona poblada del municipio y se ha comprobado que a nivel de calle el municipio se cubre en su totalidad; se estima que para otros caso de uso este municipio está cubierto con la estación base de Barrika.

## 10.5. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS

Los dos casos de uso que se han probado arrojan resultados diferentes. El caso de uso de Vitoria-Gasteiz en conjunto con EJIE ha demostrado que con la ubicación elegida se cubre perfectamente el parking del perímetro de la sede de EJGV; se podría seguir adelante con el proyecto instalando sensores en todas las plazas y el Gateway instalado daría soporte. Por otro lado, para dar uso al resto de la ciudad adecuadamente sería necesario instalar algún otro Gateway, a ser posible desde una ubicación dominante (que podría ser el centro de emisiones





de Zaldiaran, que forma parte de la planificación inicial de la red que se presenta en este TFM).

En el caso de la prueba de Sopela se puede decir que las conclusiones son casi opuestas. Para el caso de estudio la solución propuesta no cubre las necesidades mínimas de cobertura al estar los dispositivos en el interior de los edificios; para que este uso funcionara adecuadamente habría que instalar un gateway en una ubicación más cercana a los edificios, y aún así no se podría garantizar cubrir todo el municipio debido a las ubicaciones tan dispares de los cuartos de contadores. Sin embargo, el municipio a nivel de calle está bien cubierto y hay servicio tanto en la parte urbana como en las playas.



## 11. PRESUPUESTO

### 11.1. HORAS INTERNAS

#### 11.1.1. Coste por tipo de miembro del equipo

Tabla 5. Coste horario por tipo de miembro del equipo

Identificador	Cargo	Coste horario (€/h)
PJ	Project Manager	60
IJ	Ingeniero Junior	35

#### 11.1.2. Cálculo de horas internas

Tabla 6. Coste horas internas

Nombre	Horas dedicadas	Coste (€)
PJ	60	3 600
IJ	600	21 000
Total	660	23 600

### 11.2. AMORTIZACIONES

Tabla 7. Amortizaciones

Concepto	Coste inicial (€)	Periodo amortización (meses)	Coste horario (€/h)	Uso en el proyecto (horas)	Coste en proyecto (€)
Ordenador	1000	72	0.07	300	21.0
Microsoft Office	79	48	0.01	150	1.5
Xirio	5 000	12	1.74	30	52.2
Total					74.7



### 11.3. GASTOS

Tabla 8. Coste de los gastos

<b>Concepto</b>	<b>Coste(€)</b>
<b>Material Oficina</b>	200
<b>Costes indirectos (5%)</b>	10
<b>Total</b>	210

### 11.4. PRUEBAS PILOTO

Tabla 9. Coste de las pruebas piloto.

<b>Concepto</b>	<b>Coste unitario (€)</b>	<b>Coste(€)</b>
<b>Kerlink iBTS</b>	2 800	5 600
<b>Instalación</b>	650	1 300
<b>Network Server (demo)</b>		10 000
<b>Bosch TPS 110 EU</b>	800	8 000
<b>Total</b>		24 900

### 11.5. RESUMEN PLANIFICACIÓN Y PRUEBAS

Tabla 10. Coste de la planificación y pruebas

<b>Concepto</b>	<b>Coste (€)</b>
<b>Horas internas</b>	23 600.00
<b>Amortizaciones</b>	74.70
<b>Gastos</b>	210.00
<b>Pruebas piloto</b>	24 900.00
<b>Total</b>	48 784.70



## 11.6. DESPLIEGUE COMPLETO DE LA RED

En este concepto hay que señalar que la red planificada tiene 54 emplazamientos, pero 2 de ellos ya se han instalado y se han recogido en el coste de pruebas piloto. Por lo tanto, en esta partida no se tienen en cuenta y se realiza el cálculo para las otras 52 estaciones restantes.

Tabla 11. Coste del despliegue completo de la red.

Concepto	Coste unitario (€)	Coste(€)
<b>Kerlink iBTS</b>	2 800	145 600
<b>Instalación</b>	650	33 800
<b>Network Server</b>		105 000
<b>Total</b>		284 400

## 11.7. RESUMEN

Tabla 12. Resumen del presupuesto.

Concepto	Coste (€)
<b>Planificación + pruebas</b>	48 784.70
<b>Despliegue completo</b>	284 400.00
<b>Subtotal</b>	333 184.70
<b>Imprevistos (10%)</b>	33 318.47
<b>Total</b>	366 503.17

El proyecto tiene un presupuesto total de **366 503.17 €**. Este coste incluye el despliegue de la red al completo.



---

## 12. CONCLUSIONES

La solución propuesta en este TFM establece la base con la que iniciar el despliegue de una red con tecnología LoRaWAN en toda la CAV. En caso de decidir llevar a cabo el despliegue, los emplazamientos elegidos cubrirían gran parte del territorio, pero por experiencia previa con otros servicios Itelazpi sabe que lo conveniente sería realizar una ampliación del presente proyecto buscando cubrir aquellos espacios sin cobertura (solo en caso de ser necesario, por surgir un proyecto específico en los mismos); estas soluciones particulares requieren de un análisis profundo de cada caso.

Las pruebas llevadas a cabo han demostrado que algunas de las ventajas que presenta esta tecnología en teoría, como la supuesta penetración en interiores debido a su uso en la banda de 868 MHz y su uso de espectro expandido, no aparentan ser tales ya que en el caso de uso de Sopela se ha visto que ha fallado en algunos casos (si bien se han buscado emplazamientos extremos). Sin embargo, desde las ubicaciones elegidas se cubren los municipios a nivel de calle y se espera que en entornos rurales la cobertura sea adecuada para los diferentes usos que puedan surgir.

Por otra parte, la instalación de las estaciones en cada emplazamiento tiene un coste bastante bajo (2 800 € el equipo y 650 € el coste de instalación, 3 450 € en total), lo que hace que la estrategia de desplegar la red solo en aquellos casos en los que haya demanda sea viable económicamente; además, la instalación se realiza en un tiempo corto (unas 3 horas de trabajo, dependiendo del centro. Sin tener en cuenta el tiempo que tarde el fabricante en suministrar el equipo).

Todo ello hace que se vea adecuado seguir buscando más entidades que tengan interés en realizar un proyecto concreto para continuar el despliegue de la red de manera paulatina.



---

## 13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] TSR. 2017. Estado del arte IoT.
- [2] Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big data: A survey. *Mobile networks and applications*, 19(2), 171-209.
- [3] Strohbach, M., Ziekow, H., Gazis, V., & Akiva, N. (2015). Towards a big data analytics framework for IoT and smart city applications. In *Modeling and processing for next-generation big-data technologies* (pp. 257-282). Springer, Cham.
- [4] de Carvalho Silva, J., Rodrigues, J. J., Alberti, A. M., Solic, P., & Aquino, A. L. (2017, July). LoRaWAN—A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities. In *Computer and Energy Science (SpliTech), 2017 2nd International Multidisciplinary Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- [5] Mir Masnou, B. (2017). *Estudi del consum energètic de LoRaWAN* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- [6] ITU-T Y.20160. "Overview of the Internet of things". SERIES Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks. June 2012.
- [7] <http://www.aptica.es/>
- [8] <http://www.atdi.com/ics-telecom/>
- [9] <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-737308.pdf>
- [10] <https://www.multitech.com/>
- [11] <https://www.kerlink.com/>
- [12] <https://www.kerlink.com/product/wirnet-station/>
- [13] <http://www.hazi.eus/es/quienes-somos.html>
- [14] [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-11-200910-S!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-11-200910-S!!PDF-S.pdf)
- [15] <https://www.loraserver.io/>