

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE
TELECOMUNICACIÓN



Trabajo Fin de Grado

Implantación del sistema de telecomunicaciones
móviles GSM-R en una línea ferroviaria

ESCUELA POLITECNICA

Autor: Eduardo Ibarra Pérez

Tutora: Rocío Sánchez Montero

Cotutor: Eder Fernández Latasa

2021

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación

Trabajo Fin de Grado

**Implantación del sistema de telecomunicaciones
móviles GSM-R en una línea ferroviaria**

Autor: Eduardo Ibarra Pérez
Tutora: Rocío Sánchez Montero
Cotutor: Eder Fernández Latasa

TRIBUNAL:

Presidente: Jesús Alpuente Hermosilla

Vocal 1º: Donato Rodríguez Alonso

Vocal 2º: Rocío Sánchez Montero

FECHA: 22/09/2021

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
ÍNDICE DE ECUACIONES	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
1.RESUMEN DEL TRABAJO.....	7
1.1.RESUMEN BREVE	7
1.2.BRIEF SUMMARY	7
1.3.RESUMEN EXTENDIDO	7
2.INTRODUCCIÓN	9
2.1.PLANTEAMIENTO DE TRABAJO	9
2.2.OBJETIVOS	9
3.DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA GSM-R.....	10
3.1.ANTECEDENTES	10
3.2.CARACTERÍSTICAS	12
3.3.FUNCIONALIDADES	12
3.4.ARQUITECTURA	13
3.4.1.SUBSISTEMA DE ESTACIONES MÓVILES (MSS)	14
3.4.2.SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE (BSS)	16
3.4.3.SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN (NSS)	20
3.4.4.RED INTELIGENTE (IN)	22
3.4.5.SUBSISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OMS)	22
3.5.TOPOLOGÍA DE LA RED.....	23
3.6.CALIDAD DE SERVICIO	24
3.6.1.PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO	24
3.6.2.PRESTACIONES DEL SISTEMA	26
3.6.3.HANDOVER	27
3.6.4.ITINERANCIA (ROAMING).....	27
3.6.5.TRASMISIÓN	28
3.6.6.SEGURIDAD DE LAS COMUNICACIONES.....	28
3.7.SERVICIOS	29
3.7.1.SERVICIOS DE VOZ.....	29
3.7.2.SERVICIOS DE DATOS	30
3.7.3.SERVICIOS DE LOS EQUIPOS MÓVILES	31
3.8.PRUEBAS DE INTERCONEXIÓN E INTEROPERABILIDAD.....	36
4.COBERTURA RADIOELÉCTRICA	37

4.1.CRITERIOS DE DISEÑO Y PLANIFICACIÓN	37
4.1.1.COBERTURA RADIOELÉCTRICA Y SISTEMAS RADIANTES.....	37
4.1.2.SOLAPAMIENTOS DE COBERTURA Y CELDAS VECINAS	42
4.1.3.MÁRGENES PARA LA COBERTURA RADIOELÉCTRICA.....	43
4.1.4.MÁXIMA ATENUACIÓN COMPENSABLE.....	44
4.2.RESULTADO DE LA PLANIFICACIÓN.....	45
4.2.1.METODOLOGÍA	45
4.2.2.COBERTURA RADIOELÉCTRICA EXTERIOR	46
4.2.3.COBERTURA RADIOELÉCTRICA DE TÚNELES	46
4.2.4.CONEXIÓN MEJOR SERVIDORA	47
4.2.5.PROTECCIÓN FRENTE A INTERFERENCIAS.....	47
5.SOLUCIÓN ADOPTADA: ESTABLECIMIENTO DE EMPLAZAMIENTOS PARA EL DESPLIEGUE DE GSM-R.....	48
6.PLAN DE FRECUENCIAS	51
6.1.ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	51
6.1.1.BANDA DE FRECUENCIAS GSM-R	51
6.1.2.PATRÓN DE FRECUENCIAS	53
7.ESTUDIO DE TRÁFICO	55
7.1.MODELO DE TRÁFICO.....	55
7.1.1.TIPOS DE TRÁFICO	56
7.1.2.CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO	58
7.1.3.DISEÑO DEL SUBSISTEMA RADIO	62
7.1.4.DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN	68
7.1.5.ENLACES ASOCIADOS AL SISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	69
8.SISTEMA DE COMUNICACIONES FIJAS	71
8.1.DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES FIJAS	72
8.2.RED IP MULTISERVICIO.....	73
8.2.1.ARQUITECTURA	74
8.2.2.EQUIPAMIENTO.....	74
8.3.RED DE ACCESO PARA GSM-R	77
8.3.1.EQUIPAMIENTO DE LA RED DE ACCESO.....	77
8.3.2.ALCANCE DE LOS TRABAJOS DE LA RED DE ACCESO	77
8.3.3.CRITERIOS DE PROTECCIÓN Y REDUNDANCIA	78
8.4.SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL SUBSISTEMA RADIO.....	78
8.4.1.INTERFAZ AIRE MSS - BTS (INTERFAZ UM).....	78
8.4.2.INTERFAZ BTS - BSC (INTERFAZ ABIS).....	79

8.4.3.INTERFAZ BSC - TRAU (INTERFAZ ASUB)	79
8.4.4.INTERFAZ TRAU - MSC (INTERFAZ A).....	79
8.4.5.INTERFAZ BTS (MS) - RRU.....	79
8.5.REDE DE ACCESO SISTEMAS DE SUPERVISIÓN	80
8.6.SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL SUBSISTEMA DE RED Y CONMUTACIÓN	80
8.7.SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL SUBSISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	81
8.7.1.SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN.....	81
8.7.2.SUBSISTEMA IN	81
8.7.3.SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE	81
8.7.4.SUBSISTEMA DE ENERGÍA	81
8.7.5.SUBSISTEMA DE PANELES DE ALARMAS	81
9.SUMINISTRO DE ENERGÍA	82
9.1.DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA.....	82
9.2.CONSUMOS DE LOS EMPLAZAMIENTOS.....	82
9.2.1.CONSUMIDORES DE CORRIENTE ALTERNA 230 V LIBRE DE INTERRUPCIONES	82
9.2.2.CONSUMIDORES DE CORRIENTE ALTERNA 230 V NO LIBRE DE INTERRUPCIONES ...	83
9.2.3.CONSUMIDORES DE CORRIENTE CONTINUA	83
9.2.4.CONSUMOS DE LAS CASSETAS BTS	84
9.2.5.CONSUMOS DE LOS ARMARIOS RRU	84
9.3.COMPONENTES DEL SISTEMA DE ENERGÍA GSM-R	84
9.3.1.ARMARIOS DE ENERGÍA DE AC DE ACOMETIDA ÚNICA.....	84
9.3.2.ARMARIOS DE ENERGÍA DE AC DE ACOMETIDA DOBLE	84
9.3.3.TRANSFORMADOR REDUCTOR	86
9.3.4.ARMARIO DE ENERGÍA CC SEGURA.....	86
9.3.5.SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA GSM-R	94
9.4.GESTOR DEL SISTEMA DE ENERGÍA.....	97
9.5.PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA CONTACTOS DIRECTOS	97
10.PLAN DE OBRA.....	98
10.1.FASE I: INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES.....	98
10.1.1.INGENIERÍA	98
10.1.2.EMPLAZAMIENTO TIPO A (BTS (CASSETA GSM-R)+ MÁSTIL/TORRE): OBRA CIVIL Y ARMADO TORRES	99
10.1.3.EMPLAZAMIENTO TIPO B (RRU(ARMARIO GSM-R) + MÁSTIL/TORRE).....	107
10.1.4.EMPLAZAMIENTO TIPO C (SIN MÁSTIL/TORRE).....	107
10.1.5.ENTREGA DEL SISTEMA	107
10.2.FASE II: ACTUACIONES EN INSTALACIONES EXISTENTES	107

10.3.DIAGRAMA DE GANTT	108
11.CONCLUSIONES	114
12.PLIEGO	115
13.BIBLIOGRAFÍA	119
14.ANEXOS	122
14.1.PLANOS	122
14.1.1.COBERTURA RADIOELÉCTRICA	122
14.1.2.MEJOR SERVIDORA.....	129
14.1.3.RELACIÓN SEÑAL PORTADORA-INTERFERENTE (C/I)	134
14.2.PRESUPUESTO	141
14.3.GLOSARIO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	148
14.4.DATASHEET ANTENAS	151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Distribución de frecuencias

Ilustración 2. Arquitectura genérica de una red GSM-R

Ilustración 3. Topología de estación base distribuida o modo georedundado.

Ilustración 4. Patrones de radiación horizontal y vertical de la antena X65 (en dB)

Ilustración 5. Patrones de radiación horizontal y vertical de la antena X30 (en dB)

Ilustración 6. Patrones de radiación horizontal y vertical de la antena Vlog (en dB)

Ilustración 7. Patrones de radiación horizontal y vertical de la antena Yagi (en dB)

Ilustración 8. Patrón de reutilización de frecuencias

Ilustración 9. Arquitectura de red

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del porcentaje zonal

Ecuación 2. Cálculo del margen

Ecuación 3. Cálculo de frecuencia ascendente y descendente

Ecuación 4. Cálculo de C/I_{tot}

Ecuación 5. Cálculo Probabilidad de Bloqueo

Ecuación 6. Cálculo del Tráfico

Ecuación 7. Potencia Disipada BTS

Ecuación 8. Aproximación Potencia Disipada BTS

Ecuación 9. Potencia Disipada RRU

Ecuación 10. Aproximación Potencia Disipada RRU

Ecuación 11. Relación de potencias del sistema

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Funcionalidades EIRENE/MORANE para sistema de comunicaciones ferroviario

Tabla 2. Elementos básicos de red GSM-R

Tabla 3. Parámetros de Calidad de Servicio

Tabla 4. Servicios básicos de los terminales radio en cabina

Tabla 5. Balance Enlace Descendente

Tabla 6. Balance Enlace Ascendente

Tabla 7. Túnel 0 62m

Tabla 8. Túnel 2 387m

Tabla 9. Listado de Emplazamientos

Tabla 10. Requisito para la relación C/I

Tabla 11. Patrón de reutilización de frecuencias

Tabla 12. Plan de Frecuencias

Tabla 13. Estimación de Tráfico de Celda Básica para llamadas punto a punto

Tabla 14. Estimación de Tráfico de Estación Principal para llamadas punto a punto

Tabla 15. Estimación de Tráfico de Celda Básica para llamadas punto a multipunto

Tabla 16. Estimación de Tráfico de Celda Básica para Maniobras

Tabla 17. Canales necesarios en función del número de portadoras

Tabla 18. Caracterización de cada Emplazamiento

Tabla 19. Distribución de las BTSs en subanillos lógicos

Tabla 20. Estimación de Tráfico de Celda Básica para llamadas punto a punto

Tabla 21. Estimación de Tráfico de Celda Básica para llamadas punto a multipunto

Tabla 22. Dimensionamiento Interfaz Asub

Tabla 23. Dimensionamiento Interfaz A

Tabla 24. Niveles de la arquitectura de red

Tabla 25. Equipamiento de la red IPMM por ubicación

Tabla 26. Dimensionamiento de las interfaces de la MSC

Tabla 27. Necesidades eléctricas de GSM-R BTS (Caseta)

Tabla 28. Necesidades eléctricas de GSM-R RRU (Armario)

Tabla 29. Necesidades térmicas de Caseta BTS

Tabla 30. Necesidades térmicas de Armario RRU

Tabla 31. Diagrama de Gantt

1. RESUMEN DEL TRABAJO

1.1. RESUMEN BREVE

El presente proyecto consiste en el estudio, diseño y desarrollo de una línea ferroviaria en el tramo Palencia-León donde se va a implantar, de forma ficticia, el sistema de telecomunicaciones móviles GSM-R (*Global System for Mobile Railways*). Para ello, se definirán los emplazamientos necesarios para dar cobertura al tramo en cuestión, teniendo en cuenta el rango de frecuencias de GSM-R y el tráfico que soporta la red, en el peor de los casos, asegurando el servicio tanto de voz como de datos en los 108 km aproximadamente que forman el trayecto.

1.2. BRIEF SUMMARY

This project consists of the study, design and fictitious development of a railway line where the GSM-R (Global System for Mobile Railways) mobile telecommunications system will be implemented. For this, the necessary locations will be defined to cover the section in question, taking into account the GSM-R frequency range and the traffic that the network supports, in the worst case, ensuring both voice and data service throughout the journey.

1.3. RESUMEN EXTENDIDO

El ferrocarril es uno de los medios de transporte más seguros y sostenibles, tanto para la movilidad de las personas como de mercancía, en el ámbito energético y medioambiental y, a su vez, es cada vez más clave y dependiente de todo lo que rodea al sector de las Telecomunicaciones y, es por ello y por la creciente necesidad de un nuevo sistema de comunicaciones en el ámbito ferroviario que unifique los diferentes sistemas de radio que se utilizan, así como de facilitar la interoperabilidad y el soporte del tráfico para la señalización del sistema europeo de gestión del tráfico ferroviario (ERTMS) [1] que surgiera el GSM-R (niveles superiores 2 y 3) como sucesor del tradicional, y cada vez más en desuso, sistema de comunicaciones analógico Tren-Tierra. El Tren-Tierra ha sido un sistema robusto y eficaz durante años, pero hoy es limitado, desde el punto de vista tecnológico y las nuevas necesidades ferroviarias, y con mayores costes de mantenimiento y escasez de repuestos [2].

El nivel 2 del ERTMS (European Traffic Management System) [1] es un sistema continuo de distancia objetivo por el cual el tren recibe información tanto de las balizas de la vía como del GSM-R. La localización del tren se realiza por circuitos de vía donde el conductor recoge los datos actuando solo en función de ellas [3].

El nivel 3 es un sistema de bloqueo móvil continuo en el cual el tren comunica su posición y recibe las autorizaciones de movimiento en función del estado de la vía a través del sistema GSM-R. Este nivel teóricamente ofrece las mismas funcionalidades que su predecesor con una serie de mejoras [3].

El GSM-R es un sistema digital de comunicaciones de voz y datos con multiplexación temporal y de frecuencia, que surge con el fin de liberar y explotar al sector ferroviario, basado en el estándar europeo ETSI GSM [4] de radio pública pero adaptado y con las

funcionalidades específicas, definidas por las especificaciones EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) [5] y MORANE (Mobile Radio for Railways Network in Europe), que atañen a dicho entorno. Este permite integrar nuevos servicios y comunicación entre distintos países independientemente del punto de salida y/o llegada de los trenes. Además, tiene mayor nivel de fiabilidad y calidad garantizando el funcionamiento del sistema aun cuando los terminales viajan a altas velocidades, como es el caso del AVE. Asimismo, permite el direccionamiento funcional según la localización del tren, priorizar llamadas y les otorga un mayor nivel de seguridad y protección [6].

La banda de frecuencias de dicho sistema es de 876-880 MHz para el enlace ascendente y 921-925 MHz para el descendente, con 19 radiocanales separados 200 kHz, con una banda de guarda en cada extremo y utilizando la modulación GMSK [4]. Cada una de las portadoras lleva 7 canales de voz y datos + 1 canal reservado para señalización, la cual es otra de las ventajas frente al sistema analógico Tren-Tierra que solo dispone de un canal y un plan de frecuencias limitado (450-460 MHz) sin posibilidad de ampliación [6]. En añadidura, GSM-R opera en un rango de frecuencias diferentes al estándar GSM para evitar las posibles interferencias que pudieran surgir con las redes GSM públicas.

Una vez explicado el GSM-R, el objeto del siguiente proyecto es establecer tanto las bases técnicas como económicas para la dotación de las instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R y comunicaciones fijas en el tramo Palencia-León, y, para ello, se realizarán diferentes estudios, cálculos, diseños y desarrollos para intentar conseguir los resultados óptimos, en la medida de lo posible. A su vez, se definirá el equipamiento, los procesos constructivos, tanto técnicos como económicos, así como la descripción de las instalaciones, con el grado de definición suficiente para posibilitar la ejecución de las obras del sistema de Telecomunicaciones Móviles GSM-R y comunicaciones fijas en el tramo comprendido.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. PLANTEAMIENTO DE TRABAJO

Como se ha mencionado previamente el TFG llevará a cabo el estudio, diseño, desarrollo e implantación ficticia del sistema de comunicaciones móviles GSM-R en una línea ferroviaria, pudiendo extrapolar perfectamente dichos argumentos, estructuras, elementos y cálculos a cualquier proyecto real.

Para ello, se definirá la línea de estudio en cuestión y se explicarán las características del GSM-R así como su funcionalidad y los elementos necesarios que forman la arquitectura del sistema.

Se realizará una planificación de la cobertura radioeléctrica según el terreno cumpliendo a su vez los umbrales de potencia requeridos tanto en exterior como en interior de túneles, el plan de frecuencias para cada equipo radio que se instale, evitando, en la medida de lo posible, las posibles interferencias adyacentes y/o cocanales, y el estudio de tráfico generado en la red y soportado por cada emplazamiento e interfaz utilizando además la probabilidad de bloqueo y la aproximación de la Erlang-B. Para obtener la máxima eficiencia posible, se colocarán el mínimo número de emplazamientos y se buscarán zonas estratégicas para que estos tengan el mayor área de cobertura siempre y cuando sea viable, según se explicará posteriormente.

También, se instaurará el sistema de comunicaciones fijas, utilizando fibra óptica para ello, siendo este imprescindible a la hora de implementar GSM-R en una línea ferroviaria para el control y señalización del tren.

Además, se explicará y detallarán los consumos de energía de los equipos a instalar, el plan de obra necesario siendo este estimado, los “planos” que evidencien los datos aportados y reflejados posteriormente, y el pliego del proyecto, donde se muestran las normativas vigentes a cumplimentar.

Por último, se estimará un presupuesto según las condiciones que se presenten y se tomen en el TFG a realizar, tomando posibles casos y contratiempos que puedan surgir a la hora de realizar un proyecto ferroviario.

2.2. OBJETIVOS

La finalidad principal es explicar y dar a conocer cada uno de los pasos necesarios que se llevan a cabo en proyectos donde se busca instalar el GSM-R en tramos de líneas ferroviarias, aportando las ventajas que conlleva instaurar dicho sistema. Para ello, será imprescindible realizar un estudio de la línea en cuestión para definir e instalar los sistemas necesarios para la implantación del sistema.

El campo principal de aplicación de dicho TFG es, por tanto, el sector ferroviario, donde se cuenta con que el equipamiento central es existente y desde el cual se buscará extender hasta la línea ferroviaria de estudio.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA GSM-R

El presente proyecto se centra en el despliegue del sistema GSM-R en capa simple, para su uso como medio de transmisión de voz y datos asociados a los servicios de radiotelefonía móvil general, para labores de maniobra y mantenimiento a lo largo del tramo de actuación correspondiente a la línea Palencia-León.

El objetivo de este punto es describir la arquitectura general del sistema GSM-R que se desplegará en el tramo objeto del proyecto. Para ello, primeramente se llevará a cabo una descripción general de la arquitectura de un sistema GSM-R, la calidad de servicio esperada y los servicios que la red deberá proporcionar.

3.1. ANTECEDENTES

Las empresas de ferrocarriles necesitan una red de radiocomunicaciones con una gran flexibilidad para la transmisión de datos y voz para los servicios de operación y mantenimiento de las redes ferroviarias. Los requisitos a cumplir son:

- Eficacia demostrable por su funcionamiento en redes públicas de comunicaciones móviles.
- Utilización de componentes estándar de comunicaciones, idénticos a los destinados al mercado público.
- Disponer de servicios específicos para el ferrocarril y dar soporte a los sistemas de transmisión por radio usados en la actualidad.
- Posibilitar la integración de servicios ferroviarios en una única red de comunicaciones.
- Tener un alto nivel de fiabilidad y disponibilidad para voz y datos.
- Facilitar la integración futura de nuevos servicios por definir.

La UIC (International Union of Railways) [7] propuso la necesidad de disponer de una banda de frecuencias común debido al hecho de que en la banda que usaban la mayoría de los sistemas ferroviarios (450/460 MHz) no quedaban más frecuencias disponibles para futuras aplicaciones de radio. A su vez, la banda de servicios móviles a 900 MHz había sido elegida por el ETSI (European Telecommunication Standardization Institute) [8] para las primeras redes GSM.

El sistema GSM constituyó un nuevo estándar debido a su estabilidad y disponibilidad sumado ello a su exitosa adaptación a las frecuencias públicas, 1800 y 1900 MHz. Es por ello, que la UIC [7] estableció un grupo de trabajo para su especificación, denominado EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) [5]. Este grupo de trabajo evaluó la funcionalidad de sistemas como el GSM y TETRA. En 1995, la UIC [7] eligió el sistema GSM como la tecnología más adecuada para las necesidades del ferrocarril.

En 1995, el ETSI [8] reservó, a nivel internacional, las dos bandas de frecuencias 876 – 880 MHz (MS, ascendente, para la conexión desde el tren a tierra) y 921 – 925 MHz (BS, descendente, para la conexión desde tierra al tren) para los sistemas EIRENE [5], denominadas posteriormente banda GSM-R. En 1997, la Comunidad Europea publicó una

directiva por la que declaraba dichas frecuencias disponibles para los sistemas de comunicaciones de las redes ferroviarias como se muestra en la siguiente figura.

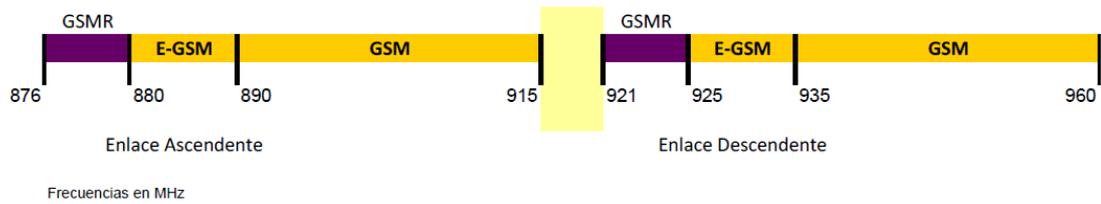


Ilustración 1. Distribución de frecuencias

El grupo EIRENE [5] también estableció nuevas peticiones de servicios para los sistemas GSM con los requisitos exigidos por el ferrocarril al sistema de radio móvil. En la siguiente tabla se recogen las funcionalidades adicionales definidas a tal efecto:

FUNCIÓN	FUNCIONALIDAD	APLICACIÓN	IMPLEMENTADO EN
Banda de frecuencias GSM-R	Numeración de los canales de acuerdo con la especificación GSM 2+	Operación de la banda de frecuencias EIRENE [5] y de la banda de frecuencias estándar de GSM	BSC
Mejora de los ecualizadores para GSM-R	Ecualizador de alta velocidad	Funcionalidad GSM que permite que el terminal móvil se desplace a velocidades de hasta 500 km/h	BTS
Direccionamiento en función de la localización	Enrutamiento orientado a celdas de números cortos	Enrutar llamadas originadas en los trenes dependiendo de la localización de este	MSC/VLR, IN
Direccionamiento funcional	Funcionalidad de tipo seguimiento	Números funcionales para cada función del tren de acuerdo con el plan de numeración EIRENE [5]	MSC/VLR, IN
Display de los números funcionales	USSD 1 (User to User Signalling 1), MOC y MTC	Mostrar los números funcionales en lugar del MSISDN, transporte de información adicional	MSC/VLR
Llamadas de difusión	Función ASCI de acuerdo con las especificaciones GSM Fase 2+	Comunicación radio punto-multipunto, un emisor y varios receptores (MOC o MTC). Será utilizada principalmente para llamadas de emergencia ferroviarias	MSC/VLR/ HLR/AC, BSC y BTS
Llamadas de grupo	Función ASCI de acuerdo con las especificaciones GSM Fase 2+	Comunicación radio punto-multipunto, un emisor y varios receptores (MOC o MTC) que posteriormente pueden intervenir como emisores en una comunicación bidireccional con el primero. Será utilizada principalmente para llamadas de emergencia ferroviarias, equipos de maniobras, equipos encargados de mantenimiento, etc.	MSC/VLR/ HLR/AC, BSC y BTS

FUNCIÓN	FUNCIONALIDAD	APLICACIÓN	IMPLEMENTADO EN
Establecimiento rápido de llamada	Establecimiento rápido de llamada en función de la prioridad	Establecimiento rápido de llamadas como específica EIRENE [5]	MSC/VLR/ HLR/AC
Prioridad en los servicios	eMLPP de acuerdo con GSM Fase 2+	Gestión de los niveles de prioridad de acuerdo con EIRENE [5]	MSC/VLR/ HLR/AC, BSC y BTS
	MLPP como se especifica para ISDN	Mapeo de los niveles de prioridad eMLPP hacia los diferentes equipos como PABX, terminales ISDN.	MSC/VLR y estaciones de trabajo de los controladores ferroviarios (ej. PABX)

Tabla 1. Funcionalidades EIRENE/MORANE para sistema de comunicaciones ferroviario

3.2. CARACTERÍSTICAS

El sistema GSM-R permite establecer la comunicación entre los diferentes tipos de abonados: personal de estación, equipos de maniobras, personal a bordo de las unidades, etc.

Las características principales del sistema GSM-R son las siguientes:

- Bandas de frecuencias:
 - 876 – 880 MHz (ascendente, comunicación del tren con tierra).
 - 921 – 925 MHz (descendente, comunicación de tierra al tren).
- Número de radiocanales: 19 (separación entre canales 200 kHz).
- Modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

3.3. FUNCIONALIDADES

El GSM-R deberá asegurar y proporcionar los siguientes servicios [5]:

- Comunicación entre controlador y maquinista.
- Control automático de trenes.
- Llamadas de maniobras.
- Llamadas de grupo.
- Mantenimiento de vías.
- Difusión en zonas de emergencia: llamadas de emergencia, de difusión, de alta prioridad (eMLPP).
- Comunicación entre personal de mantenimiento de vía.
- Comunicaciones locales en estaciones y almacenes.
- Comunicaciones de larga distancia, con elementos externos a la red GSM-R: vehículos en carretera, otras redes, etc.
- Servicios para pasajeros.
- Aplicaciones y aspectos de operación ferroviarias.
- Base para ERMTS.
- Numeración funcional y posicional.

- Filtrado por matriz de accesos.

3.4. ARQUITECTURA

Principalmente, un sistema GSM-R está formado por los siguientes subsistemas:

- Subsistema de estaciones móviles (MSS).
- Subsistema radio (BSS).
- Subsistema de conmutación (NSS).
- Red inteligente (IN).
- Subsistema de operación y mantenimiento (OMS).

La tabla siguiente resume los elementos básicos de la red GSM-R:

ABREVIATURA	SIGNIFICADO	DESCRIPCIÓN
ABC	Administration and Billing Center	Centro de Administración y Facturación
AC	Authentication Centre	Centro de autenticación
BSC	Base Station Controller	Controlador de Estaciones Base
BTS	Base Transceiver Station	Estación Base Transceptora
CBS	Cell Broadcast Service	Servicio de Difusión Celular
EIR	Equipment Identification Registration	Registro de identificación de equipos
GCR	Group Call Register	Registro de Llamadas de Grupo
HLR	Home Location Register	Registro de localización de abonados
MSC	Mobile Services Switching Center	Centro de conmutación de servicios móviles
OMC	Operation and Maintenance Center	Centro de Operación y Mantenimiento
SCP	Service Control Point	Punto de Control de Servicio
SMP	Service Management Point	Punto de Gestión de Servicio
SMS	Short Message Service	Servicio de Mensajes Cortos
SSP	Service Switching Point	Punto de conmutación del servicio SSP
TRAU	Transcoding Rate and Adaptation Unit	Unidad de Transcodificación
VLR	Visitor Location Register	Registro de localización de visitantes
VMS	Voice Mail Service	Servicio de Mensajes de Voz

Tabla 2. Elementos básicos de red GSM-R

En la figura siguiente se muestra la arquitectura típica de una red GSM-R:

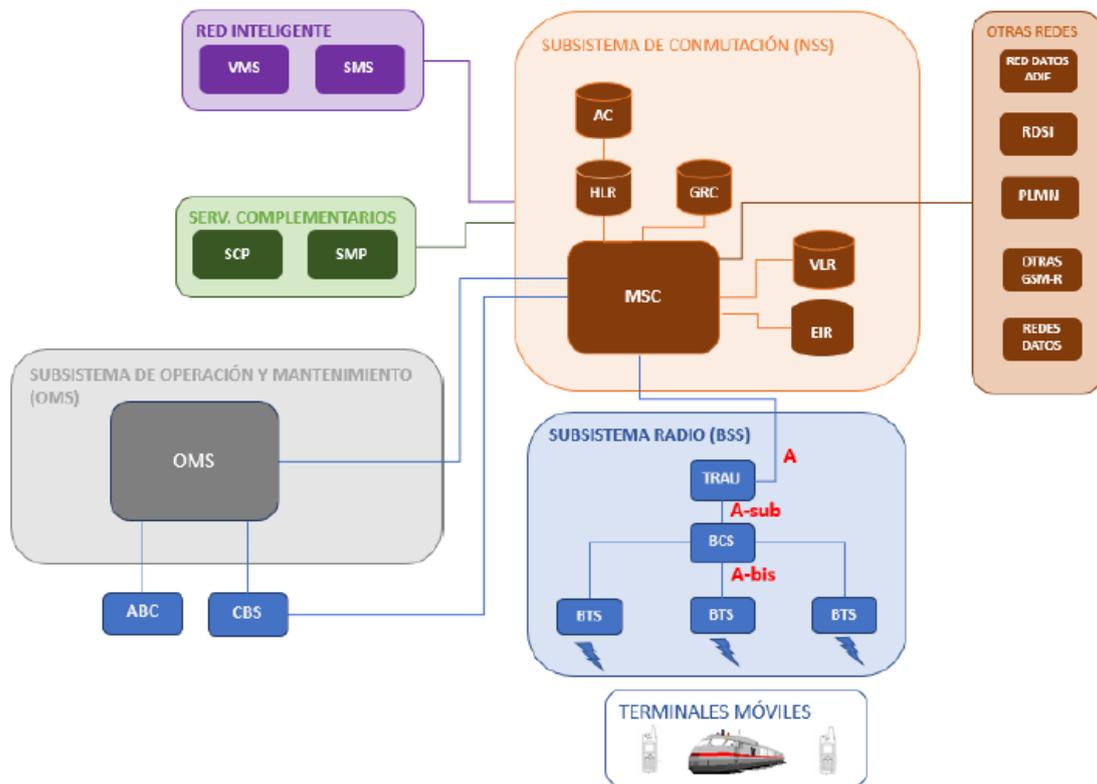


Ilustración 2. Arquitectura genérica de una red GSM-R

3.4.1. SUBSISTEMA DE ESTACIONES MÓVILES (MSS)

El subsistema de estaciones móviles estará formado por los equipos que permitirán la comunicación entre trenes, personal de mantenimiento y explotación y, entre ellos y el Puesto Central de Mando. Se definen dos tipos de equipos:

- Radio en cabina (terminal embarcado): situados en las unidades de tren y cumpliendo las especificaciones EIRENE [5]. Se utilizan para las comunicaciones entre la infraestructura de tierra y el interior del tren, tanto para la transmisión de datos ETCS como para las comunicaciones vocales entre el conductor y el puesto de mando.
- Terminales portátiles: utilizados por el personal ferroviario y similares a los de la telefonía móvil pública. Se pueden distinguir tres tipos:
 - Terminales de propósito general (GPH).
 - Terminales operacionales (OPH).
 - Terminales de maniobra (OPS).

3.4.1.1. TERMINALES DE PROPÓSITO GENERAL

Análogos a un teléfono móvil GSM estándar, con la característica fundamental de que puede usar las bandas de frecuencia GSM-R, E-GSM, GSM y DCS.

Las características básicas de este tipo de terminales serán las siguientes:

- Permitirán la comunicación entre el personal de explotación desde cualquier lugar de la línea con otros trabajadores, entre sí, con

controladores del sistema del puesto de control o con otro tipo de usuarios como pueden ser los pasajeros del tren.

- Posibilitarán la comunicación con la red GSM pública.
- La autonomía nominal de estos terminales proporcionada por su batería será de al menos ocho horas.
- Serán fácilmente transportables.
- Deberán cumplir tanto con las especificaciones de EIRENE-MORANE [5] como con los requerimientos de UIC [7].

3.4.1.2. *TERMINALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO*

Similares a los anteriores, pero más robustos en cuanto a las condiciones medioambientales o mecánicas de funcionamiento que soportan. Al igual que los GPH, pueden funcionar igualmente en las bandas GSM-R, E-GSM, GSM y DCS.

Las características básicas de este tipo de terminales serán las siguientes:

- Permitirán la comunicación entre el personal desde cualquier lugar de la línea con otros trabajadores o con el puesto de control.
- Posibilitarán la comunicación con la red pública.
- La autonomía nominal de estos terminales proporcionada por su batería será de ocho horas.
- Serán resistentes para su uso en tareas de vigilancia o mantenimiento.
- Permitirán su operación con guantes.
- La pantalla será visible tanto a la luz del sol como en oscuridad.
- Deberán cumplir tanto con las especificaciones de EIRENE-MORANE [5] como con los requerimientos de UIC [7].

3.4.1.3. *CONSOLA DE LLAMADAS GSM – R*

Este tipo de terminal presenta un módulo de audio adaptable a la ergonomía del puesto de trabajo, en el que se pueden configurar todos sus parámetros para poder gestionar las llamadas entrantes y salientes de la red GSM-R.

Las características básicas de este tipo terminal de audio son:

- Auriculares (opcional).
- Teléfono de mano.
- Micrófono.
- Altavoz.

Así mismo, el terminal deberá tener las siguientes características funcionales:

- Dispondrá de ventanas configurables y será totalmente configurable.
- Se podrán realizar llamadas por medio de teclado y directorio telefónico.
- Proporcionará un directorio telefónico con identificación de número, nombre y prioridad de llamada.
- Permitirá la monitorización de llamadas (identificación del origen de llamada, nombre, número marcado, tren, ...).

- Posibilitará a su vez:
 - Llamadas de emergencia.
 - Mensajes de texto.
 - Marcación rápida (hasta 275 números almacenados para marcación rápida).
 - Llamadas en espera.
 - Visualización de llamadas en cola.
 - Control de volumen.
 - Traspaso de llamadas.
 - Conferencias.
 - Trenes bajo control.
 - Estado del sistema, fecha, hora.
- Deberá cumplir tanto con las especificaciones de EIRENE-MORANE [5] como con los requerimientos de UIC [7].

3.4.2. SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE (BSS)

Este subsistema estará compuesto por los siguientes elementos:

- Estaciones base transceptoras (BTS).
- Controladores de estación base (BSC).
- Unidad de transcodificación y adaptación de velocidad de transmisión (TRAU/TCU).

La principal función de este subsistema es la de permitir el establecimiento de la comunicación entre una estación móvil y la red, proporcionando todas las funciones de transmisión y control necesarias para disponer de cobertura radio en el área de servicio. Todos los elementos del subsistema BSS deben ser compatibles con las especificaciones GSM Fase 2/2+.

3.4.2.1. ESTACIÓN BASE TRANSCECTORA (BTS)

Las estaciones base cumplirán los siguientes requisitos:

- Se distribuirán a lo largo de los tramos correspondientes, teniendo un área de servicio que puede estar compuesta por una o varias celdas.
- Llevarán a cabo todas las acciones relativas a la transmisión/recepción y procesamiento de señal en la comunicación radio y su cifrado.
- Operarán en las bandas de frecuencias del sistema GSM-R y según un estudio previo de interferencias y la realización del pertinente plan de frecuencias se otorgarán las frecuencias de operación.
- Dispondrán de algoritmos especiales de ecualización que permitan mantener la comunicación a unos buenos niveles de calidad.
- Funcionarán a velocidades de hasta 500 km/h, aunque en la práctica será considerablemente menor.
- Serán modulares para asegurar la futura escalabilidad y facilitar su expansión y actualización tanto desde el punto de vista hardware como software (sin interrupción del servicio).

- Tendrán redundados sus componentes principales.
- Se equiparán con tantos transmisores activos como el estudio de tráfico indique. Se dejará un TRX de reserva, en 'stand-by', dotando así de redundancia a la BTS en caso de fallo de un transmisor.
- Se utilizará un combinador/duplexor con capacidad de hasta cuatro transmisores por celda.
- Los equipos que componen las estaciones base estarán protegidos ante:
 - Fallos que puedan producir riesgos de incendio.
 - Cortes de la alimentación eléctrica dotándoles de una autonomía mínimo de 6 horas en caso de corte del suministro.

Cada estación base estará constituida por los siguientes componentes:

- Módulo de Control de Sistema de BTS distribuida (MS).
- Cabeza Radio Remota GSM-R (RRU).
- Sistema Radiante.

3.4.2.1.1. SISTEMA RADIANTE

Empezando por los elementos situados en el exterior y a mayor altura, el sistema radiante estará compuesto por los siguientes componentes:

- Antenas, pudiéndose diferenciar en:
 - Panel de polarización cruzada de 65º (X65): para emplazamientos situados en entornos rurales o con orografía de fácil accesibilidad.
 - Panel de polarización cruzada de 30º (X30): para cuando interfirieren gran cantidad de obstáculos y de gran altura. Tiene una mayor ganancia y potencia radiada que la anterior.
 - Yagi-Uda: de bajo impacto visual e idónea para zona urbana.
 - Vlog: se suele utilizar para dar cobertura al interior de los túneles, ya sea colocadas en el hastial de este o ubicadas en un mástil/torre.

Este apartado se explica más detalladamente en el plan de cobertura radioeléctrica.

- Guíasondas (cable coaxial).
- Divisor de potencia.
- Elementos auxiliares de instalación.

3.4.2.1.2. MÓDULO DE CONTROL DE SISTEMA DE BTS DISTRIBUIDA (MS)

Este componente lleva a cabo las siguientes funcionalidades:

- Realiza las medidas de calidad y nivel y las trasmite a la BSC.
- Activa los canales que la BSC le indica.
- Manda al móvil la información de tráfico, la información de control de potencia, de alineamiento temporal, etc.

3.4.2.1.3. CABEZA RADIO REMOTA GSM-R (RRU)

Estos elementos proporcionan la interfaz radio entre la red GSM-R y las estaciones móviles y dan cobertura al área de servicio no cubierto por las BTS en el exterior, operando en las bandas de frecuencias del sistema GSM-R y pudiendo ser las mismas (modo repetidor) o frecuencias distintas del resto de RRU's asociadas a un mismo módulo de control de BTS distribuida. En el presente proyecto no se contempla el uso de RRU's en modo repetidor.

Las unidades remotas serán capaces de comunicarse con su/s módulo/s de sistema a través de un máximo de dos fibras ópticas.

Las estaciones base (Módulo de Control de Sistema (MS) + Cabeza Radio Remota (RRU)) se instalarán en casetas GSM-R, mientras que las unidades de radio remotas se podrán ubicar en el interior de armarios de intemperie y en el interior de las casetas GSM-R. En caso de que el espacio disponible sea reducido y se requiera equipar con un conjunto MS + RRU, se podrán implementar soluciones de instalación de MS + RRU en armario de intemperie.

En la caseta GSM-R (para BTS) se instalarán los siguientes elementos:

- Módulo de Sistema y RRU.
- Nodo IP.
- Armario de 19" de 42u.
- Switches: 2 N4-MPLS y 2 N4-L2.
- Repartidor óptico ODF.
- Protecciones (incluyendo reconectadora gestionable).
- Distribución de alterna.
- Rectificador.
- Distribución de continua.
- Central de alarmas.

En armario de intemperie (para RRU) se instalarán los siguientes elementos:

- Switch N4-L2 Industrial.
- Distribución de alterna.
- Rectificador.
- Protecciones (incluyendo reconectadora gestionable).
- Distribución de continua.
- Baterías (resistencia a altas temperaturas).
- Subastidor-repartidor óptico de tres bandejas pivotante.

Las configuraciones, elementos y equipos expuestos en este apartado son generalizaciones, pudiendo variar según la solución aportada por cada fabricante, añadiendo a su vez los pertinentes latiguillos y cableado para las conexiones necesarias.

3.4.2.2. CONTROLADORA DE ESTACIONES BASE (BSC)

Este elemento es el encargado de llevar a cabo las funciones de control más importantes del subsistema BSS:

- Administración de los canales de radio (asignación/liberación) y de las conexiones locales.
- Control de la interfaz radio entre los terminales móviles y la BTS.
- Gestión del traspaso de un móvil de una celda a otra (Handover).
- Comunicación de los terminales móviles con la MSC correspondiente.
- Concentración del tráfico de varias BTS.
- Funciones relacionadas con seguridad.

La BSC será existente y estará fuera del alcance del proyecto. La BSC estará dimensionada para soportar todos los canales y servicios a implementar en nuestra Red y estará equipada de acuerdo con las necesidades de tráfico.

Las características básicas de la controladora de estaciones base serán las siguientes:

- Presentará una arquitectura modular y escalable.
- Tendrá una estructura de redundancia 1+1 para asegurar la continuidad del servicio ante un fallo.
- Interfaz Asub con la TRAU, con 16 kbps de submultiplexación e Interfaz Abis con la BTS, con 16 y 8 kbps de submultiplexación.
- Sustentará canales de señalización físicos de 16 kbps en la interfaz Abis.
- Soportará submultiplexación/concentración LAPD.
- Dispondrá de gestión de mensajes de servicio de radiodifusión en celdas.
- Proporcionará servicios de datos (modificación de llamada activa, fax automático, etc.).
- Estará protegida ante situaciones de fallo que conlleven riesgo de incendio y en caso de corte del suministro eléctrico.
- La versión de software instalada se corresponderá con la del resto de los equipos de la red de ADIF [9] existente o, en su caso, habrá de ser interoperable con el software existente. Las actualizaciones de software y elementos hardware se podrán llevar a cabo sin que exista ninguna interrupción del servicio.

3.4.2.3. UNIDAD DE TRANSCODIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN DE VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN (TRAU)

La misión de la TRAU/TCU es la regulación de la velocidad de transmisión en cada canal de tráfico de información entre la BSC y la MSC (Central de Conmutación de Móviles). Los canales de voz y datos con 16 kbit/s en la parte radio se adaptan a la red de 64 kbit/s del subsistema de conmutación.

La interfaz entre la BSC y TRAU se denomina Asub. Desde el punto de vista lógico, la unidad de transcodificación y adaptación de velocidad forma parte del BSS, sin

embargo, son equipos distintos que pueden estar ubicados en emplazamientos distintos.

La TRAU será existente y quedará fuera del alcance del proyecto. La TRAU estará dimensionada para soportar todos los canales y servicios a implementar en nuestra Red y estará equipada de acuerdo con las necesidades de tráfico.

Las características básicas de la unidad de transcodificación y adaptación de velocidades de transmisión serán las siguientes:

- Presentará una arquitectura modular y escalable.
- Tendrá una estructura de redundancia 1+1 para asegurar la continuidad del servicio ante un fallo.
- Interfaz A del estándar GSM para D900 y D1800 e Interfaz A sub con el BSC (remoto), con multiplexación de 16 kbps.
- Soportará señalización LAPD integrada desde y hacia el BSC para tareas de O&M.
- Sustentará VAD/DTX (Detección de actividad de voz / transmisión discontinua) y ruido confort.
- Dispondrá de control de volumen para compensar de forma independiente posibles pérdidas de niveles de voz.
- Estará protegida ante situaciones de fallo que conlleven riesgo de incendio y en caso de corte del suministro eléctrico.
- La versión de software instalada se corresponderá con la del resto de los equipos de la red de ADIF [9] existente o, en su caso, habrá de ser interoperable con el software existente. Las actualizaciones de software y elementos hardware se podrán llevar a cabo sin que exista ninguna interrupción del servicio.

3.4.3. SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN (NSS)

El subsistema de conmutación realiza las funciones de control y enrutamiento de llamadas, tanto las específicas de la telefonía móvil como las necesarias para la operación de la red GSM-R. El NSS será existente en el desarrollo del proyecto.

Los componentes de este subsistema son los siguientes [10]:

- Central de Conmutación de Móviles (MSC): se encarga de la gestión de los servicios de control de llamadas.
- Registro de Localización de Abonados (HLR): base de datos principal con la información relevante de los abonados GSM registrados.
- Registro de Localización de Visitantes (VLR): base de datos que contiene información sobre todos los abonados GSM que son itinerantes en su área de servicio en un determinado momento, es decir, almacena información temporal.
- Centro de Autenticación (AuC): cajas de seguridad donde están almacenados los códigos de autenticación y los algoritmos de los abonados GSM que se utilizan para la creación de los parámetros de autenticación correspondientes.

- Registro de configuraciones para servicios de llamadas en grupo y de difusión (GCR) dentro del área del MSC: base de datos para el almacenamiento de datos relacionados con las llamadas a grupo, usados en las funcionalidades VGCS (Voice Group Call Service) y VBS (Voice Broadcast Service).
- Registro de Identificación de suscripciones (EIR): base de datos con información sobre los tipos de equipos y las identidades de equipos móviles internacionales, IMEI, de los equipos de radio móviles autorizados en su área de servicio.

La MSC puede llevar a cabo la conmutación de conexiones de radio entre:

- Una estación móvil GSM-R y un terminal de red fija, PSTN/ISDN.
- Una estación móvil GSM-R y otra estación móvil PLMN u otra red GSM-R.
- Dos estaciones móviles dentro de la plataforma GSM-R.
- Llamadas de abonados conectados a la central de conmutación a través de un acceso básico RDSI o bien a través de un acceso primario RDSI o PABX dirigidas a abonados de la red radio.

La central de conmutación presenta interfaces tanto con elementos de la red GSM-R como con sistemas externos:

- Sistema BSS.
- Sistema de Red Inteligente.
- Plataforma OTA de gestión de abonados.
- Sistema de Centro de Mensajes Cortos y Buzón de Voz.
- Centro de Confirmación de Llamadas.
- Centro de Monitorización de Llamadas.
- Centrales de la red de telefonía fija.
- RBCs del sistema de señalización.
- Redes de telefonía pública PSTN.

La conexión entre las controladoras de estaciones base y la central de conmutación de móviles se realizará a través de la interfaz A de GSM.

Las características básicas de la MSC serán las siguientes:

- Tendrá una arquitectura modular y escalable.
- Presentará una estructura de redundancia 1+1 para asegurar la continuidad del servicio ante un fallo:
 - Nivel físico: tarjetas de entrada/salida de MSC y TRAU.
 - Nivel lógico: la señalización SS7 confluirá por dos E1 a tarjetas independientes de entrada/salida.
- Se incluirán las unidades funcionales de señalización necesarias (una por cada dos E1) en la plataforma de señalización SSNC para gestionar el tráfico generado entre el subsistema radio y el de conmutación.
- Estará protegidos ante situaciones de fallo que conlleven riesgo de incendio y en caso de corte del suministro eléctrico.

- Las actualizaciones de software y elementos hardware se podrán llevar a cabo sin que exista ninguna interrupción del servicio.

3.4.4. RED INTELIGENTE (IN)

La red inteligente constituye una capa de control que proporciona funcionalidades específicas asociadas al ferrocarril a través de un punto de servicio. Entre ellas se encuentran:

- FA (direccionamiento funcional): permite el marcado del número de una persona en función de su actividad o el marcado de áreas de trabajo específicas con independencia de su localización en ese momento.
- LDA (direccionamiento basado en la localización): consiste en el establecimiento del contacto entre el personal del tren y los controladores o jefes de estación responsables del trazado.

Además, posee la infraestructura necesaria para la prestación de servicios suplementarios como el servicio de mensajes cortos y buzón de voz mediante los siguientes elementos:

- Servidor de Mensajes Cortos (SMS).
- Servidor de Buzón de Voz (VMS).

La monitorización y grabación de las llamadas cursadas por terminales móviles se realiza en el centro de monitorización.

En lo referente a las llamadas de emergencia, es preciso recibir una confirmación o asentimiento de que los usuarios involucrados en una llamada de emergencia la han recibido.

Por último, para la gestión de usuarios y tarjetas SIM se dispone de la plataforma OTA.

El sistema GSM-R se apoyará en la IN existente para realizar todas aquellas funciones exigibles a una red GSM-R como :

- Función de Entorno de Creación de Servicio (SCEF).
- Función de Administración y Gestión de Servicio (SMF).

3.4.5. SUBSISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OMS)

Este subsistema es el encargado de la operación y mantenimiento del conjunto de la red GSM-R. Se puede dividir en cinco grandes bloques:

- Gestión del subsistema de conmutación OMC-S.
- Gestión del subsistema de estaciones base OMC-R.
- Gestión del sistema de energía de GSM-R.
- Gestión de alarmas externas asociadas a las casetas GSM-R.

Las características básicas serán las siguientes:

- Será un sistema cliente-servidor.

- Existirán sistemas de supervisión para realizar las labores de operación y mantenimiento del subsistema de conmutación, de los componentes del subsistema BSS y de los equipos de energía instalados en los emplazamientos, y mantenimiento remoto de la red de unidades remotas.
- El subsistema completo estará conectado a un sistema de alimentación ininterrumpida.
- Los interfaces de estos sistemas de gestión están desarrollados según el proyecto MORANE, donde se establecen los requisitos para los sistemas de comunicación ferroviarios.
- Dispondrá de los medios de impresión adecuados.

3.5. TOPOLOGÍA DE LA RED

Se adoptará una topología de BTS distribuidas, donde existe una parte de control y comunicaciones mediante el módulo de sistema y elementos radiantes en las unidades remotas. Cada estación base estará constituida por los siguientes componentes:

- Módulo de Control de Sistema de BTS distribuida (MS).
- Cabeza Radio Remota GSM-R (RRU).
- Sistema Radiante.

La siguiente ilustración muestra la arquitectura de la topología de BTS distribuidas o modo georedundado:

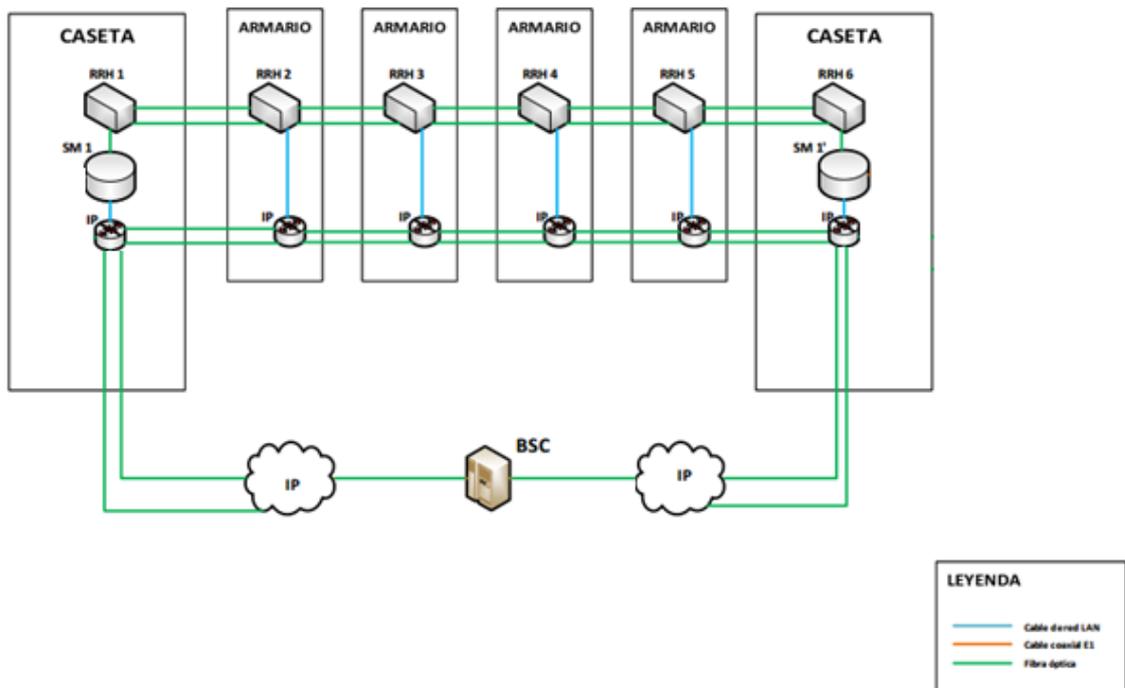


Ilustración 3. Topología de estación base distribuida o modo georedundado

Es aconsejable que la línea empiece o termine con un módulo de sistema, es decir, en una BTS, y considerar que tanto módulo de sistema como cabeza remota deben tener

redundados sus equipamientos principales. Dependiendo del fabricante, serán equipos independientes sin redundancia o equipos compactos con módulos redundados.

Además, la red se estructurará en un anillo físico que incluirá a todos los emplazamientos distribuidos a lo largo del tramo objeto. A su vez, se definirán una serie de anillos lógicos (cada uno de ellos con un enlace E1 asignado) sobre los cuales se recogen los servicios de telecomunicaciones proporcionados a las BTS de estas áreas. Según el dimensionamiento expresado en el posterior Estudio de Tráfico, cada anillo lógico no incluirá más de 6 emplazamientos.

La topología en anillo seleccionada posibilitará:

- Equilibrio entre seguridad en la conexión BTS-BSC y coste de implementación de la transmisión.
- Posibilidad de comunicación por dos caminos diferentes, garantizando así la continuidad del servicio ante la caída, fallo o rotura de algún equipo, conexión, etc.
- Compartición de la interfaz Abis por todos los emplazamientos.
- Uso óptimo de los enlaces PCM30.

Los servicios de telecomunicaciones proporcionados a nivel de enlace son principalmente enlaces tipo E1 (2 Mbps) que se establecen entre los equipos de transmisión instalados en las BTS y las BSC. En los extremos de los anillos de acceso, que coinciden con nodos de transporte, se extraerá el tráfico de la red de acceso, encaminando el tráfico de circuitos E1 hacia la red de transporte IP.

Este apartado se explica más detalladamente en el Sistema de Comunicaciones Fijas.

3.6. CALIDAD DE SERVICIO

En referencia a la calidad de servicio se observarán los siguientes puntos:

- Se deberán cumplir las últimas especificaciones técnicas y funcionales según EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) [5] y MORANE (MOBILE RADIO for railway Networks in Europe).
- Se podrán establecer ciertas funcionalidades opcionales pero necesarias para su uso en la red nacional.
- Se soportará el conjunto de servicios de una red PLMN (Public Land Mobile Network) según en el estándar GSM fase 2+.
- El uso prioritario del sistema GSM-R será como red EIRENE [5] para asegurar la interoperabilidad con todas las redes de uso ferroviario sin que ello en ningún momento se vea afectado por otras funcionalidades que pudiera ofrecer el sistema.

3.6.1. PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO

Los parámetros técnicos y las funciones más importantes para la aceptación del sistema para voz que se evaluarán son los siguientes:

- Nivel de cobertura (-85dBms outdoor/en exterior y -70dBms interior de túnel).
Los niveles de potencia exigidos se explicarán más detalladamente en el plan de cobertura radioeléctrica.

- Comprobación de Handovers.
- Medida en modo reselección.
- Comunicación con Cabradio.
- Además, se realizarán las pruebas y comprobaciones del servicio GSM-R voz que el Director de Obra estimara oportunas.

Para validar el sistema para el uso de datos se realizarán las pruebas en base a la norma O-2475 v3.0 (19-02-2007) [1] una vez aprobado y validado el sistema para voz.

Se tendrán en cuenta los siguientes parámetros de la norma O-2475 [1] en las medidas de red para garantizar la calidad de servicio (según EIRENE y MORANE) [5]:

- 1) Tiempo de conexión o establecimiento.
- 2) Probabilidad de no establecimiento de la conexión.
- 3) Probabilidad de desconexión.
- 4) Retardo en la transmisión.
- 5) Probabilidad de fallo de datos.
- 6) Tiempo de registro en la red GSM-R.

3.6.1.1. TIEMPO DE CONEXIÓN O ESTABLECIMIENTO

Este parámetro expresa el tiempo transcurrido desde que un usuario realiza una petición de conexión hasta que la conexión se establece. Según el origen y destino de la llamada se distinguirá entre:

- MOC: Llamada originada en el móvil.
- MTC: Llamada con destino a un terminal móvil.
- MTM: Llamada entre móviles (el origen y destino son terminales móviles).

3.6.1.2. PROBABILIDAD DE NO ESTABLECIMIENTO DE LA CONEXIÓN

Este parámetro expresa la probabilidad de que, superado el tiempo máximo legítimo, la conexión no se haya llevado a cabo.

3.6.1.3. PROBABILIDAD DE DESCONEXIÓN

Es la probabilidad de que una llamada o conexión ya establecida se interrumpa.

3.6.1.4. RETARDO DE TRANSMISIÓN

Es el retardo extremo a extremo, es decir, desde que se decide transmitir por parte de uno de los transceptores hasta que el otro transceptor ha terminado de recibir la información.

3.6.1.5. TIEMPO DE REGISTRO EN LA RED GSM-R.

Este retardo se mide entre el tiempo desde que se realiza una solicitud de registro en la red GSM-R y la indicación de registro satisfactorio.

3.6.2. PRESTACIONES DEL SISTEMA

En relación con la calidad de servicio, para asegurar la continuidad y seguridad de la explotación ferroviaria, especialmente en comunicaciones de datos y voz con terminales embarcados, una red GSM-R requiere:

- Grado de disponibilidad sumamente alto.
- Tasa de error de bit muy reducida.
- Bajo retardo de traspaso y conexión.

Los principales efectos que provoca la alta velocidad a la que circulan los trenes son:

- Menor tiempo para realizar los traspasos.
- Mayor distorsión de las señales de radio.

Para solucionar los problemas anteriormente citados, se utilizarán algoritmos de eliminación de distorsión por velocidad (funcionan hasta 500 km/h) y procedimientos de traspaso anticipado de llamada, para así garantizar una buena calidad de servicio.

Las prestaciones mínimas de calidad de servicio del sistema GSM-R, según EIRENE/MORANE [5], se pueden ver en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR	TAMAÑO MUESTRA
Establecimiento de la conexión extremo a extremo	<8.5s (95%) ≤10s (100%)	100 muestras
Tiempo de conexión de una llamada de emergencia	≤0.5s (99%)	100 muestras
Probabilidad de fallo en el establecimiento de la conexión	≤30s (95%) ≤35s (99%) ≤40s (100%)	100 muestras (entrando) 100 muestras (saliendo)
Probabilidad de desconexión	<10 ⁻² /h	300 horas
Tasa de error de bits	Ascendente: <0.8s (95%) <1s (99%) Descendente: >20s (95%) >7s (99%)	1500 muestras por kilómetro (ascendente) 1500 muestras por kilómetro (descendente)
Retardo extremo a extremo máximo/datos	<10 ⁻²	1078 muestras

Tabla 3. Parámetros de Calidad de Servicio

El subsistema de operación y mantenimiento supervisará las comunicaciones y dispondrá de registros para almacenar toda la información relevante a la calidad de servicio. Se registrarán los siguientes parámetros:

- Tiempo de establecimiento de llamada.
- Retardos extremo a extremo.
- Tiempos de handover.
- Handovers fallidos.
- Numeración no resuelta.
- Tasa de caída de llamadas.
- Intentos de conexión fallidos.
- Desconexiones indeseadas ocurridas.
- Excesos del límite de probabilidad de pérdidas de tramas.

El sistema a instalar estará diseñado para cumplir los objetivos de calidad de servicio indicados y garantizará su continuidad durante su vida operativa.

3.6.3. HANDOVER

El handover es el proceso de traspaso de una llamada de una celda a otra. Este se realiza para maximizar la calidad de transmisión en el canal ascendente y descendente. Cuando el nivel de potencia que recibe un terminal procedente de una estación base es demasiado bajo, se degrada la calidad y, por tanto, se hace necesario un proceso de handover o transferencia. A continuación, dicho terminal se sincroniza con la siguiente estación base, de la cual reciba mayor potencia y pueda proseguir así la llamada sin interrupción alguna. De esta forma se consigue que se puedan cumplir los parámetros de calidad necesarios en el sistema.

Este proceso funcionará a todas las velocidades, hasta 500 km/h. Los parámetros significativos que se deben cumplir para evitar interrupciones en las llamadas son los siguientes:

- Tasa de procesos de handover logrados: > 99,5%.
- Tiempo de proceso máximo: < 300 ms.

3.6.4. ITINERANCIA (ROAMING)

El sistema GSM-R a instalar se basará en una red EIRENE [5] de carácter nacional, pero de forma que el sistema permitirá el proceso de itinerancia para los trenes tanto nacionales como internacionales que ingresen o abandonen un área MSC de ámbito nacional. Cuando exista cobertura de varias redes, el proceso de selección de red se realizará de forma automática, según el siguiente orden de prioridad:

- 1º. Red EIRENE [5] de ámbito específico.
- 2º. Otra red EIRENE [5] nacional.
- 3º. Redes de operadores públicos con facilidades EIRENE [5].
- 4º. Redes públicas sin facilidades EIRENE [5].

También, el usuario desde el terminal podrá realizar una selección manual, indicando dicho terminal en todo momento la red a la que está conectado e informará al usuario, de forma explícita, en el caso de que no se disponga de las facilidades de una red EIRENE [5].

3.6.5. TRANSMISIÓN

La red GSM-R soportará extremo a extremo:

- La transmisión de voz.
- La transmisión de datos y SMS.
- La interconexión con otras redes de conmutación de circuitos o de paquetes, tanto internas como externas.
- El transporte de la información demandada por los diferentes servicios soportados.

3.6.5.1. TRANSMISIÓN DE VOZ

Se llevará a cabo según lo descrito en los documentos del ETSI [8] para GSM Fase 2+ en lo que se refiere a mecanismos de ecualización, modulación, codificación digital, sincronización, conversión de señales y calidad de servicio. En todo momento, se cumplirán los requerimientos y prestaciones exigidos por EIRENE [5] y MORANE.

Los mecanismos correspondientes permitirán la correcta transmisión a las velocidades a las que circularán los terminales. El sistema funcionará hasta una velocidad de 500 km/h.

Además, se cumplirán las recomendaciones del CCITT y de la UIT [11] de referencia para la interconexión con otras redes públicas o privadas de conmutación telefónica PSTN/PLMN.

3.6.5.2. TRANSMISIÓN DE DATOS Y SMS

Los modos de transmisión de datos en lo que concierne exclusivamente a la infraestructura GSM-R propuesta, corresponderán en cuanto a mecanismos de modulación, codificación digital, sincronización, conversión de señales y calidad de servicio a lo establecido por los documentos del ETSI [8] para GSM Fase 2+, cumpliendo también los requerimientos y prestaciones exigidos por EIRENE [5] y MORANE.

Los mecanismos correspondientes permitirán la correcta transmisión a las velocidades a las que circularán los terminales. Como en el caso de la transmisión de voz, el sistema funcionará hasta una velocidad de 500 km/h.

Además, se cumplirán las recomendaciones del CCITT y de la UIT [11] de referencia para la interconexión con otras redes de transmisión de datos, públicas o privadas, de conmutación de circuitos (CSPDN) o de paquetes (PSPDN).

3.6.6. SEGURIDAD DE LAS COMUNICACIONES

El sistema GSM-R asegurará la protección en dos puntos primordiales:

- El acceso no autorizado a la red: suplantación fraudulenta.
- Protección de los datos de usuario transmitidos por la red: privacidad.

Respecto al acceso a la red, se solucionará con la autenticación de los terminales mediante dos mecanismos:

- Código PIN: va asociado a cada tarjeta SIM. El usuario deberá introducir el código PIN del terminal para poder acceder a este.
- Identificador IMSI y clave secreta: el terminal utiliza su identificador único, llamado IMSI y una clave secreta que solo conocen el terminal y la MSC; con esto y con algoritmos criptográficos A3 y A8 el terminal se identifica a la MSC, comprobándose así su autenticidad.

Una vez autenticado y validado el terminal, se le asociará, para mayor seguridad, un identificador temporal llamado TMSI.

En cuanto a la privacidad, se utilizarán algoritmos de encriptación del tipo A5x previstos en las especificaciones de la ETSI [8] para el sistema GSM.

3.7. SERVICIOS

La red GSM-R será diseñada como una red de radiotelefonía móvil privada para uso ferroviario. Principalmente ofrecerá soporte a los siguientes servicios:

- Radiotelefonía móvil general: permite la comunicación entre conductores y el puesto de control, lo que proporciona un soporte continuo y centralizado al tren. Permite también la comunicación directa entre dos conductores de dos trenes distintos o la comunicación entre personal dentro de una estación.
- Radiotelefonía móvil para labores de maniobra y mantenimiento: utilizada a la hora de realizar maniobras entre trenes o trabajos de mantenimiento en vía.
- Radiotelefonía móvil para vigilancia y seguridad: destinada al cuerpo de seguridad.
- Radiotelefonía móvil de gestión y otros usos: comunicaciones exteriores.

3.7.1. SERVICIOS DE VOZ

La red GSM-R soportará los siguientes servicios de voz:

- Llamadas de voz punto a punto.
- Llamadas de difusión.
- Llamadas de grupo.
- Llamadas de emergencia.
- Multiconferencia.

En las llamadas de difusión o llamadas de grupo, se podrá determinar el área de influencia de dichas llamadas, indicando:

- La localización del emisor de la llamada, si se origina desde un terminal móvil.
- La identidad del grupo al que va destinada la llamada (por ejemplo, a todos los usuarios del área, a todos los trenes, etc.).
- El prefijo identificativo del grupo al que va destinada la llamada, especificando el área de localización, si se origina desde un terminal de la red fija.

En general, cualquier llamada de difusión o de grupo será difundida en el mismo área de localización donde se inició, tanto en terminales móviles como los de red fija. Aquellos

terminales que salgan del área de localización durante la llamada se desconectarán de ella y, de la misma forma, los que entren se unirán automáticamente.

En añadidura, se cubrirán varios servicios suplementarios concernientes a las llamadas:

- Presentación de la identidad del llamante y del abonado. El terminal identificará al llamante, indicando su número telefónico y, en ocasiones, una descripción de su función.
- Restricciones configurables para la presentación de las identificaciones. La red tendrá la capacidad de ocultar la identidad de ciertos usuarios.
- Grupo cerrado de usuarios. Los usuarios que no estén en la lista de usuarios permitidos de la red EIRENE [5], no podrán acceder a los servicios ofrecidos por esta.
- Limitación de acceso a servicios de llamada. La gestión de red permitirá cortar el acceso a usuarios para que no puedan realizar llamadas fuera de su área de localización o hacia una red externa.
- Prioridad y uso de preferencia. Se podrá asignar a cada llamada un orden de preferencia. En el caso de se haga una llamada de prioridad alta a un terminal que esté realizando una de menor prioridad, se desconectará para dar paso a esta nueva llamada al ser más prioritaria.
- Retención de la llamada. Se permitirá abandonar una llamada temporalmente, dejándola retenida.
- Llamada en espera. La red informará a un usuario, mientras está realizando una llamada, que otros usuarios están intentando contactar con él.
- Desvío de la llamada. Los usuarios podrán redireccionar las llamadas de su terminal a otros terminales de la red. Se distinguen cuatro posibles situaciones a la hora de desviar una llamada: desvío incondicional, desvío si el usuario está ocupado, desvío si no hay respuesta a la llamada o desvío si el terminal móvil no se ha localizado (fuera de cobertura o apagado).

Y, una serie de servicios específicos de uso ferroviario, ya mencionados anteriormente:

- Comunicaciones con el personal del interior del tren.
- Modo de maniobras.
- Direccionamiento funcional, incluyendo los procedimientos de registro de altas y bajas.
- Direccionamiento dependiente de la localización.
- Llamadas de emergencia ferroviarias.

3.7.2. SERVICIOS DE DATOS

La red GSM-R podrá soportar los servicios de datos siguientes:

- Mensajes de texto
 - Punto a punto con destino al móvil (MT/PP).
 - Punto a punto con origen en el móvil (MO/PP).
 - Difusión en una celda (punto a multipunto).
- Aplicaciones de datos genéricas.

- La red soportará el envío de mensajes de texto punto a punto y punto a multipunto y comunicación de datos punto a punto de al menos 2,4 kbps y hasta 9,6 kbps.

3.7.3. SERVICIOS DE LOS EQUIPOS MÓVILES

Se distinguen tres tipos de terminales básicos, según sus funciones y el entorno de operación:

- Radio en cabina: embarcada en los trenes y utilizada por el conductor.
- Portátil de propósito general: para uso del personal de la línea ferroviaria.
- Portátil operacional: para uso del personal de la línea que realice operaciones de mantenimiento de la vía o maniobras.

3.7.3.1. RADIO EN CABINA

El terminal de cabina incluirá un Sistema de Radio de Voz GSM-R. Será ampliable a un Sistema de Radio de Datos y deberá cumplir las especificaciones de EIRENE [5].

La Radio de Voz permitirá la comunicación de voz entre el conductor del tren y el personal de la estación así como con el sistema de megafonía del tren.

Los servicios principales que ofrecen estos terminales se enumeran a continuación.

3.7.3.1.1. SERVICIOS BÁSICOS

La siguiente tabla muestra los servicios básicos para las radios de cabina:

GRUPO DE SERVICIO	SERVICIO
Transmisión vocal	Telefonía
	Llamada de emergencia
Teleavisos	Mensajes cortos punto a punto con destino al móvil
	Mensajes cortos punto a punto con origen en el móvil
	Mensajes cortos punto a punto en la misma célula
Transmisión de fax	Grupo de fax automático
Servicio de voz en grupo	Llamada de voz de grupo
	Transmisión de voz

Tabla 4. Servicios básicos de los terminales radio en cabina

3.7.3.1.2. SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Los servicios complementarios para las radios de cabina son los siguientes:

- Presentación de identificación de línea de llamada y de línea conectada.
- Restricción de identificación de línea de llamada
- Desvío de llamadas incondicional, a abonado móvil ocupado, no contestadas y a abonado móvil no localizable.
- Llamadas en espera.
- Retención de llamadas.
- Restricción de llamadas salientes nacionales e internacionales.
- BOIC excepto llamadas de operadores del país de origen.
- Restricción de llamadas entrantes nacionales y cuando se realice Roaming fuera del país PLMN de origen.
- Servicio multiconferencia.
- Grupo cerrado de usuarios.
- Servicio de datos complementario sin estructurar.
- Sub-Direccionamiento (específico de EIRENE) [5].
- Prioridad y uso preferente de canales (eMLPP).
- Señalización usuario a usuario.

3.7.3.1.3. SERVICIOS ESPECÍFICOS PARA FERROCARRIL

- Direccionamiento funcional.
- Direccionamiento dependiendo de la ubicación.
- Llamadas de emergencia ferroviarias.

3.7.3.1.4. SERVICIOS ADICIONALES

Los servicios adicionales para las radios de cabina son los siguientes:

- Presentación de números funcionales.
- Confirmación de llamadas prioritarias.

3.7.3.1.5. FUNCIONES

Las funciones más importantes que proporcionará la radio en cabina relativas a las llamadas (a través de la Interfaz hombre-máquina) son las siguientes:

- Llamar al controlador: Se podrá realizar de forma sencilla, mediante un pulsador. Será una llamada usando numeración funcional. Se indicará al conductor que la llamada está en curso mediante un indicador visual y audible y cuando la conexión haya sido establecida, mostrándole visualmente la identificación funcional, la descripción y el número telefónico del destinatario. En caso de que la conexión no sea posible se informará de este hecho.
- Llamar a conductores de otros trenes del área de localización: Se podrá realizar mediante un pulsador, estableciéndose una llamada de grupo

entre los conductores de una misma área de localización. En todo momento se indicará al conductor del estado de la llamada (en curso, establecida, no realizada). Una vez establecida, se informará visualmente de la identidad del grupo, tanto en la cabina que realiza la llamada, como en todas las demás que se conectan. La comunicación se realizará pulsando un botón para hablar PTT (Push To Talk). La llamada finalizará por orden del conductor que la originó, de un operador autorizado o de la propia red.

- Llamar a otros conductores del mismo tren: Estas llamadas son de utilidad para la comunicación entre conductores de un mismo tren, cuando este está compuesto por más de un vehículo. La comunicación se inicia y se controla desde la cabina principal.
- Llamar al personal del interior del tren: El conductor se podrá comunicar con cualquier miembro del personal embarcado en el interior del tren, mediante una llamada punto a punto. La radio en cabina indicará al conductor una lista con los usuarios, según su función, con los que puede contactar.
- Llamar a otros usuarios autorizados: Se podrá realizar cualquier llamada a un usuario autorizado dentro de la red, ya sea a través de una lista de números predefinida, marcando directamente el número telefónico del destinatario concreto o marcando un número funcional. Pueden ser llamadas punto a punto, de grupo o de difusión.
- Realizar una llamada ferroviaria de emergencia: Se indicará en cabina de forma continua, mediante una señal visual y audible, hasta que se realice la conexión. La comunicación se realizará pulsando un botón PTT.
- Recibir llamadas de voz: Pueden ser punto a punto, de grupo, de difusión o de emergencia. Se indicará en cabina de forma visual y audible la recepción de la llamada, visualizándose el tipo de llamada y la identificación del llamante. Si la llamada es punto a punto podrá entablar comunicación simultánea. Si es de grupo podrá hablar pulsando el botón PTT y si es de difusión solo podrá escuchar.
- Terminar llamadas: La radio en cabina podrá terminar llamadas, cuando tenga el permiso para ello (por ejemplo, en una llamada de grupo iniciada por el conductor o en una llamada punto a punto). Y, en caso contrario, (por ejemplo, una llamada de grupo iniciada por otro usuario), podrá abandonar la comunicación, sin que ello suponga la finalización de la llamada para los demás usuarios que permanecen en la misma.
- Recibir/originar mensajes de texto.
- Entrar/dejar el modo de maniobra: En este modo se asegura la integridad de la comunicación, con una mayor prioridad de las llamadas. Se utiliza a la hora de realizar labores de maniobra o mantenimiento de la vía.

- Desviar llamadas: Se podrá activar o cancelar la función de desvío de llamadas entrantes. La radio en cabina podrá tener un terminal portátil asociado, al que se desviarán las llamadas cuando esté activado.

Otras funciones complementarias:

- Encendido/apagado de la radio en cabina: Al encenderse se activará un mecanismo de auto-test para comprobar el correcto estado del equipamiento y se conectará a la red móvil GSM-R. Al apagarse se desconectará de la red.
- Encendido/apagado de la interfaz hombre-máquina (MMI): Al encenderse se activará un mecanismo de auto-test para comprobar el funcionamiento del MMI.
- Selección de idioma: La información proporcionada por la radio en cabina podrá mostrarse en varios idiomas, pudiéndose cambiar en cualquier momento. Será posible seleccionar un idioma como predeterminado.
- Ajustar volumen del altavoz.
- Seleccionar red de radio: La red se seleccionará de forma automática. Al realizarse un cambio de red (al pasar una frontera o por otros motivos), se indicará en el terminal de forma visual y audible. También será posible realizar un cambio de red de forma manual.
- Registrar y cancelar números funcionales: Estos números funcionales estarán asociados al terminal embarcado.
- Almacenar números con información adjunta: La radio en cabina puede almacenar una lista de números telefónicos, con información de dichos números, de los que podrá realizar marcaciones abreviadas. La lista podrá ser consultada y modificada.
- Soportar servicios suplementarios: El terminal en cabina podrá realizar funciones como desviar una llamada al terminal portátil del conductor, dejar una llamada en espera o dejar una llamada momentáneamente para contestar otra.

3.7.3.2. TERMINALES

Los terminales serán compatibles con los requerimientos de EIRENE [5].

3.7.3.2.1. SERVICIOS BÁSICOS

Los servicios básicos para los terminales radio móviles son los mismos que los de la radio en cabina.

3.7.3.2.2. SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Los servicios complementarios para los terminales son idénticos a los de radio en cabina.

3.7.3.2.3. SERVICIOS ESPECÍFICOS PARA FERROCARRIL

Los servicios específicos para el ferrocarril para los terminales son equivalentes a los de radio en cabina.

3.7.3.2.4. SERVICIOS ADICIONALES

Los servicios adicionales para los terminales son los mismos que los de la radio en cabina.

A continuación se enumeran con más detalle las funciones más importantes que proporcionará un terminal de propósito general.

3.7.3.2.5. FUNCIONES

Las funciones más importantes que proporcionará el terminal relativas a las llamadas (a través de la Interfaz hombre-máquina) son las siguientes:

- Llamar a usuarios autorizados o al controlador: El terminal de propósito general se podrá usar como un teléfono estándar para realizar llamadas a cualquier número permitido por la red.
- Realizar llamadas de emergencia: No todos podrán realizar llamadas de emergencia, solo determinados terminales que estén autorizados para ello.
- Recibir llamadas de voz punto a punto: Se notificarán mediante una señal audible y visual, indicando la identidad funcional del llamante si la tuviera.
- Recibir llamadas de voz de grupo o difusión (broadcast): Se notificarán mediante una señal audible y visual, mostrándose la identidad del grupo llamante. Si la llamada es de difusión se indicará al usuario que no podrá hablar. Si es de grupo, el usuario deberá pedir permiso para llamar usando el PTT.
- Recibir llamadas de emergencia: Se notificarán de igual forma que las de grupo o difusión, pero con una señal audible distinta.
- Terminar llamadas: Podrá terminar llamadas, siempre que esté autorizado para ello. No podrá terminarlas cuando se trate de llamadas de grupo o difusión o emergencia no iniciadas por él mismo.

Otras funciones complementarias:

- Encendido/apagado del terminal: Tendrá un interruptor o botón para encender y apagar el terminal. Al encender el terminal se realizará un auto test y seguidamente se intentará conectar a la red. Si se produce la conexión satisfactoriamente se indicará con una señal sonora y visual, mostrando la red a la que se ha conectado.
- Selección de idioma: La información proporcionada por la radio de propósito general podrá mostrarse en al menos 10 idiomas, pudiéndose cambiar en cualquier momento. Será posible seleccionar uno como predeterminado.

- Seleccionar red: La red se seleccionará de forma automática. Al realizarse un cambio de red se indicará en el terminal de forma visual y audible. También será posible realizar un cambio de red de forma manual.
- Registrar y cancelar números funcionales: Estos números funcionales estarán asociados al terminal portátil de propósito general.
- Almacenar números con información adjunta: El terminal podrá almacenar una lista de números telefónicos, con información de dichos números, de los que podrá realizar marcaciones abreviadas. La lista podrá ser consultada y modificada.

3.8. PRUEBAS DE INTERCONEXIÓN E INTEROPERABILIDAD

Para la puesta en servicio de la red implementada, se deben llevar a cabo las pruebas correspondientes a la integración del sistema BSS y O&M:

- Pruebas de sistema para comprobar las funcionalidades de la red o con redes de distinta tecnología (llamadas de difusión, llamadas de grupo, prioridad de llamadas, servicio de mensajes, etc.) basadas en las especificaciones EIRENE [5].
- Pruebas de direccionamiento funcional y direccionamiento basado en la posición acorde al plan de numeración de la red o con redes de distinta tecnología:
 - Llamadas a números funcionales activos para probar la asignación.
 - Llamadas desde distintas localizaciones.
- Pruebas de handover con otras redes con la misma tecnología o con redes de distinta tecnología.
- Pruebas del sistema de operaciones y mantenimiento de la red o con redes de distinta tecnología:
 - Visualización del estado del sistema.
 - Gestión de alarmas y estadísticas.
 - Test.
- Pruebas de compatibilidad del sistema con centralita digital.
- Todas aquellas pruebas de interconexión e interoperabilidad entre BSS - BSS y NSS - BSS de la misma o distintas tecnologías.

4. COBERTURA RADIOELÉCTRICA

En este apartado se describe el plan de cobertura radioeléctrica para la solución adoptada en el tramo objeto del presente proyecto, fijando criterios de diseño y parámetros, presentando la metodología seguida y los cálculos, mediante planificación radio GSM-R.

4.1. CRITERIOS DE DISEÑO Y PLANIFICACIÓN

4.1.1. COBERTURA RADIOELÉCTRICA Y SISTEMAS RADIANTES

Dentro del radio máximo de una celda, teniendo línea de vista entre las antenas por las que se realizan las radiocomunicaciones, se consiguen siempre los niveles de potencia requeridos. Sin embargo, cuando aparecen obstrucciones a la propagación radioeléctrica tales como edificaciones, elevaciones del terreno o masa forestal, es necesario realizar predicciones con una herramienta de cálculo de propagación radioeléctrica y con modelos digitales de representación del entorno de propagación. Para estos cálculos se han utilizado modelos digitales de elevaciones LIDAR del último Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) [12] con precisión altimétrica $< 0,3\text{m}$ y resolución espacial de 3m del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) [13].

Se ha utilizado el método de predicción de Okumura-Hata y para detectar zonas en las que la predicción no alcanza el suficiente detalle, se ha usado la recomendación UIT-R P.529-3 [11] como comprobación adicional a los cálculos basados en el método de Okumura-Hata, incluyendo siempre los efectos de la difracción.

La banda de frecuencias de cálculo es la del GSM-R, comprendida entre los 876-880 MHz (ascendente) y 921-925 MHz (descendente), como se ha comentado anteriormente.

Se ha adoptado una solución de estaciones base con cabezas remotas de radio distribuidas o georedundadas e interconectadas por medio de fibras ópticas a lo largo de la línea.

Tanto en las estaciones base nodales como en las remotas, se han ubicado las antenas orientadas en cada sentido de la vía, combinadas por medio de divisores simétricos o asimétricos, formando una única celda.

Se utiliza la antena de panel de polarización cruzada con valores mínimos de ancho de haz horizontal de 65° , haz vertical de $9,8^\circ$ y $16,8\text{ dBi}$ de ganancia, con una diferencia de ganancia trasera/frontal de 30dB . Se suele utilizar en espacios abiertos, donde no haya muchos obstáculos que pudieran obstruir en la propagación de la onda.

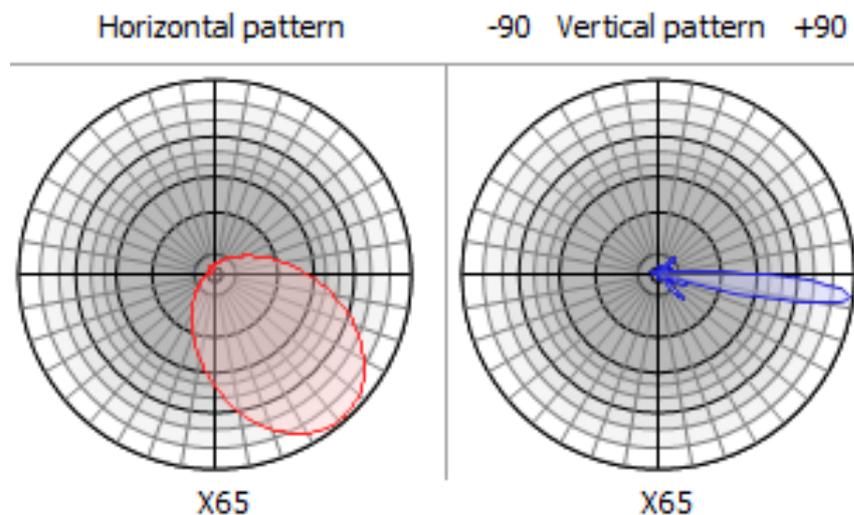


Ilustración 4. Patrones de radiación horizontal y vertical de la antena X65 (en dB).

Se utiliza la antena de panel de polarización cruzada con 30° de haz horizontal, 7,4° de haz vertical, y 20,8 dBi de ganancia. Estas dos antenas de panel incluyen diversidad de polarización a +45° y a -45° en una sola estructura.

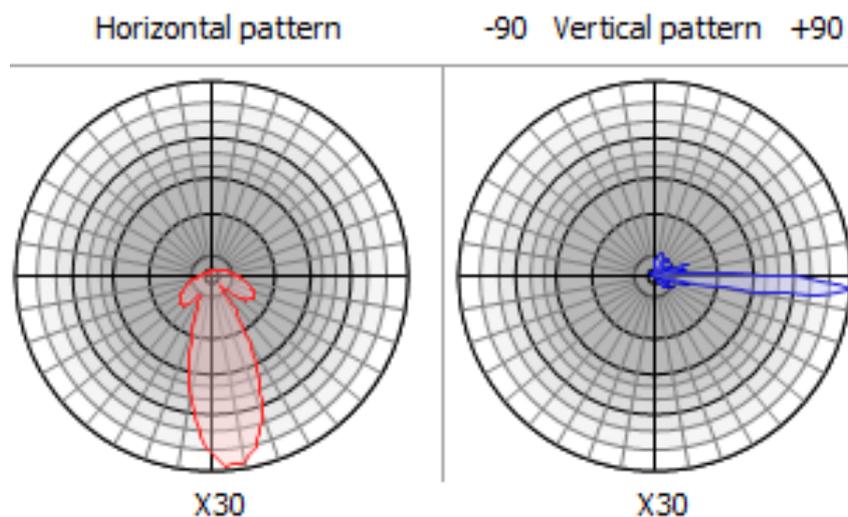


Ilustración 5. Patrones de radiación horizontal y vertical de la antena X30 (en dB).

Este tipo de antenas tiene una protección adicional para el enlace ascendente frente a desvanecimientos rápidos producidos por la propagación multi-trayecto y el efecto Rayleigh, obteniendo una ganancia en la recepción de entre 2 y 5 dB gracias a la diversidad. De ahí, que sea ideal para tramos, donde debido a edificios o árboles altos por ejemplo, no llega la potencia necesaria para cumplir las condiciones requeridas.

Se utiliza la antena de panel de polarización vertical con valores mínimos de ancho de haz horizontal de 62°, haz vertical de 52° y 10,6 dBi de ganancia. Es común situarla en el hastial de un túnel o en un mástil o torre orientada hacia el interior del túnel.

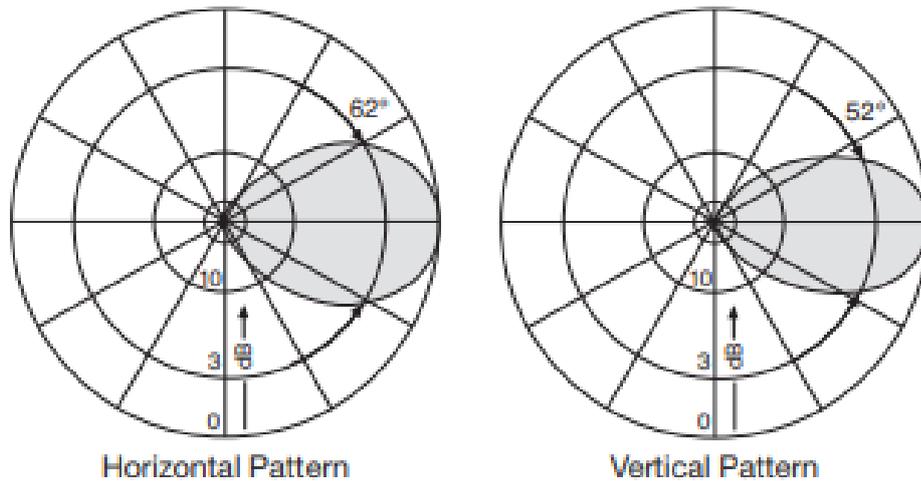


Ilustración 6. Patrones de radiación horizontal y vertical de la antena Vlog (en dB).

Se suele utilizar la antena Yagi en polarización vertical u horizontal para zonas urbanas, ya que es una de las más comunes y normalizadas para las personas y, por lo tanto, la que menos controversia y problemas provoca en la población que viva cerca de una de ellas, pasando más desapercibida que, por ejemplo, la X65 o X30 nombradas anteriormente. La ganancia de estas antenas es igual o superior a 12dBi.

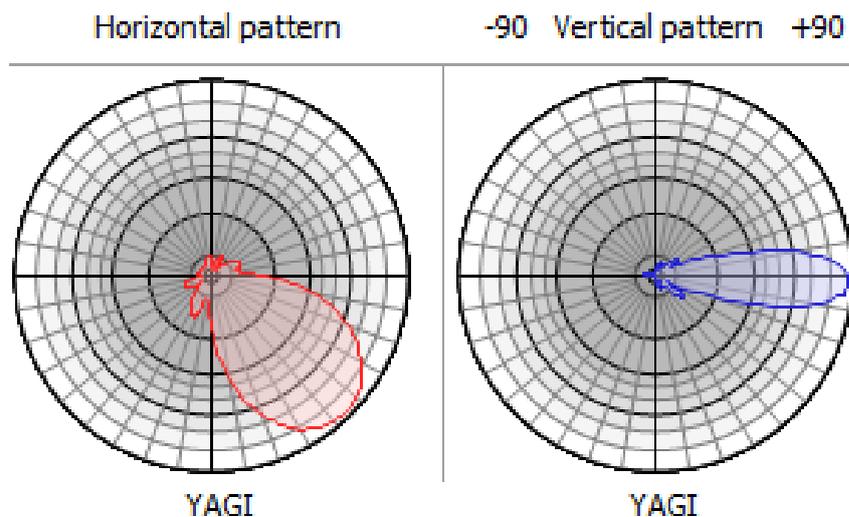


Ilustración 7. Patrones de radiación horizontal y vertical de la antena Yagi (en dB).

Las anteriores ilustraciones se han tomado directamente del software radio y datasheet.

Para el diseño de la cobertura en el interior de los túneles, se tiene en cuenta la longitud total, el gálibo y la curvatura de estos, así como el acceso al mantenimiento. Se adopta una solución de cable radiante a lo largo de los túneles donde sea dificultosa o prácticamente imposible la instalación de antenas en su interior (zonas del hastial).

En este proyecto, se han tomado las dos soluciones, tanto la instalación de antenas Vlog en mástil, torre o hastial del túnel como el uso de cable radiante, para así poder describir y dar a conocer estos dos posibles recursos.

Se utiliza cable radiante con un acoplamiento inferior a 70 dB dentro de sus 2m de alcance y una atenuación inferior a 5,5 dB por cada 100m de longitud. No obstante, en los túneles existe un fenómeno de variaciones en el acoplamiento, de hasta 20 dB en distribución Rayleigh por el efecto multi-trayecto, de manera que, en los cálculos, se asegura el enlace desde un valor de acoplamiento mínimo de 90 dB.

Para los sistemas radiantes, se emplean latiguillos súper-flexibles, kits de tierra y descargadores de protección contra el rayo, todos ellos adecuados a la banda GSM-R.

Los divisores a utilizar funcionan también en la banda de frecuencias indicada y ofrecen unas pérdidas de inserción menores o iguales a 0,3 dB, con las siguientes características:

- Divisor simétrico de dos vías con relación de reparto 1/2.
- Divisor asimétrico con relación de reparto 1/3 - 2/3.
- Divisor asimétrico con relación de reparto 1/10 - 9/10.
- Divisor asimétrico con relación de reparto 24/25 - 1/25.

4.1.1.1. PARÁMETROS

Para la planificación radioeléctrica, el ADIF [9] ha establecido los siguientes límites inferiores de cobertura de diseño en los valores mínimos de nivel de potencia de recepción en una antena ideal sin pérdidas de 0 dBi y situada a 4m de altura (ubicada encima del tren):

- En abierto: -85dBm.
- En el interior de túneles y soterramientos: -70dBm.

En ambos casos, estos niveles definidos son más restrictivos que los recomendados y exigidos, pues para hacer compatible el subsistema con el estándar europeo EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) [5] de la UIC (International Union of Railways) [7] se deben cumplir los siguientes valores:

- Nivel de cobertura de -92 dBm con una probabilidad de 95% en líneas con ETCS de nivel 2/3 y para velocidades superiores a 280 km/h.
- Nivel de cobertura entre 41,5 y 44,5 dB μ V/m (-95 y -92 dBm) con una probabilidad del 95% en líneas con ETCS de nivel 2/3 y para velocidades superiores a 220 km/h e inferiores a 280 km/h.
- El nivel de cobertura se define como la intensidad de campo eléctrico expresado en dB μ V/m existente sobre una antena que se supondrá isotrópica con ganancia 0 dBi y situada a 4m por encima de la vía, siendo $P(\text{dBm}) = E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) + G(\text{dBi}) - 20\log F(\text{MHz}) - 77,2$.
- Por consiguiente, la planificación deberá cumplir lo especificado en EIRENE [5], que establece unos valores exigidos del nivel de cobertura:
 - -98dBm con una probabilidad del 95% para voz y datos no críticos.
 - -95dBm con una probabilidad de 95% en líneas con ETCS de nivel 2/3 y para velocidades inferiores o iguales a 220 km/h.

Las medidas de comprobación del nivel de cobertura se deberán realizar respetando el criterio de W. C. Y. Lee que recomienda que, para un terminal móvil, el nivel promedio de señal se debe medir realizando un mínimo de entre 36 y 50 muestras sobre una distancia de 40 longitudes de onda. Para cumplir este criterio en GSM-R, se calcula la longitud de onda de 925 MHz (peor caso) que resulta $\lambda=0,324\text{m}$, y así $40\lambda=12,964\text{m}$. Un mínimo de 36 muestras cada 40λ equivale entonces a 1 muestra cada 0,36m. Considerando un tren de prueba que viaja a una velocidad máxima de 130 km/h, se deduce que recorrerá 0,361m en 10ms. Por lo tanto, el instrumento de medida deberá tomar una muestra de la energía de la señal cada 10ms. Este instrumento contará con una certificación de calibración que garantice su precisión. Además, las medidas se realizarán para todos los canales GSM-R implementados y de frontera.

Estos requisitos de cobertura se deben cumplir al menos durante el 95% del tiempo sobre el 95% del área tomada de 100 en 100m. Los niveles de cobertura recomendados en EIRENE [5] han tenido en cuenta unas pérdidas máximas de 3 dB entre antena y receptor, así como otros 3 dB que generalmente son causados por envejecimiento y otros factores. Estos requisitos llevan a la necesidad de incluir un margen en la planificación radio, calculado de forma que se cumplan los objetivos de cobertura en espacio y tiempo.

Además, se han seguido las recomendaciones siguientes, también de EIRENE [5]:

- Probabilidad de pérdida de llamada al realizar el proceso de traspaso de llamada inferior al 0,5%.
- Tiempo máximo de corte temporal de la comunicación de 300ms.

El terminal radio de cabina GSM-R utilizado tiene una potencia de transmisión de 8W y una sensibilidad en la recepción menor o igual a -104 dBm. El terminal de operaciones para personal de vía durante operaciones de mantenimiento y maniobras, con potencia de transmisión de 2W. Y, el terminal de propósito general para personal asociado, con potencia de transmisión máxima también de 2W. Ambos terminales suelen tener antenas de ganancia próxima a 0 dBi y, por lo tanto, se les supone una ganancia nula, y una sensibilidad en la recepción de, al menos, -98 dBm.

La cobertura radioeléctrica comprende, además del trazado de la línea, un área alrededor de las instalaciones ferroviarias como son los apartaderos o apeaderos, puestos de banalización, edificios técnicos, bases de mantenimiento, caminos de servicio, etc., de manera que los terminales anteriormente citados puedan funcionar correctamente.

Como ya se ha indicado anteriormente, la planificación radio se lleva a cabo para el terminal de cabina cuya antena isotrópica se considera ubicada a 4m de altura sobre la vía, de ganancia 0 dBi e instalada sobre la estructura del tren.

4.1.2. SOLAPAMIENTOS DE COBERTURA Y CELDAS VECINAS

La planificación radioeléctrica incluye la necesidad de una zona de solapamiento entre celdas vecinas suficiente para llevar a cabo los traspasos de llamada y completar los procesos de reselección de celda.

Para definir el solapamiento mínimo de cobertura entre celdas, se utiliza el tiempo que se requiere para realizar los traspasos de llamada y también el tiempo necesario para completar cada reselección de celda ya que, en las llamadas de grupo VGCS y de emergencia, el terminal móvil se encuentra en modo 'idle'.

El tiempo para realizar un traspaso es inferior al de reselección de celda y depende de las circunstancias particulares de cada traspaso, normalmente 0,5 segundos en un traspaso intra-BTS. El tiempo total para realizar una reselección de celda, incluyendo el periodo en el que el móvil se encuentra realizando y promediando las medidas de señal, es considerado inferior a 12 segundos. En consecuencia, considerando este tiempo para velocidades máximas de 120–220 km/h del terminal móvil, los tramos con solapamiento deben alcanzar los 400–733m. Por medio de este cálculo, se ha determinado la configuración de los sistemas radiantes. Dado que el nivel de señal mínimo en abierto se ha establecido por el ADIF [9] en -85dBm y que el nivel de señal debe ser siempre superior al nivel mínimo requerido en EIRENE [5], esto es, mayor que -92dBm , la planificación radioeléctrica ha asegurado, en todos los casos, el mínimo solapamiento necesario de la celda que se abandona con un nivel de señal mayor o igual a -92dBm para, de esta manera, garantizar la ejecución segura de una reselección de celda en condiciones de velocidad máxima, tanto en el sentido normal de circulación como en el contrasentido.

El diseño y la futura optimización del subsistema de radio eliminan la posibilidad de efectos ping-pong en los traspasos de llamada entre celdas.

En esta planificación, no se contemplan zonas para traspasos de llamada y reselecciones de celda en el interior de túneles, dando así cumplimiento al requisito de ADIF [9].

El diseño del subsistema garantiza el traspaso de llamada para todos los casos: se trata de un proceso mediante el cual una comunicación ya establecida se transfiere de una celda a otra de manera completamente automática, haciendo posible el tránsito por las diferentes celdas sin interrupción de las comunicaciones, ya sean de voz o de datos, existiendo varias causas que pueden provocar el inicio de un traspaso de llamada:

- Obligatorio:
 - Calidad: la calidad del enlace es muy baja, es decir, la tasa de error (BER) es sumamente alta.
 - Nivel de señal: la potencia recibida es demasiado baja.
 - Distancia: la distancia entre la estación base y el móvil es excesivamente alta.
- Opcional:
 - Mejor servidora: se recibe mejor señal desde otra celda distinta a la que está siendo utilizada.

- Tráfico: se superan los niveles de carga establecidos.
- Celdas extendidas/concéntricas: se superan los límites establecidos.

Los trasposos de llamada se clasifican también dependiendo de los elementos entre los que se produce:

- Intra-BTS: tiene lugar entre canales de la misma estación base (BS).
- Intra-BSS: tiene lugar entre estaciones base (BTS) conectadas a una misma controladora de estaciones base (BSC), es decir, dentro del subsistema de estaciones base (BSS).
- Inter-BSS: tiene lugar entre estaciones base (BTS) conectadas a diferentes controladoras de estaciones base (BSC).
- Inter-MS: tiene lugar entre estaciones base (BTS) conectadas a diferentes centrales de conmutación de móviles (MSC).

4.1.3. MÁRGENES PARA LA COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Según se especifica en EIRENE [5], “debe asegurarse la cobertura durante el 95% del tiempo en el 95% del área objetivo y que, con una probabilidad del 95%, el nivel recibido supere el valor umbral mínimo en cualquier intervalo de localización de longitud 100m”. Para realizar el cálculo, el porcentaje de cobertura objetivo del 95% del área debe interpretarse como un porcentaje zonal, Z. Este valor se traduce a porcentaje de cobertura perimetral L tomando una ley de propagación potencial con exponente n, por medio de la fórmula:

$$Z = L + 50 \cdot \exp\left(\frac{2xy+1}{y^2}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(x + \frac{1}{y}\right)$$

Ecuación 1. Cálculo del porcentaje zonal

donde $x=k(L)/1,414$ e $y=3,071n/\sigma_L$, siendo σ_L la desviación típica de la variación con ubicaciones, $\operatorname{erfc}()$ la función error complementaria y $k()$ la función de distribución gaussiana normalizada inversa. De acuerdo con la Recomendación P.1546 del UIT-R [11], la desviación típica respecto a localizaciones es $\sigma_L=8,5\text{dB}$. Para la desviación típica respecto a variaciones temporales, se tomará el valor $\sigma_T=2\text{dB}$ según la Recomendación P.1145 del UIT-R [11]. Tomando $n=4$ correspondiente a un modelo de Tierra plana ideal, se obtiene $L=85\%$.

Finalmente, el margen para un porcentaje $L=85\%$ de cobertura perimetral y $T=95\%$ de cobertura temporal se calcula como:

$$M = \sqrt{(\sigma_L k(L))^2 + (\sigma_T k(T))^2}$$

Ecuación 2. Cálculo del margen

Teniendo en cuenta que $k(0.85)=1.04$ y $k(0.95)=1.64$, resulta un margen log-normal $M=9,4\text{dB}$.

Este margen log-normal resultante establece la diferencia entre el valor en el que se alcanza el nivel requerido de -85 dBm durante el 95% del tiempo en un 85% del borde de la celda y el valor medio de la misma, -78 dBm, y es aproximadamente de 9 dB.

Para el margen de seguridad, se tendrán en cuenta diferentes causas como pueden ser el envejecimiento del equipamiento, de los cables y antenas, los cambios de la vegetación y del entorno y una protección adicional frente a interferencias. Este margen de seguridad se ha fijado en 4 dB. Adicionalmente, debido a la presencia de masas forestales importantes y edificaciones, se ha utilizado el modelo LIDAR ya que, a diferencia del modelo de elevaciones del terreno, representa todos los objetos sobre el terreno, como se indicó anteriormente.

4.1.4. MÁXIMA ATENUACIÓN COMPENSABLE

Los balances de los enlaces descendente y ascendente se determinan mediante la siguiente tabla:

ENLACE DESCENDENTE	
Potencia del transceptor (dBm)	47,75
Pérdidas en combinadores y duplexores (dB)	0 / -7,5
Pérdidas del cable coaxial y conectores (dB)	-0,5 / -1,5
Pérdidas en el divisor de potencia simétrico (dB)	-3,2
Ganancia de las antenas de panel de polarización cruzada (dBi)	16,8 / 20,8
Ganancia de la antena de panel de polarización vertical (dBi)	10,6
Ganancia típica de la antena Yagi de polarización vertical (dBi)	12,0 / 13,5
PIRE (dBm)	65,8 / 53,1
Nivel de señal exigido (dBm)	-85,0
Ganancia de antena del terminal móvil (dBi)	0,0
Margen de desvanecimiento (dB)	-9,4
Margen de seguridad (dB)	-4,0 / -8,0
Atenuación compensable (dB)	130,2 / 120,7

Tabla 5. Balance Enlace Descendente

ENLACE ASCENDENTE	
Potencia de salida del terminal móvil de mano / del tren (dBm)	31,0 / 39,0
Ganancia de la antena del terminal (dBi)	0,0
PIRE (dBm)	31,0 / 39,0
Mínima recepción en estación base exigible (dBm)	-98,0
Ganancia de antena de polarización cruzada (dBi)	16,8 / 20,8
Ganancia de la antena de panel de polarización vertical (dBi)	10,6
Ganancia típica de la antena Yagi de polarización vertical (dBi)	12,0 / 13,5
Ganancia diversidad en la recepción (dB)	0 / 2,0
Pérdidas en divisor de potencia simétrico (dB)	-3,2
Pérdidas de cable coaxial y conectores (dB)	-0,5 / -2,5
Pérdidas de duplexor (dB)	0 / -5,0
Margen de desvanecimiento (dB)	-9,4
Margen de seguridad (dB)	-4,0 / -8,0
Atenuación compensable (dB)	134,4 / 120,4

Tabla 6. Balance Enlace Ascendente

Las pérdidas máximas de ambos enlaces son ligeramente distintas o prácticamente iguales, dependiendo del tipo de terminal móvil, de la base que le sirve, la configuración etc. No obstante, debido a que los enlaces están balanceados, basta con estudiar y comprobar la cobertura radioeléctrica descendente por ser la menor y, por lo tanto, la más restrictiva.

4.2. RESULTADO DE LA PLANIFICACIÓN

4.2.1. METODOLOGÍA

La metodología seguida en la planificación ha consistido en:

- Comprobación de la exactitud de los modelos de elevaciones del terreno disponibles en la herramienta de planificación. Para el uso de los modelos LIDAR, se filtró la masa de puntos 3D y rectificó el modelo para excluir errores.
- Utilización de las herramientas de planificación.
- Localización de candidatos a emplazamiento para la ubicación del GSM-R.
- Introducción de los emplazamientos en la herramienta de planificación.
- Modelado del subsistema de estaciones base.
- Ajuste de los parámetros necesarios para realizar las predicciones correctamente, tales como la PIRE de los elementos radiantes, tipo de sistema de antenas, azimut de estas, altura, etc.
- Realización de simulaciones con la herramienta de planificación hasta encontrar la mejor opción constructiva.
- Análisis de los resultados obtenidos y valoración.

En el caso de que este proyecto se llevara a cabo, también se deberían realizar:

- Replanteos.
- Visitas a vía para obtener un conocimiento completo del trazado y las estaciones, las elevaciones del relieve del terreno y de los obstáculos a la propagación radioeléctrica y la idoneidad de los candidatos a emplazamiento. Especialmente, para comprobar que no existen accidentes geográficos ni nuevas construcciones que no estén reflejadas en los modelos utilizados, los cuales podrían dar lugar a zonas de sombra en la cobertura.
- Realización de pruebas de cobertura radioeléctrica en puntos singulares del trazado que puedan ser considerados por ADIF [9] como de difícil cobertura. Se efectuará mediante medidas de onda continua o con equipos GSM-R para comprobar que los resultados de la planificación son correctos. En estas pruebas, se utiliza una estación base como transmisor con el fin de conseguir unos niveles de potencia similares a los que se tendrán en la configuración final y la antena transmisora ubicada a la altura considerada en la planificación por medio de una grúa elevadora. Los casos que se pueden considerar de difícil cobertura son aquellos en los que existe una zona de trincheras. Con ello, se pretende verificar la planificación con mediciones de campo reales desde los emplazamientos previstos tanto de estaciones base como de remotas, con el

objeto de comprobar si alguno de los emplazamientos o sectores no es necesario o si, por el contrario, se necesita algún emplazamiento o sector adicional en algún lugar concreto. Además, la realización de pruebas de cobertura radioeléctrica abarcará medidas destinadas a verificar que no existe ocupación de canales radio reservados a la banda GSM-R a lo largo de la traza.

4.2.2. COBERTURA RADIOELÉCTRICA EXTERIOR

Véanse imágenes de Cobertura Radioeléctrica en el apartado 14.1.1. del Anexo.

4.2.3. COBERTURA RADIOELÉCTRICA DE TÚNELES

Las estaciones base ubicadas en los emplazamientos de túnel pueden tener deshabilitada la diversidad en recepción en su transceptor y funcionar con un solo puerto de radiofrecuencia para transmitir y recibir. De esta forma, el sistema radiante se reduce básicamente a divisores, guiaondas, antenas X65 o Yagi para cobertura exterior y cable radiante para la cobertura interior de túneles cuando no es posible la instalación de antenas en estos como se explicó anteriormente.

En el presente proyecto podemos encontrar 4 túneles. En dos de ellos se tomará la solución de cable radiante y, en los otros dos restantes, la instalación de una antena Vlog. El cable radiante en sus diferentes secciones presenta las siguientes características:

- Cable radiante 1-5/8"
 - o Acoplamiento 65dB (95%) dentro de sus 2m de alcance.
 - o Atenuación inferior o igual a 2,70dB por cada 100m.
- Cable radiante 1-1/4"
 - o Acoplamiento 64dB (95%) dentro de sus 2m de alcance.
 - o Atenuación inferior o igual a 3,70dB por cada 100m.
- Cable radiante 7/8"
 - o Acoplamiento 65dB (95%) dentro de sus 2m de alcance.
 - o Atenuación inferior o igual a 5,05dB por cada 100m.

La continuidad de la cobertura en el exterior se lleva a cabo a través de una antena con conexión al cable radiante en su extremo final. En el caso de que no fuera necesaria, se instalaría una terminación de impedancia de 50Ω.

En los túneles puede existir un efecto de variaciones de hasta 20dB en distribución Rayleigh por efectos multi-trayecto de manera que se asegurará el enlace teniendo en cuenta este efecto.

4.2.3.1. TÚNEL O DE 62m

En este emplazamiento se ubica la BTS1 que dispone de un transceptor conectado a una antena Yagi y al cable radiante. Si fijamos las pérdidas por guiaondas y conectores o transiciones en la instalación de túnel al valor mínimo de 1,5 dB e introducimos un divisor, la potencia máxima de la señal recibida en el transceptor del tren a través del cable radiante, tras un acoplamiento esperado, es:

Tipo	Salida RRU	Divisor	GO y conectores	Acoplamiento	Atenuación	D. Rayleigh	Total
7/8"	+47,75dBm	-3dB	-1,5dB	-65dB	-3,14dB	-20dB	-44,89dBm
1-1/4"	+47,75dBm	-3dB	-1,5dB	-64dB	-2,30dB	-20dB	-43,05dBm
1-5/8"	+47,75dBm	-3dB	-1,5dB	-65dB	-1,68dB	-20dB	-43,43dBm

Tabla 7. Túnel 0 62m

De esta forma, se cumple el mínimo exigible de -70dBm a lo largo del túnel con los tres tipos de cable radiante. La elección de uno u otro dependerá de diversos factores, ya sea, precio, distancia del túnel, terreno, ubicación, etc., entre otras muchas complicaciones que pueden existir a la hora de su instalación y mantenimiento. Por las dimensiones del túnel se utilizará el de tipo 7/8".

La continuidad de la cobertura en el exterior se lleva a cabo a través de una antena Yagi con conexión al cable radiante en su extremo final.

4.2.3.2. TÚNEL 2 DE 387m

En este emplazamiento se ubica la BTS4 que dispone de un transceptor conectado a una antena X65 y al cable radiante. Como anteriormente:

Tipo	Salida RRU	Divisor	GO y conectores	Acoplamiento	Atenuación	D. Rayleigh	Total
7/8"	+47,75dBm	-3dB	-1,5dB	-65dB	-19,55dB	-20dB	-61,3dBm
1-1/4"	+47,75dBm	-3dB	-1,5dB	-64dB	-14,32dB	-20dB	-55,07dBm
1-5/8"	+47,75dBm	-3dB	-1,5dB	-65dB	-10,45dB	-20dB	-52,2dBm

Tabla 8. Túnel 2 387m

Nuevamente, se cumple el mínimo exigible de -70dBm a lo largo del túnel con los tres tipos de cable radiante. De igual forma, la elección de uno u otro dependerá de diversos factores tales como, precio, distancia del túnel, terreno, ubicación, etc., entre otras muchas complicaciones que pueden existir a la hora de su instalación y mantenimiento. Por las dimensiones del túnel se utilizará el de tipo 1-1/4".

La continuidad de la cobertura en el exterior se lleva a cabo a través de una antena panel X65 con conexión al cable radiante en su extremo final.

4.2.4. CONEXIÓN MEJOR SERVIDORA

Véanse imágenes de Mejor Servidora en el apartado 14.1.2. del Anexo.

4.2.5. PROTECCIÓN FRENTE A INTERFERENCIAS

Véanse imágenes de Interferencias en el apartado 14.1.3. del Anexo.

5. SOLUCIÓN ADOPTADA: ESTABLECIMIENTO DE EMPLAZAMIENTOS PARA EL DESPLIEGUE DE GSM-R

A continuación, se listan todos los emplazamientos que son resultado de la planificación radioeléctrica, cumpliendo a su vez con las normativas y especificaciones técnicas pertinentes para el despliegue de GSM-R en el tramo de estudio Palencia-León.

Para la codificación de los emplazamientos se ha establecido la siguiente simbolización:

- BTS (Módulo de sistema + Cabeza remota)

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

- 1: Alta Velocidad(A) o Convencional(C)
- 2: Identificador línea (6 letras)
- 3: BTS (B)
- 4: Nº BTS dentro de la línea (3 dígitos)
- 5: Dígito no utilizado (0)
- 6: Capa (A/B)

- RRU (Cabeza remota)

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

- 1: Alta Velocidad(A) o Convencional(C)
- 2: Identificador línea (6 letras)
- 3: Cabeza remota (H)
- 4: Nº BTS predecesora dentro de la línea (3 dígitos)
- 5: Nº de la unidad remota de la BTS (1 dígito)
- 6: Capa (A/B)

Aunque se haya tomado este trayecto ferroviario como convencional, sería igualmente válido para alta velocidad, cumpliendo además con sus normativas y decretos específicos.

En el apartado 14.1. del Anexo, se podrá ver la distribución de emplazamientos en el mapa mediante capturas tomadas directamente del software radio y Google Earth.

Equipo	Código	PK	Instalación	Lado	Longitud (Xo)	Latitud (Yo)	Municipio	Provincia	Altura (m)	Caseta / Armario	Estructura	Acimut S1	Antena S1	Acimut S2	Antena S2	Acimut S3	Antena S3
BTS1	CPALEONB0010A	3+081	Boca de túnel	Túnel	-4,550655	42,027449	Palencia	Palencia	5	Caseta	Frontis	135	YAGI	315	CR+YAGI		
RRU1.1	CPALEONH0011A	7+433	Outdoor	Izquierdo	-4,596922	42,059084	Grijota	Palencia	5	Armario	Mástil	140	X65	320	X65		
RRU1.2	CPALEONH0012A	15+332	Outdoor	Derecho	-4,658851	42,114237	Becerril de Campos	Palencia	15	Armario	Mástil	145	X65	310	X65		
RRU1.3	CPALEONH0013A	23+582	Outdoor	Derecho	-4,727273	42,164652	Paredes de Nava	Palencia	5	Armario	Mástil	120	X65	285	X65		
RRU1.4	CPALEONH0014A	31+645	Outdoor	Derecho	-4,820024	42,182778	Mazuecos de Valdeginete	Palencia	5	Armario	Mástil	105	X65	300	X65		
BTS2	CPALEONB0020A	41+586	Outdoor	Derecho	-4,927402	42,220339	Villacidaler	Palencia	30	Caseta	Torre	120	X65	305	X65		
RRU2.1	CPALEONH0021A	50+880	Outdoor	Izquierdo	-4,991401	42,284267	Villada	Palencia	25	Armario	Torre	155	X65	330	X65	Interior túnel	Vlog
RRU2.2	CPALEONH0022A	60+555	Outdoor	Derecho	-5,018553	42,366860	Sahagún	León	30	Armario	Torre	175	X30	330	X65		
RRU2.3	CPALEONH0023A	64+422	Outdoor	Derecho	-5,040885	42,395408	Sahagún	León	25	Armario	Torre	140	X65	315	X65		
RRU2.4	CPALEONH0024A	71+108	Outdoor	Derecho	-5,118959	42,395851	Bercianos del Real Camino	León	15	Armario	Mástil	80	X65	290	X65		

BTS3	CPALEONB0030A	79+166	Outdoor	Derecho	-5,205090	42,423444	El Burgo Ranero	León	5	Caseta	Mástil	135	X65	315	X65		
RRU3.1	CPALEONH0031A	87+195	Outdoor	Izquierdo	-5,285339	42,463462	Santas Martas	León	5	Armario	Mástil	115	X65	295	X65		
RRU3.2	CPALEONH0032A	93+628	Outdoor	Izquierdo	-5,359610	42,457148	Santas Martas	León	5	Armario	Mástil	75	X65	280	X65		
RRU3.3	CPALEONH0033A	101+739	Outdoor	Derecho	-5,456697	42,459249	Villanueva de las Manzanas	León	5	Armario	Mástil	90	X65	270	X65		
RRU3.4	CPALEONH0034A	106+683	Outdoor	Derecho	-5,514774	42,466720	Villaturiel	León	15	Armario	Mástil	125	X30	305	X30		
BTS4	CPALEONB0040A	111+620	Boca de túnel	Túnel	-5,553521	42,503229	Vega de Infanzones	León	5	Caseta	Frontis	160	X65	340	CR+X65		
RRU4.1	CPALEONH0041A	115+528	Outdoor	Izquierdo	-5,569480	42,536389	Onzonilla	León	10	Armario	Mástil	160	X65	345	X30	Interior túnel	Vlog
BTS5	CPALEONB0050A	121+766	Outdoor	Derecho	-5,578513	42,591256	León	León	5	Caseta	Mástil	185	YAGI	330	YAGI		

Tabla 9. Listado de Emplazamientos

Observaciones

BTS1 -> En Túnel 0. Se instalan 62 metros de Cable Radiante en el interior del túnel. Explicación ampliada en 4.2.3.1.

RRU2.1 -> Túnel 1 cerca. Se coloca una antena Vlog a 5m de altura en la torre de 25m orientada al interior del túnel. De ahí que haya 3 sectores. Si fuera necesario, se podría instalar en el hastial del lado opuesto, orientada al interior del túnel, otra antena Vlog, teniendo esta RRU por tanto 4 sectores.

BTS4 -> En Túnel 2. Se instalan 387 metros de Cable Radiante en el interior de túnel. Explicación ampliada en 4.2.3.2.

RRU4.1 -> Túnel 3 cerca. Se coloca una antena Vlog a 5m de altura en el mástil de 10m orientada al interior del túnel. De ahí que haya 3 sectores. Si fuera necesario, se podría instalar en el hastial del lado opuesto, orientada al interior del túnel, otra antena Vlog, teniendo esta RRU por tanto 4 sectores.

6. PLAN DE FRECUENCIAS

En este apartado se describe el plan de frecuencias de radio para la solución adoptada en el tramo objeto del presente proyecto, cumpliendo los requisitos de tráfico y calidad demandados por el sistema y sus servicios.

6.1. ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

6.1.1. BANDA DE FRECUENCIAS GSM-R

La banda de frecuencias reservada para el GSM-R fue recomendada por el ERC (European Radiocommunications Committee) como la banda de frecuencias idónea para las redes móviles privadas en la UIC (International Union of Railways) [7] y se regula en la orden CTE/630/2.002 por la que se actualiza en España el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (UN-40) siendo la sub-banda 876-880 / 921-925MHz reservada exclusivamente para el sistema europeo de comunicaciones en ferrocarriles de acuerdo a la Recomendación T/R 25-09 E de la CEPT.

6.1.1.1. CANALES Y FRECUENCIAS

La portadora de frecuencia se designa con el número ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number). La conversión entre número de canal y frecuencias viene dado por:

$$F_u(n) = 876,2 + 0,2 \times (n - 955) \quad 955 < n < 974$$

$$F_d(n) = F_u(n) + 45 \quad 955 < n < 974$$

Ecuación 3. Cálculo de frecuencia ascendente y descendente

Donde $F_u(n)$ y $F_d(n)$ corresponden a las frecuencias en MHz de los enlaces ascendente y descendente respectivamente. El plan de frecuencias se expresará en canales.

Se han considerado, entre otros, los requisitos de calidad de servicio y de tráfico demandados por la línea para determinar el número de canales de radio necesarios y sus frecuencias. A este respecto, los recursos de radio han de ser independientes entre celdas por lo que, en vez de considerar el número de abonados y el tráfico generado en el tramo, se analiza el tráfico simultáneo máximo previsto en hora cargada y con alta densidad de tráfico, como el caso de celdas que dan cobertura a estaciones y a mayor número de usuarios.

Los niveles de potencia, tanto de la señal interferente como de la portadora, influyen en la calidad de servicio que se corresponde con la BER de la comunicación binaria en el canal en el caso de señales digitales. Por interferencia se tiene el efecto que una señal (interferente), próxima en el espectro radioeléctrico, origina en la que está siendo utilizada por el canal de comunicación (portadora). El efecto varía entre una disminución prácticamente irrelevante en la calidad de la señal del canal y una degradación tal que sea inviable la radiocomunicación.

La optimización del espectro radioeléctrico, haciendo uso de la reutilización de frecuencias, tiene como contrapartida un mayor nivel en las señales interferentes y, por lo tanto, el plan de frecuencias ha averiguado un compromiso entre la reutilización de frecuencias y la relación entre la señal portadora (C) y la señal interferente (I) que haga cumplir los requisitos del proyecto.

Se distingue entre los diferentes tipos de interferencia:

- Cocanal, aquella producida por emisiones en la misma frecuencia que la celda servidora.
- De primer canal adyacente, producida cuando la separación entre la celda servidora y la interferente es de un canal, es decir, 200 kHz.
- De segundo canal adyacente, en este caso hay una separación de dos canales, es decir, 400 kHz.
- De tercer canal adyacente, hay una separación de tres canales, es decir, 600 kHz.

En la práctica, solo las dos primeras son relevantes dadas las características del filtrado en la recepción que debe cumplir cualquier terminal móvil GSM-R. También, se debe considerar que tanto la señal interferente como la deseada son susceptibles de estar afectadas por el desvanecimiento de la señal por lo que, en la planificación, se tiene en cuenta esta circunstancia.

La especificación técnica 3GPP TS 05.05 V20.0.0 (2005-11-25) [8] en el apartado 6.3 establece una recomendación sobre los niveles de referencia para la relación portadora frente a interferente, distinguiendo entre interferencia cocanal e interferencia del canal adyacente. Esta recomendación es:

$$C/I \text{ cocanal} > 9\text{dB}$$

$$C/I \text{ adyacente} > -9\text{dB}$$

Sin embargo, para alcanzar una muy buena calidad de la comunicación y un flujo de datos máximo, es necesario establecer el requisito para la relación $C/I > 15 \text{ dB}$, valor recomendado en sistemas GSM-R, que introduce 6 dB de margen de seguridad de manera que, en esta la planificación, se hace cumplir:

C/I	TS 05.05	Planificación
Cocanal	9 dB	15 dB
De 1er canal adyacente	-9 dB	-3 dB
De 2do canal adyacente	-41 dB	-41 dB
De 3er canal adyacente	-49 dB	-49 dB

Tabla 10. Requisito para la relación C/I

Para estudiar el efecto de las interferencias, es adecuado separar las de origen cocanal de las producidas por canales adyacentes:

$$C/I_{\text{tot}} \Rightarrow C/I_{\text{cocanal}} + k \cdot C/I_{\text{adyacente}}$$

Ecuación 4. Cálculo de C/I_{tot}

Para cumplir el requisito de $C/I > 15\text{dB}$, el plan de frecuencias implementado tiene una separación mínima de dos canales entre la celda servidora y las celdas adyacentes de primer y segundo grado. Así se cumple el requisito global gracias a las separaciones mínimas establecidas entre canales, que garantizan que:

$$C/I \text{ cocanal} > 15 \text{ dB}$$

$$C/I \text{ adyacente} > -3 \text{ dB}$$

Para la elaboración de los planos de protección frente a interferencias se han realizado los cálculos de la relación entre la portadora frente a la interferente cocanal y de canal adyacente para asegurar el plan de frecuencias adoptado.

6.1.2. PATRÓN DE FRECUENCIAS

Se diseña un patrón repetitivo para facilitar la planificación de frecuencias. Este concepto consta de una serie de frecuencias, con un cierto intervalo entre ellas, y estas frecuencias se asignan a celdas consecutivas a lo largo del trazado. La distancia de reutilización resultante y la calidad de la red dependerán del número de frecuencias utilizadas en dicho patrón.

El patrón de reutilización considerado es el compuesto por los siguientes canales:

Grupo	Frecuencia (MHz)	Grupo	Frecuencia (MHz)
A	955	J	956
B	957	K	958
C	959	L	960
D	961	M	962
E	963	N	964
F	965	O	966
G	967	P	968
H	969	Q	970
I	971	R	972

Tabla 11. Patrón de reutilización de frecuencias



Ilustración 8. Patrón de reutilización de frecuencias

En la ilustración anterior se comprueba que el patrón se repite cada 18 emplazamientos, garantizando que dos celdas transmitiendo a la misma frecuencia estén suficientemente separadas y, por tanto, se reduzca la posibilidad de interferencia cocanal y adyacente. Tomando una distancia media de 4 km entre emplazamientos, se obtiene que la distancia media de reutilización es superior a 70 km. A su vez, y puesto que la separación entre cualquiera de los canales de las celdas vecinas, bien de la misma capa o de la capa contraria, es de dos canales, la distancia media existente entre grupos de frecuencias adyacentes es al menos unos 35 km. Teniendo en cuenta la orografía por donde atraviesa la vía, estas distancias se pueden considerar suficientes.

Utilizando dos grupos de ARFCN, primero los impares y luego pares, se pretende maximizar la distancia de reutilización de cada uno de los canales minimizando la interferencia cocanal y adyacente.

6.1.2.1. PLAN DE FRECUENCIAS

Se ha propuesto un plan con amplia separación entre canales de celdas contiguas que permite la incorporación de transceptores al subsistema de estaciones base, en el caso de que fuera necesario, sin afectar a la planificación de frecuencias ya definida.

Los ARFCN descendentes asignados a cada celda se muestran a continuación:

EMPLAZAMIENTO	CELDA	ARFCN	FRECUENCIA ASCENDENTE (MHz)	FRECUENCIA DESCENDENTE (MHz)
BTS1	01	955	876,2	921,2
RRU1.1	02	957	876,6	921,6
RRU1.2	03	959	877	922
RRU1.3	04	961	877,4	922,4
RRU1.4	05	963	877,8	922,8
BTS2	06	965	878,2	923,2
RRU2.1	07	967	878,6	923,6
RRU2.2	08	969	879	924
RRU2.3	09	971	879,4	924,4
RRU2.4	10	956	876,4	921,4
BTS3	11	958	876,8	921,8
RRU3.1	12	960	877,2	922,2
RRU3.2	13	962	877,6	922,6
RRU3.3	14	964	878	923
RRU3.4	15	966	878,4	923,4
BTS4	16	968	878,8	923,8
RRU4.1	17	970	879,2	924,2
BTS5	18	972	879,6	924,6

Tabla 12. Plan de Frecuencias

La idoneidad de este plan se verifica en los planos de protección frente a interferencias del apartado 14.1.3. del Anexo.

7. ESTUDIO DE TRÁFICO

El objetivo de este punto es calcular el tráfico total que deberá cursar el sistema GSM-R para dimensionar adecuadamente cada uno de los interfaces que componen el subsistema de estaciones base:

- Interfaz Aire (Um).
- Interfaz BTS – BSC (Abis).
- Interfaz BSC – TRAU (Asub).
- Interfaz TRAU – MSC (A).

Debido a que el alcance del proyecto es el despliegue del sistema GSM-R en capa simple, el sistema estará dimensionado para cubrir todas las necesidades de comunicaciones de voz y datos asociados a los servicios de radiotelefonía móvil general, para labores de maniobra y mantenimiento y para vigilancia y seguridad de ADIF [9].

7.1. MODELO DE TRÁFICO

El sistema GSM-R se define como un “sistema de pérdidas” porque dispone de unos recursos limitados (los canales de comunicación) que deben ser compartidos por todos los usuarios. Cuando un usuario hace una petición de canal para establecer una comunicación, el recurso se asigna si está disponible y, si no hay ningún canal libre, la petición se pierde produciéndose un bloqueo.

La cantidad de tráfico que un sistema con un número limitado de recursos puede absorber está determinada por la probabilidad de bloqueo de este. Para modelar los sistemas de este tipo se emplea la fórmula de Erlang-B, la cual define el tráfico que puede soportar un sistema en función del número de canales disponibles y la probabilidad de bloqueo. La fórmula de la Erlang-B es la siguiente:

$$Pb = B(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}}$$

Ecuación 5. Cálculo Probabilidad de Bloqueo

Siendo:

- Pb = Probabilidad de bloqueo.
- N = Número de canales.
- A = Tráfico total ofrecido (en Erlangs).

Habitualmente la probabilidad de bloqueo se da como GOS (grado de servicio) en %, siendo $GOS = 100 * Pb$. Según las recomendaciones de EIRENE [5] y MORANE, las probabilidades de bloqueo de los interfaces del sistema son las siguientes:

- Interfaz Aire: 1%.
- Interfaz BTS - BSC: 1%.
- Interfaz BSC - MSC: 0,1%.

- Interfaz MSC - otros elementos de red: 0,1%.

7.1.1. TIPOS DE TRÁFICO

El sistema GSM-R, en cumplimiento con las especificaciones EIRENE [5], debe soportar dos tipos de llamadas:

- Llamadas de datos.
- Llamadas de voz.

7.1.1.1. LLAMADAS DE DATOS

Las llamadas de datos en un sistema GSM-R pueden ser de dos tipos:

- Datos asociados al sistema de control automático del tren ETCS (European Train Control System).
- Mensajes cortos SMS (Short Message Service).

7.1.1.1.1. DATOS ASOCIADOS AL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DEL TREN ETCS

En el funcionamiento básico de este sistema, el equipo en vía, RBC (Radio Block Center), recoge los datos imprescindibles sobre el estado de la infraestructura y realiza los perfiles estáticos de velocidades máximas permitidas sin tener en cuenta las características de frenado y aceleración del tren. El equipo del tren se encarga de realizar el perfil dinámico de velocidades adecuado a las características particulares de cada tren. Además, el tren transmite de forma periódica su posición al RBC.

Las llamadas de datos ETCS requieren de un canal radio exclusivo para cualquier tren dentro del ámbito del sistema ETCS.

7.1.1.1.2. MENSAJES CORTOS

Son mensajes de texto enviados desde/hacia terminales móviles. El envío de estos, en la interfaz aire, se efectúa a través de los canales de señalización GSM-R existentes. Por lo tanto, no requieren de canales de tráfico adicionales.

7.1.1.2. LLAMADAS DE VOZ

Para aplicaciones del ferrocarril se requiere la posibilidad de establecer llamadas punto a punto y punto multipunto, de forma parecida a como se realizan en PMR (Private Mobile Radio) o PAMR (Public Access Mobile Radio). Para ofrecer estas posibilidades se implementan las funcionalidades ASCI (Advanced Speech Call Item). De este modo se pueden realizar las llamadas de difusión y de grupo requeridas por ADIF [9].

El sistema GSM-R deberá soportar, por tanto, tres tipos diferentes de llamadas de voz:

- Llamadas punto a punto.
- Llamadas punto a multipunto:
 - De difusión.

- De grupo.

7.1.1.2.1. LLAMADAS PUNTO A PUNTO

Las llamadas de voz punto a punto comprenderán todas aquellas llamadas bidireccionales que se realizarán entre dos terminales móviles, entre un terminal móvil y uno fijo o entre dos terminales fijos empleando como soporte la red GSM-R. Las características de la llamada, en cuanto a frecuencia o duración de la misma, dependerán de su finalidad y de los terminales participantes.

7.1.1.2.2. LLAMADAS DE DIFUSIÓN (VBS)

Las llamadas de difusión (VBS: Voice Broadcast Service) son llamadas de voz unidireccionales de un usuario hacia múltiples usuarios del sistema que se encuentran en un área determinada del sistema. Este tipo de llamadas presentan las características siguientes:

- Todos los miembros de un grupo de usuarios se agrupan por un número de llamada de difusión.
- Una llamada de difusión engloba a todas las celdas del área de la llamada. Por tanto, todos los usuarios de ese grupo que se encuentren en el área de la llamada recibirán la notificación de “paging”.
- Los miembros del grupo pueden decidir si atender o no la llamada de difusión en función del identificador de llamada y de su prioridad.

Cuando la MSC reconoce la petición de establecimiento de una llamada de difusión, establece una conexión de tipo dúplex con el usuario que la inicia y conexiones simplex con las celdas en las cuales se encuentran los usuarios destino.

Si un usuario sale del área de difusión, la comunicación para ese usuario se pierde. Sin embargo, si un usuario perteneciente al grupo llamado se encontraba fuera del área de difusión, pero entra en la misma, recibirá inmediatamente el mensaje.

7.1.1.2.3. LLAMADAS DE GRUPO (VGCS)

La llamada en grupo o VGCS funciona de forma muy similar a la llamada de difusión, con la particularidad de que en este tipo de comunicación el usuario que habla puede cambiar. Por tanto, este tipo de llamadas son iniciadas por un usuario, que es escuchado por el resto del grupo. En el momento en que este deja de hablar, otro usuario del mismo grupo reservará el canal ascendente para comunicarse con el resto de este.

Además, dado que el sistema deberá garantizar el cumplimiento de las especificaciones funcionales del proyecto EIRENE [5], se soportarán los siguientes servicios suplementarios asociados a las llamadas:

- Prioridad y uso de preferencia. Para cada llamada se podrá asignar un orden de preferencia. Esto permitirá que, por ejemplo, cuando se

realice una llamada de prioridad alta a un terminal que está realizando una de menor prioridad, esta se desconecte para dar paso a la nueva llamada.

- Definición de grupos cerrados de usuarios. Esto posibilitará que los usuarios que no estén en la lista de usuarios permitidos tengan acceso a los servicios de red.
- Presentación de la identidad del llamante y del abonado. El terminal presentará el número telefónico del terminal llamante, así como, si así se configura, una descripción de su función. Esto incluye restricciones en la presentación del número llamante, ya que si así se desea la red podrá ocultar la identificación del usuario que realiza la llamada.
- Desvío de la llamada. Los usuarios podrán redireccionar las llamadas de su terminal a otros terminales de red en alguna de las situaciones siguientes: desvío incondicional, desvío si el usuario está ocupado, desvío si no hay respuesta a la llamada o desvío si el terminal móvil está apagado o fuera de cobertura.
- Llamada en espera. Mientras un usuario mantiene una llamada en curso, será informado por la red de que otro terminal está intentando contactar con él.
- Retención de la llamada. El sistema permitirá que una llamada pueda ser interrumpida temporalmente, quedando así retenida, sin que esto suponga el corte de la comunicación.
- Limitación en el acceso a los servicios de llamada. Se podrán definir perfiles mediante los cuales se establecerán las acciones permitidas/denegadas para cada usuario: permiso/prohibición para realizar llamadas a una red externa, etc.

7.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO

Para realizar la estimación de tráfico se usará solo el tráfico de voz, considerando que el volumen de datos a baja velocidad y mensajes cortos simboliza una parte de ocupación del sistema mínima en comparación con las llamadas de voz. Las estimaciones de tráfico se realizarán en hora cargada (caso más desfavorable).

Los recursos de radio en el Interfaz Aire son independientes entre celdas, por lo que, en lugar de tener en cuenta el número de abonados y el tráfico generado en la línea de estudio, se analizará el tráfico simultáneo máximo previsto en hora cargada en dichas celdas y tomando el caso más desfavorable.

7.1.2.1. ESTIMACIÓN DE TRÁFICO

Tomando el número de terminales activos por celda, se analizará el número de llamadas por usuario y la duración media de dichas llamadas en la hora cargada. Así, se computa la demanda de tráfico siempre y cuando todos los terminales cubiertos por una celda estén activos.

Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho = \lambda * T$$

Ecuación 6. Cálculo del Tráfico

Siendo:

- ρ = Tráfico en Erlang.
- λ = Intento de llamadas en llamadas por segundo.
- T = Duración media de llamadas en segundos.

El tráfico de llamadas punto-multipunto se añadirá directamente al tráfico punto a punto para obtener el tráfico total de la celda.

7.1.2.1.1. TRÁFICO EN UNA CELDA Y ESTACIÓN TIPO

Por cada celda se contará con el número máximo de trenes, además de cualquier otro usuario de la red GSM-R siendo las asunciones de partida las siguientes:

- Se suponen 2 trenes realizando llamadas simultáneamente, reservando así 2 canales radio dedicados para dicho propósito para una estación intermedia y/o apeadero con poca demanda y de 8 trenes para una estación con mucha afluencia, como pueden ser las estaciones de Palencia, Sahagún o León, por ejemplo.
- Se consideran llamadas de voz desde la radio cabina de cada tren, llamadas punto a punto o de grupo para mantenimiento, maniobras, seguridad, etc.
- Se tienen en consideración las llamadas de maniobras que puedan producirse en casos excepcionales.
- Se tomará en cuenta un tráfico estimado ETCS con el fin de permitir la ampliación a este servicio en el futuro.

En las siguientes tablas, en base a las administradas por ADIF [9], se resume el tráfico generado en una celda y estación tipo en la hora cargada:

LLAMADAS PUNTO A PUNTO CELDA TIPO					
ORIGEN	CANALES ACTIVOS POR CELDA	TIPO DE LLAMADA	LLAMADAS ENTRANTES EN H.C. EN CELDA	DURACIÓN MEDIA DE LA LLAMADA (SEGUNDOS)	TRÁFICO EN ERLANG EN H.C. POR CELDA
Radio cabina (Terminal embarcado)	2	Puesto de mando	2	60	0,07
	2	Terminales de Personal de Estación/Seguridad	2	60	0,07
	2	Llamadas de Emergencia	0,042	45	0,00

LLAMADAS PUNTO A PUNTO CELDA TIPO					
ORIGEN	CANALES ACTIVOS POR CELDA	TIPO DE LLAMADA	LLAMADAS ENTRANTES EN H.C. EN CELDA	DURACIÓN MEDIA DE LA LLAMADA (SEGUNDOS)	TRÁFICO EN ERLANG EN H.C. POR CELDA
Terminal mantenimiento (OPH)	3	Llamadas a otro Terminal	2	120	0,2
	3	Llamadas de Emergencia	0,042	45	0,00
Puesto de Mando	1	Llamadas entrantes de Puesto de Mando	2	30	0,02
Llamadas de Telefonía Fija con destino Usuario GSM-R en celda	1	Llamadas entrantes Telefonía Fija	2	120	0,07
SUBTOTAL					0,43

Tabla 13. Estimación de Tráfico de Celda Básica para llamadas punto a punto

LLAMADAS PUNTO A PUNTO ESTACIÓN TIPO					
ORIGEN	CANALES ACTIVOS POR CELDA	TIPO DE LLAMADA	LLAMADAS ENTRANTES EN H.C. EN CELDA	DURACIÓN MEDIA DE LA LLAMADA (SEGUNDOS)	TRÁFICO EN ERLANG EN H.C. POR CELDA
Radio cabina (Terminal embarcado)	8	Puesto de mando	2	60	0,26
	8	Terminales de Personal de Estación/Seguridad	2	60	0,26
	8	Llamadas de Emergencia	0,042	45	0,00
Terminal mantenimiento (OPH)	3	Llamadas a otro Terminal	2	120	0,2
	3	Llamadas de Emergencia	0,042	45	0,00
Puesto de Mando	4	Llamadas entrantes de Puesto de Mando	2	30	0,07
Llamadas de Telefonía Fija con destino Usuario GSM-R en celda	1	Llamadas entrantes Telefonía Fija	2	120	0,07
SUBTOTAL					0,86

Tabla 14. Estimación de Tráfico de Estación Principal para llamadas punto a punto

LLAMADAS PUNTO A MULTIPUNTO CELDA Y ESTACIÓN TIPO					
ORIGEN	CANALES ACTIVOS POR CELDA	TIPO DE LLAMADA	LLAMADAS ENTRANTES EN H.C. EN CELDA	DURACIÓN MEDIA DE LA LLAMADA (SEGUNDOS)	TRÁFICO EN ERLANG EN H.C. POR CELDA
Terminales Portátiles de Personal de Estación (GPH)	3	Llamadas Grupo o Difusión	1	30	0,03
Terminales Portátiles de Personal de Seguridad (GPH)	3	Llamadas Grupo o Difusión	1	45	0,04
Terminales de Personal de Mantenimiento (OPH)	3	Llamadas Grupo o Difusión	1	30	0,03
Puesto de Mando	1	Llamadas Grupo o Difusión	2	30	0,02
SUBTOTAL					0,12

Tabla 15. Estimación de Tráfico de Celda Básica y Estación Principal para llamadas punto a multipunto

OPERACIONES Y MANIOBRAS					
ORIGEN	CANALES ACTIVOS POR CELDA	TIPO DE LLAMADA	LLAMADAS ENTRANTES EN H.C. EN CELDA	DURACIÓN MEDIA DE LA LLAMADA (SEGUNDOS)	TRÁFICO EN ERLANG EN H.C. POR CELDA
Operaciones de Maniobras	3	Llamadas Grupo o Difusión	1	45	0,04
Operaciones de Maniobras	1	Llamadas a otro terminal	2	600	0,33
SUBTOTAL					0,37

Tabla 16. Estimación de Tráfico de Celda Básica y Estación Principal para Maniobras

Se obtiene un tráfico no ETCS estimado de 0,92 E para una celda tipo y de 1,35 E para una estación principal tipo, a los que hay que añadir los 2 canales dedicados para las conexiones ETCS.

Aplicando una probabilidad de bloqueo del 1% según la tabla de Erlang-B, son necesarios 5 canales y, añadiendo los 2 canales dedicados, resultan en total 7 canales. Por lo tanto, basta con una portadora activa para garantizar el tráfico en la celda tipo ya que esta puede soportar hasta 2,5 E.

7.1.2.1.2. ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO EN CELDAS ESPECÍFICAS

No se va a aumentar la capacidad en ninguna BTS al no estimarse un incremento en la demanda de tráfico en ninguna localización en particular.

7.1.3. DISEÑO DEL SUBSISTEMA RADIO

7.1.3.1. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERFAZ AIRE (UM)

El interfaz aire (Um) define la comunicación entre las estaciones base y los terminales móviles. Una portadora ofrece 7 canales de tráfico de voz o datos y 1 canal de señalización. El número de canales de señalización a su vez depende del número de portadoras por celda.

A continuación, se muestran el número de canales de señalización necesarios según el número de portadoras y el tráfico máximo que puede cursar la celda según la tabla de Erlang-B con una probabilidad de bloqueo del 1% como se indicó al inicio de este capítulo:

TRX	CANALES DE TRÁFICO	CANALES DE SEÑALIZACIÓN GSM	TRÁFICO MÁXIMO (ERLANG)
1	7	1	2,5
2	14	2	7,35
3	22	2	13,65
4	29	3	19,49

Tabla 17. Canales necesarios en función del número de portadoras

El tráfico máximo que puede cursar un único transmisor con una probabilidad de bloqueo del 1%, siete canales de tráfico y un canal de señalización es aplicable a celdas cuyo tráfico máximo generado no exceda de 2,5 Erlang. Por lo tanto, un único transmisor es suficiente para soportar el tráfico generado en este tipo de celdas. Adicionalmente, se instala un transmisor de reserva en configuración 1+1 para asegurar las comunicaciones en la celda ante la caída del transmisor activo.

7.1.3.2. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERFAZ BTS-BSC (ABIS)

7.1.3.2.1. ANTECEDENTES

Se implementará una topología en anillo que proporciona una mayor protección ante la caída de cualquier equipamiento del sistema y permite que la conmutación en el anillo sea de forma automática y sin producir cortes en las llamadas en curso en el momento del fallo. Para el transporte se utilizarán canales E1 sobre IP.

La siguiente tabla resume la estimación de tráfico y la configuración para todos los emplazamientos en la línea de estudio:

EMPLAZAMIENTO	TRX	CELDA	TIPO CELDA	CANALES ETCS	CANALES VOZ + DATOS	ERLANG
BTS1	1+1	001	Tipo	2	5	1,35
RRU1.1	1+1	002	Tipo	2	5	0,92
RRU1.2	1+1	003	Tipo	2	5	0,92
RRU1.3	1+1	004	Tipo	2	5	0,92
RRU1.4	1+1	005	Tipo	2	5	0,92
BTS2	1+1	006	Tipo	2	5	1,35
RRU2.1	1+1	007	Tipo	2	5	0,92
RRU2.2	1+1	008	Tipo	2	5	1,35
RRU2.3	1+1	009	Tipo	2	5	0,92
RRU2.4	1+1	010	Tipo	2	5	0,92
BTS3	1+1	011	Tipo	2	5	0,92
RRU3.1	1+1	012	Tipo	2	5	0,92
RRU3.2	1+1	013	Tipo	2	5	0,92
RRU3.3	1+1	014	Tipo	2	5	0,92
RRU3.4	1+1	015	Tipo	2	5	0,92
BTS4	1+1	016	Tipo	2	5	0,92
RRU4.1	1+1	017	Tipo	2	5	0,92
BTS5	1+1	018	Tipo	2	5	1,35

Tabla 18. Caracterización de cada Emplazamiento

El uso de una controladora de estaciones base está justificado por las propias especificaciones de estos equipos que permiten el control y servicio a un número de estaciones base y/o transmisores, por encima de las necesarias en el presente proyecto.

Las capacidades mínimas de la BSC serán:

- 500 transmisores.
- 250 celdas.
- 200 estaciones base.
- 32 TRAU.
- 72 líneas PCM.
- 3.200 Erlang.

7.1.3.2.2. SUPUESTOS DE PARTIDA

Para calcular el nº de E1's necesarios para la conexión BTS-BSC se considerará lo siguiente:

- La trama de transmisión de referencia es la trama E1 o PCM (Pulse Code Modulation) de 2 Mbps, formada por 32 canales de capacidad 64 kbps,

numerados del 0 al 31. De estos, el 0 se emplea para sincronización y el 15 para señalización y control, por lo que la trama dispone de un total de 30 canales de 64 kbps para cursar tráfico de voz y datos.

- Cada portadora radio en la interfaz aire Um consta de 8 time slots, asignados tanto a canales de tráfico como de señalización.
- Cada portadora radio ocupa 2 slots de la trama E1.
- Cada BTS requiere además de un canal de señalización LAPD para su comunicación con la BSC con una capacidad mínima en función del número de TRX del que dispone la BTS, por lo que se reservará un canal de señalización de 64 kbps para cada BTS/RRU. Se reservará un canal de señalización de 64 kbps para cada BTS al disponer de una red de transmisión propia a la que se puede dimensionar de forma flexible.
- Asimismo, en el caso de usarse una solución de transmisión en anillo se utilizará un time slot de 16 kbps para la señalización del anillo.
- La configuración radio de los emplazamientos de BTS/RRU es del tipo 1+1, es decir, en todos ellos existe 1 TRX de reserva que se activará en caso de fallo del principal o de la BTS/RRU vecina.
- Algunos fabricantes recomiendan reservar espacio en la interfaz Abis tanto para los TRX activos como para el de reserva.

7.1.3.2.3. DIMENSIONAMIENTO

En el tramo objeto del proyecto serán instaladas cinco estaciones base transceptoras distribuidas (BTS) y trece cabezas remotas (RRU) que proporcionarán la cobertura necesaria para el correcto funcionamiento de los servicios requeridos.

Tomando en cuenta las premisas de partida, por cada BTS/RRU del sistema se deberá reservar un número de 5 slots de trama PCM (64 kbps) en la interfaz Abis, por lo tanto, se podrán incluir hasta 6 TRX por anillo lógico.

La siguiente tabla muestra la agrupación de BTS por anillos lógicos:

BTS	CONF. TRX	SUBANILLO	TX. ACTIVOS
BTS1	1+1	A	5
RRU1.1	1+1		
RRU1.2	1+1		
RRU1.3	1+1		
RRU1.4	1+1		
BTS2	1+1	B	5
RRU2.1	1+1		
RRU2.2	1+1		
RRU2.3	1+1		
RRU2.4	1+1		
BTS3	1+1	C	5
RRU3.1	1+1		

BTS	CONF. TRX	SUBANILLO	TX. ACTIVOS
RRU3.2	1+1		
RRU3.3	1+1		
RRU3.4	1+1		
BTS4	1+1	D	3
RRU4.1	1+1		
BTS5	1+1		

Tabla 19. Distribución de las BTSs en subanillos lógicos

7.1.3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERFAZ BSC-TRAU (ASUB)

7.1.3.3.1. ANTECEDENTES

La interfaz Asub contempla el tráfico cursado entre la controladora de estaciones base y la unidad de transcodificación y adaptación de velocidades, y se efectúa sobre enlaces PCM30 con subdivisión de los slots de tiempo 1:4. Según esto, la interfaz Asub puede transportar hasta 120 canales de 16 kbps cada uno. Esta interfaz se implementa mediante enlaces E1 (2 Mbps) dimensionados en base a estos circuitos.

7.1.3.3.2. SUPUESTOS DE PARTIDA

Para estimar el tráfico total de una capa, consideraremos el número de estaciones base y unidades remotas que han resultado de la planificación radioeléctrica. Se aplica la fórmula de la Erlang-B (con probabilidad de bloqueo en la interfaz BSC - MSC de 0,1%) y se obtiene el número de canales necesarios de 16 kbps para poder cursar el tráfico con una probabilidad de bloqueo del 0,1%.

Se considerarán, por tanto, las siguientes condiciones:

- La circulación máxima de trenes en la hora punta de circulación de la línea Palencia-León es de 8 trenes.
- Se reservarán 8 canales para canales ETCS.
- Es imprescindible un canal de señalización LAPD de 64 kbps para el control de la Unidad Transcodificadora (TRAU).
- Para las llamadas punto a multipunto, se estima el tráfico para una celda tipo y se suponen dos celdas activas al mismo tiempo en toda la línea con esta carga de esta tipología de tráfico.
- Es crucial un canal de 64 kbps para Operación y Mantenimiento del sistema radio a través de una conexión NUC entre la BSC y la TRAU. A pesar de que se emplee una red LAN para la señalización de BSS, se reserva este canal por si se utilizara.
- Es necesario un canal de señalización CCSS7 (Common Channel Signalling System #7) para la señalización GSM, para la conexión de la BSC con la MSC a través de la TRAU y, además, se necesita un canal adicional CCSS7 para cursar el tráfico que corresponde a los servicios de localización.

En las siguientes tablas se resume el tráfico generado en la hora cargada:

LLAMADAS PUNTO A PUNTO					
ORIGEN	CANALES ACTIVOS POR CELDA	TIPO DE LLAMADA	LLAMADAS ENTRANTES EN H.C. EN CELDA	DURACIÓN MEDIA DE LA LLAMADA (SEGUNDOS)	TRÁFICO EN ERLANG EN H.C. POR CELDA
Radio cabina (Terminal embarcado)	8	Puesto de mando	2	60	0,26
	8	Terminales de Personal de Estación/Seguridad	2	60	0,26
	8	Llamadas de Emergencia	0,042	45	0,00
Terminal mantenimiento (OPH)	3	Llamadas a otro Terminal	2	120	0,2
	3	Llamadas de Emergencia	0,042	45	0,00
Puesto de Mando	4	Llamadas entrantes de Puesto de Mando	2	30	0,07
Llamadas de Telefonía Fija con destino Usuario GSM-R en celda	1	Llamadas entrantes Telefonía Fija	2	120	0,07
SUBTOTAL					0,86

Tabla 20. Estimación de Tráfico para llamadas punto a punto en la línea

LLAMADAS PUNTO A MULTIPUNTO					
ORIGEN	CANALES ACTIVOS POR CELDA	TIPO DE LLAMADA	LLAMADAS ENTRANTES EN H.C. EN CELDA	DURACIÓN MEDIA DE LA LLAMADA (SEGUNDOS)	TRÁFICO EN ERLANG EN H.C. POR CELDA
Terminales Portátiles de Personal de Estación (GPH)	3	Llamadas Grupo o Difusión	1	30	0,03
Terminales Portátiles de Personal de Seguridad (GPH)	3	Llamadas Grupo o Difusión	1	45	0,04

LLAMADAS PUNTO A MULTIPUNTO					
ORIGEN	CANALES ACTIVOS POR CELDA	TIPO DE LLAMADA	LLAMADAS ENTRANTES EN H.C. EN CELDA	DURACIÓN MEDIA DE LA LLAMADA (SEGUNDOS)	TRÁFICO EN ERLANG EN H.C. POR CELDA
Terminales de Personal de Mantenimiento (OPH)	3	Llamadas Grupo o Difusión	1	30	0,03
Puesto de Mando	1	Llamadas Grupo o Difusión	2	30	0,02
SUBTOTAL					0,12

Tabla 21. Estimación de Tráfico para llamadas punto a multipunto en la línea

7.1.3.3.3. DIMENSIONAMIENTO

Así, y a partir de los datos de tráfico, se calculan los canales de 16 kbps y 64 kbps necesarios para obtener el número entero de slots de 64 kbps de la trama PCM y finalmente, considerando que una trama PCM dispone de 30 canales de 64 kbps, el número total de enlaces E1 requeridos para el interfaz Asub.

Para tráfico de voz y datos no ETCS se obtiene 0,98 E para toda la línea asumiendo una probabilidad de bloqueo de 0,1% necesitándose un mínimo de 6 canales de 16 kbps (sumando a ello un margen de seguridad de dos canales para tráfico de maniobras), se obtienen los siguientes resultados:

NECESIDADES DE TRÁFICO ASUB	CANALES
Canales de llamadas de voz y datos	8 canales de 16 kbps
Canales ETCS	8 canales de 16 kbps
LAPD (64 kbps)	1 de 64 kbps
NUC O&M (64 kbps)	1 de 64 kbps
CCSS7 (64 kbps)	2 de 64 kbps
TOTAL 1 (canales de 16 kbps)	16
TOTAL 2 (canales de 64 kbps)	4
TOTAL 1+2 (canales de 64 kbps)	8
Nº de E1s	1

Tabla 22. Dimensionamiento Interfaz Asub

Se necesitará 1 enlace E1 para cubrir la línea de estudio.

7.1.3.4. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERFAZ TRAU-MS (A)

7.1.3.4.1. ANTECEDENTES

Los emplazamientos del presente proyecto se corresponden a la capa A, la BSC y la TRAU en Chamartín, junto con la MSC ubicada en Zaragoza, por tanto, necesitará usar una red de transmisión como soporte, que queda fuera del

alcance del presente proyecto así como lo anteriormente indicado. La función de la TRAU es adaptar los canales de 16 kbps a canales de 64 kbps, independientemente de la información transmitida.

7.1.3.4.2. SUPUESTOS DE PARTIDA

Se consideran por tanto las mismas asunciones que en el apartado anterior con excepción de los siguientes puntos:

- No es necesario el canal LAPD reservado en la interfaz Asub, ya que este se emplea para el control de la TRAU por parte de la BSC.
- Todos los canales serán de una capacidad de 64 kbps.

7.1.3.4.3. DIMENSIONAMIENTO

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se obtiene el tráfico que deberá cursar este enlace y, a partir de este tráfico, el número de slots del E1 y E1s tal como se muestra en la siguiente tabla:

NECESIDADES DE TRÁFICO A	CANALES
Canales de llamadas de voz y datos	8 canales de 64 kbps
Canales ETCS	8 canales de 64 kbps
NUC O&M (64 kbps)	1 de 64 kbps
CCSS7 (64 kbps)	2 de 64 kbps
TOTAL (canales de 64 kbps)	19
Nº de E1s	1

Tabla 23. Dimensionamiento Interfaz A

Se necesitará 1 enlace E1.

7.1.4. DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN

La capa A que proporciona cobertura radio a la red GSM-R ubica su central de conmutación en la estación de Zaragoza–Delicias. Este apartado queda fuera del alcance del TFG, pero se explicarán los diferentes enlaces que serían también necesarios para el despliegue del proyecto.

7.1.4.1. DIMENSIONAMIENTO DE INTERFACES

7.1.4.1.1. ENLACES IN - MSC

Se considerarán los dos enlaces entre la central de conmutación y la red inteligente previstos para las líneas GSM-R existentes y que estos enlaces disponen de capacidad suficiente para soportar los canales de las nuevas líneas. Por ello, no se considerará ninguna ampliación de enlaces entre la central de conmutación y la red inteligente.

7.1.4.1.2. ENLACES SMSC / VMS - MSC

La plataforma SMSC/VMS integra los servicios de mensajes cortos y de buzón de voz. El centro de mensajes cortos, SMSC, posibilita el envío y recepción de mensajes de texto y estará conectado al MSC/VLR a través de enlaces CCS7. Este

servicio se puede utilizar para enviar mensajes cortos de notificación, usados en las operaciones ferroviarias, sin necesidad de ocupar canales de radio.

Un usuario móvil no debe perder ninguna llamada mientras está ocupado y debe ser capaz de dejar mensajes de desvío de llamada a un dispositivo de almacenamiento, VMS, para ser entregada en cuanto el abonado esté de nuevo disponible.

Es necesario un enlace PCM30 que conecte la plataforma SMS/VMS y cada central de conmutación. En la actualidad, existe un buzón de voz y centro de mensajes cortos y un enlace SMSC/VMS - MSC previsto para las líneas GSM-R existentes y, al disponer estos enlaces de capacidad suficiente para soportar los canales de las nuevas líneas, no se considerará ninguna ampliación de interfaces.

7.1.4.1.3. ENLACES MONITORING CENTER - MSC

El centro de monitorización permite la supervisión de las conexiones telefónicas de un determinado abonado móvil dentro de una red GSM. Por lo que respecta a la red GSM-R, la utilización del centro de monitorización registrará y/o grabará las llamadas entre usuarios GSM-R que previamente se seleccionen en el centro de operación y mantenimiento.

Debido a la existencia de un centro de monitorización conectado a las centrales de conmutación a través de un enlace PCM30, se utilizaría dicho dispositivo, siendo necesario la ampliación de un PCM30 por central de conmutación.

7.1.4.1.4. ENLACES PABX - MSC

La plataforma de localización permite al operador ofrecer servicios basados en la localización de usuarios. El tráfico correspondiente a los servicios de localización entre la central de conmutación y la controladora de estaciones base se encuentra en los correspondientes enlaces SS7 que han sido tenidos en cuenta a la hora de dimensionar los interfaces Asub y Abis. Se necesita integrar en este sistema el subsistema BSS del tramo objeto.

7.1.4.1.5. ENLACES PLMN - MSC

Una red PLMN está conectada mediante un Gateway MSC (GMSC) a una central de conmutación nacional para su conexión con otras redes públicas de telefonía. De acuerdo con el requerimiento de que la red GSM-R tenga acceso a otras redes de telecomunicaciones móviles, es necesario que exista una salida exterior a una central de conmutación Gateway PSTN nacional. Para este caso se podrían usar los PCM30 ya dimensionados en la MSC de Zaragoza.

7.1.5. ENLACES ASOCIADOS AL SISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Este sistema es el encargado de la gestión y el control de los recursos y servicios de la red. De la misma forma, se detallarán los distintos elementos que serían también imprescindibles para el despliegue del proyecto quedando fuera del alcance de este TFG.

7.1.5.1. SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN

Cada central de conmutación se encuentra conectada a los centros de operación y mantenimiento correspondiente mediante dos enlaces 100 BaseT con TCP/IP. Se dispone de un terminal local que permite la operación y el mantenimiento en modo local de la MSC, EIR, AC, VLR y GCR. Todo este equipamiento asociado a cada central de conmutación ya existe en Zaragoza - Delicias.

7.1.5.2. SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE

La operación y mantenimiento del subsistema BSS se realizaría a través del sistema OMC-R existente. La conexión hacia las controladoras de estaciones base se efectuaría bien a través de una conexión IP, por lo que se requieren 2 enlaces TCP/IP Ethernet 10/100 BaseT por BSC, en una Red LAN dedicada, o a través de una conexión NUC en un canal dedicado entre la BSC y la TRAU.

Es posible llevar a cabo peticiones desde el servidor a cualquier elemento del subsistema BSS para que reporte el estado del mismo, o en caso de que exista un fallo, automáticamente se reporte al servidor la información. Se requerirían dos clientes conectados al servidor.

Con esta arquitectura se necesitará un cliente conectado al servidor para gestionar el sistema radio por cada nuevo tramo. Esta arquitectura cliente - servidor requiere enlaces Ethernet 10/100 BaseT entre cada uno de los clientes con su correspondiente servidor.

7.1.5.3. RED IN

La conexión entre los equipos de red inteligente y su sistema de operaciones y mantenimiento se realiza mediante una extensión de Red LAN (Ethernet 100 Mbps). Se utilizaría la infraestructura existente.

8. SISTEMA DE COMUNICACIONES FIJAS

En el siguiente apartado, se describen los requisitos que habrá de proporcionar la Red de Telecomunicaciones Fijas en los tramos que conforman el proyecto, prestando soporte y servicios de comunicaciones a la operación, gestión, mantenimiento y administración de la línea.

La siguiente tabla resume los niveles en los que se ha dividido la estructura de la red:

NIVEL	DESCRIPCIÓN
Físico	Basado en los cables de fibra óptica que transportarán la información precisa para los niveles superiores, proporcionando conectividad, extremo a extremo entre localizaciones. Se incluye el cableado estructurado necesario en el interior de edificios y demás dependencias técnicas para el acceso de los diferentes equipos a las redes de comunicaciones.
Transmisión	Formado por las redes que soportarán las comunicaciones de interconexión entre los distintos centros de las líneas y dará el soporte de transmisión para redes de conmutación de circuitos o de paquetes, tanto internas como externas a telecomunicaciones fijas con las que se interconecta (red IP, compuesta por anillos de gran capacidad).
Servicios	Proporciona servicios finales o comunicaciones específicas para los diferentes sistemas de explotación de la línea apoyándose en el nivel de transmisión (IP y GbEth). Dentro de este nivel se distinguen fundamentalmente los siguientes servicios: <ul style="list-style-type: none">• Servicios de Transmisión Síncronos.• Generación de enlaces punto a punto entre los diferentes equipos de la red GSM-R.• Servicio a la conexión BSC, MSC y a los switches de gestión de GSM-R. El switch de la BTS (que proporciona servicios de la gestión remota del equipamiento) va conectado al equipamiento IP (puerto ethernet eléctrico), de forma que puede transmitir las alarmas hacia el equipamiento central.

Tabla 24. Niveles de la arquitectura de red

En la siguiente ilustración se muestran las relaciones existentes entre los niveles descritos anteriormente:

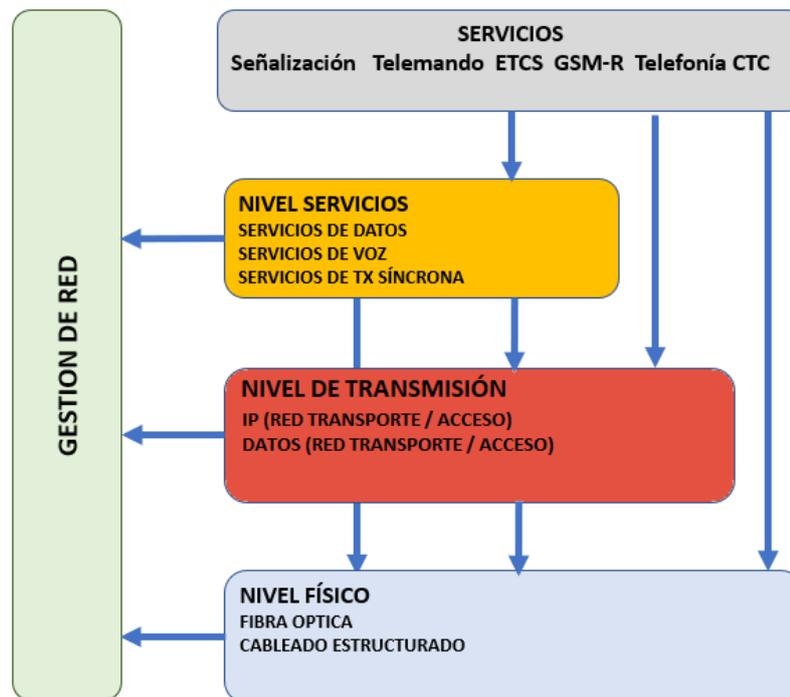


Ilustración 9. Arquitectura de red

8.1. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES FIJAS

Los principales requisitos de la red serán:

- Proveerá de los servicios de voz y datos necesarios a los distintos emplazamientos.
- Utilizará fibra óptica como medio de transmisión, que a su vez es proporcionada por la infraestructura de cables de fibra que se instalarían en el mismo tramo.
- Proporcionará enlaces tipo E1 entre las Estaciones Base GSM-R (BTS) de un mismo anillo y las Estaciones Base Controladoras (BSC). También, será capaz de llevar el tráfico de la interfaz Abis entre las distintas BTSs (o módulos de sistemas al ser un modelo de BTSs distribuidas) a través de IP en lo que se conoce como el Abis sobre IP.
- Suministrará servicios redundantes de forma que, ante un fallo en un punto cualquiera de la red de fibra óptica, los servicios serán reencaminados por una ruta alternativa con incidencia mínima sobre dichos servicios.
- Deberá ser escalable para soportar en el futuro nuevos servicios.

Para el cumplimiento de los anteriores requisitos se definirá lo siguiente:

- Dimensionamiento de la red para la provisión de los servicios correspondientes.
- Dimensionamiento e instalación de equipos correspondientes a la red IP Multiservicio (IPMM).
- Dimensionamiento y diseño del transporte IP de forma que se pueda asegurar los servicios de voz y datos proporcionados por el sistema GSM-R.

8.2. RED IP MULTISERVICIO

La red IP Multiservicio (IPMM) cumplirá los siguientes requisitos:

- Se debería integrar con la red que haya actualmente siendo el equipamiento desplegado compatible con los anillos y gestores existentes.
- El equipamiento que se desplegaría deberá soportar los protocolos Syncce y 1588v2 de modo que soporten Abis sobre IP.
- Proporcionará transporte a los siguientes servicios:
 - Gestión de alarmas.
 - Sistema de energía.
 - Gestión de repetidores (no se hace uso de ellos en este proyecto).
 - Comunicaciones entre BTSs (o módulos de sistemas al ser un modelo de BTSs distribuidas) en caso de tráfico Abis sobre IP.

Las actuaciones referentes a la red IPMM se llevarán a cabo en los siguientes tipos de emplazamientos:

- Cuartos de comunicaciones y apeaderos.
- Enclavamientos.
- Centros de transformación.
- Subestaciones eléctricas.
- Pasos a nivel.
- Estaciones base GSM-R (BTS).
- Cabezas remotas GSM-R (RRU).

En cada una de las instalaciones anteriormente citadas se ubicarán equipos de comunicaciones en función de los servicios presentes en las mismas. Para la distribución de estos se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Todos los cuartos de comunicaciones irán equipados con dos nodos IP N3 y dos nodos IP N4-L2.
- Serán existentes en los cuartos de comunicaciones de Palencia y León dos nodos IP N2 por estación.
- En apeaderos donde hubiera sala técnica, se instalaría un nodo IP N4-L2 y, en aquellos donde no sea necesaria una sala o directamente no exista, se colocará un nodo IP N4-L2 Industrial en armario de intemperie.
- Los centros de transformación irán equipados con un nodo IP N4-L2 Industrial, al igual que los pasos a nivel.
- En subestaciones eléctricas a las que haya que dar servicio, se instalarán dos nodos IP N4-MPLS y dos nodos IP N4-L2.
- Los siguientes tipos de ubicaciones estarán equipados con:
 - Estaciones base GSM-R: dos nodos IP N4-MPLS y dos nodos IP N4-L2.
 - Cabezas remotas GSM-R: un nodo IP N4-L2 Industrial.
- Si el enclavamiento se encuentra en un cuarto externo al cuarto de comunicaciones, pero próximo a su vez a no menos de 70 metros aproximadamente, irá equipado con dos nodos IP N4-L2. En el caso de que fuera

un enclavamiento aislado, es decir, se encuentre alejado de un cuarto de comunicaciones, se instalarán además dos nodos IP N4-MPLS.

- Se proporcionarán los adaptadores SFP, pigtail, latiguillos, cableado, etc. correspondientes en función de las necesidades de interconexión y de las distancias entre ubicaciones.

8.2.1. ARQUITECTURA

La red consistirá en subanillos de nodos IP N4 establecidos entre nodos IP N3 localizados en las ubicaciones referenciadas en el apartado anterior y estos a su vez a los nodos IP N2 de León y Palencia que se conectarían a la red multiservicio de ADIF [9] para su conexión con la BSC-MSC. La red IPMM integrará equipos conectados a la nueva fibra óptica troncal de 96 que se desplegaría.

8.2.2. EQUIPAMIENTO

La siguiente tabla resume el equipamiento relativo a la red IPMM que se desplegaría por ubicación (al no disponer de información sobre Centros de Transformación, Pasos a Nivel, Subestaciones Eléctricas y Enclavamientos en el tramo de estudio, se ha tomado una solución tipo):

TIPO DE EMPLAZAMIENTO	NOMBRE	NODO IP N2	NODO IP N3	NODO IP N4-MPLS	NODO IP N4-L2	Nodo IP N4-L2 INDUSTRIAL	REPARTIDOR ÓPTICO
Cuarto de comunicaciones	Palencia	2*	2		2		Armario repartidor para 192 fibras y 128 bandejas* Repartidor óptico mural y panel de 5U para 120 fibras*
Cuarto de comunicaciones	Becerril		2		2		Armario repartidor para 192 fibras y 128 bandejas* Repartidor óptico mural y panel de 5U para 120 fibras*
Cuarto de comunicaciones	Paredes de Nava		2		2		Armario repartidor para 192 fibras y 128 bandejas* Repartidor óptico mural y panel de 5U para 120 fibras*
Cuarto de comunicaciones	Villada		2		2		Armario repartidor para 192 fibras y 128 bandejas*

TIPO DE EMPLAZAMIENTO	NOMBRE	NODO IP N2	NODO IP N3	NODO IP N4-MPLS	NODO IP N4-L2	Nodo IP N4-L2 INDUSTRIAL	REPARTDOR ÓPTICO
							Repartidor óptico mural y panel de 5U para 120 fibras*
Cuarto de comunicaciones	Sahagún		2		2		Armario repartidor para 192 fibras y 128 bandejas* Repartidor óptico mural y panel de 5U para 120 fibras*
Cuarto de comunicaciones	Santas Martas		2		2		Armario repartidor para 192 fibras y 128 bandejas* Repartidor óptico mural y panel de 5U para 120 fibras*
Cuarto de comunicaciones	León	2*	2		2		Armario repartidor para 192 fibras y 128 bandejas* Repartidor óptico mural y panel de 5U para 120 fibras*
Apeadero	Grijota				1*	1*	Repartidor óptico mural y panel de 1U para 24 fibras* Panel de 1U para 24 fibras*
Apeadero	Cisneros				1*	1*	Repartidor óptico mural y panel de 1U para 24 fibras* Panel de 1U para 24 fibras*
Apeadero	Grajal				1*	1*	Repartidor óptico mural y panel de 1U para 24 fibras* Panel de 1U para 24 fibras*
Apeadero	El Burgo-Raneros				1*	1*	Repartidor óptico mural y panel de 1U para 24 fibras*

TIPO DE EMPLAZAMIENTO	NOMBRE	NODO IP N2	NODO IP N3	NODO IP N4-MPLS	NODO IP N4-L2	Nodo IP N4-L2 INDUSTRIAL	REPARTIDOR ÓPTICO
							Panel de 1U para 24 fibras*
Apeadero	Palanquinos				1*	1*	Repartidor óptico mural y panel de 1U para 24 fibras* Panel de 1U para 24 fibras*
Enclavamiento				2*	2		Repartidor óptico mural y panel de 3U para 72 fibras.
Subestación				2	2		Repartidor óptico mural y panel de 5U para 120 fibras.
Estaciones Base GSM-R				2	2		Armario repartidor para 192 fibras y 128 bandejas.
Cabezas Remotas GSM-R						1	Panel de 3U para 72 fibras.
Centros de Transformación						1	Repartidor óptico mural y panel de 1U para 24 fibras.
Pasos a Nivel						1	Panel de 1U para 24 fibras.

Tabla 25. Equipamiento de la red IPMM por ubicación

Observaciones

- **Cuarto de comunicaciones:** según la importancia que tenga o el servicio que ofrezcan a otras estaciones, se instalará un armario repartidor óptico (lo más común) o un repartidor mural con 5 bandejas. Los nodos IP-N2 instalados serán existentes para este proyecto.
- **Apeaderos:** si se ubica únicamente un armario de intemperie, se colocará una bandeja dentro de dicho armario y un nodo N4-L2 Industrial y, si existe una sala en el apeadero, se instalará un repartidor mural con la respectiva bandeja y un nodo N4-L2.
- **Enclavamientos:** explicado anteriormente.

Debido a que se trata de un proyecto ficticio, no se ha realizado el pertinente replanteo de los emplazamientos, cuartos técnicos y resto de edificaciones y elementos descritos, por ello, se ha tomado una solución tipo y general como se ha comentado anteriormente, la cual es válida en la mayoría de los casos salvo excepciones puntuales.

8.3. RED DE ACCESO PARA GSM-R

La red se estructurará en un anillo físico que incluirá a todos los emplazamientos distribuidos a lo largo del tramo objeto del proyecto (BTSs y cuartos técnicos). A su vez, se definirán una serie de anillos lógicos (cada uno de ellos con un enlace E1 asignado) sobre los cuales se recogen los servicios de telecomunicaciones proporcionados a las BTS de estas áreas. Según el dimensionamiento expresado en el Estudio de Tráfico, cada anillo lógico no incluirá más de 6 BTSs.

La topología en anillo seleccionada posibilitará:

- Equilibrio entre seguridad en la conexión BTS-BSC y coste de implementación de la transmisión.
- Compartición de la interfaz Abis por todos los emplazamientos.
- Uso óptimo de los enlaces PCM30.

Los servicios de telecomunicaciones proporcionados a nivel de enlace son principalmente enlaces tipo E1 (2 Mbps) que se establecen entre los equipos de transmisión instalados en las BTS y la BSC. En los extremos de los anillos de acceso, que coinciden con nodos de transporte, se extraerá el tráfico de la red de acceso, encaminando el tráfico de circuitos E1 hacia la red de transporte IP.

8.3.1. EQUIPAMIENTO DE LA RED DE ACCESO

Los equipos de transmisión IP se ubicarán en los emplazamientos de GSM-R en los que se instalan las BTS, RRU y locales técnicos que no son elementos terminales del anillo físico de fibra óptica. Dichos equipos cumplirán los siguientes requisitos:

- Dispondrán de dos interfaces ópticos para cada sentido del anillo.
- Dispondrán de las interfaces IP Ethernet necesarias.

La “conexión” entre la red y los emplazamientos se llevará a cabo a través de un repartidor de fibra óptica (ODF) ubicado en el interior de las casetas y cuartos de comunicaciones, desde el cual se derivarán los latiguillos de fibra de dichos ODF a los nodos IP correspondientes. A estos equipos se derivarán dos pares de fibras ópticas.

Para la conexión entre las BTS con sus unidades remotas, se dotará del correspondiente tendido de fibra óptica constituido por los elementos necesarios.

8.3.2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS DE LA RED DE ACCESO

El alcance de los trabajos a realizar para proporcionar la conexión de la red de transporte IP para el proyecto GSM-R sería:

- Suministro e instalación del equipamiento IP en las ubicaciones objeto del proyecto.

- Conexión del equipamiento IP a la alimentación eléctrica, red de tierra y sistema de fibra óptica.
- Integración de los nodos IP en el actual sistema de gestión.
- Configuración de las necesidades de transporte E1 de las estaciones base del proyecto GSM-R.
- Pruebas.

8.3.3. CRITERIOS DE PROTECCIÓN Y REDUNDANCIA

Los criterios de protección se enfocarán en las siguientes áreas:

- Equipo.
- Red.
- Arquitectura.

8.3.3.1. PROTECCIÓN DE EQUIPO

Desde el punto de vista de los equipos IP, será necesario redundar aquellos módulos cuyo fallo simple produzca la caída del nodo con el fin de mejorar la disponibilidad del servicio y proporcionar resistencia ante fallos simples. Para ello, los equipos dispondrán de redundancia 1+1 en los módulos críticos fundamentales para su funcionamiento.

8.3.3.2. PROTECCIÓN DE RED

Se utilizará una topología típica en anillos de las redes IP para conformar la protección de circuitos. De esta forma, las señales se transmitirán por dos caminos diferentes para prevenir el fallo de la transmisión de uno de ellos.

El mecanismo de este tipo de protección consiste básicamente en la transmisión hacia las dos direcciones del anillo y la elección en la recepción de una de las dos señales que se reciben.

8.3.3.3. PROTECCIÓN DE ARQUITECTURA

Las estaciones base se conectarán a la BSC correspondiente a través de la red troncal. Desde esa BSC se reserva capacidad suficiente para alojar el tráfico entre esta y la TRAU, para así, desde la TRAU hasta la MSC, establecer el último enlace necesario para la comunicación.

8.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL SUBSISTEMA RADIO

En la *Ilustración 2* se muestran las interfaces implicadas en el subsistema radio que es necesario dimensionar. A continuación, se detallarán cada una de ellas:

8.4.1. INTERFAZ AIRE MSS - BTS (INTERFAZ UM)

La interfaz aire (Um) define la comunicación entre las BTS y los terminales móviles. El dimensionamiento de esta interfaz se puede encontrar descrito en el Estudio de Tráfico donde se determina la cantidad de canales de tráfico que se requieren para alcanzar una determinada calidad de servicio para una determinada cantidad de abonados en las áreas cubiertas, en base a un modelo de tráfico.

8.4.2. INTERFAZ BTS - BSC (INTERFAZ ABIS)

Para la conexión BTS-BSC se escogerá una estructura en anillo consistente en varias BTS conectadas a un mismo enlace PCM30. Cada uno de estos, transporta el denominado interfaz Abis del sistema GSM-R. Estos enlaces tienen origen y fin en las controladoras de estaciones base (BSC), que junto con la TRAU forma parte del subsistema de estaciones base (BSS).

Ante el posible fallo de un enlace entre dos BTS, o entre la BSC y una BTS, la comunicación se seguirá cursando por el otro lado del anillo.

Por tanto, la red IP instalada soportará Abis sobre IP y las conexiones entre BTS-BSC y BSC-TRAU.

8.4.3. INTERFAZ BSC - TRAU (INTERFAZ ASUB)

La interfaz Asub soporta la transmisión de tráfico entre la BSC y la TRAU. La BSC concentra el tráfico de las estaciones base y lo encamina hacia la MSC. La TRAU se ubica en la misma sala, por lo que se conectarían ambas entidades mediante cables coaxiales.

Para el dimensionamiento de esta interfaz se considera el tráfico total ofrecido al sistema y de acuerdo con los cálculos llevados a cabo en el correspondiente Estudio de Tráfico será necesario 1 E1.

8.4.4. INTERFAZ TRAU - MSC (INTERFAZ A)

La interfaz A soporta la transmisión de tráfico entre la TRAU y la MSC. La TRAU transforma las señales de 16 kbit/s en señales de 64 kbit/s independientemente de la información transmitida. Los canales de 16 kbps del interfaz Asub se convierten en canales de 64 kbps en la interfaz A, mientras que los canales de 64 kbps del interfaz Asub se mantienen transparentes en el interfaz A.

De igual forma, para el dimensionamiento de esta interfaz se considera el tráfico total ofrecido al sistema y según los cálculos del correspondiente Estudio de Tráfico será necesario 1 E1.

8.4.5. INTERFAZ BTS (MS) - RRU

Como ya se explicó anteriormente en el apartado 3.5. Topología de la Red, la solución del presente proyecto se basa en el uso de BTS distribuidas o georedundadas, mediante Unidades Radio Remotas o cabezas remotas (RRU) y módulos de control de BTS distribuida o Módulo de Sistema (MS). En la *Ilustración 3* de dicho apartado se puede ver la arquitectura descrita.

Los emplazamientos con Módulo de Sistema (MS) se instalarán en casetas GSM-R (BTS) y se considerará una estructura en cadena con la instalación de las RRU en el interior de armarios de intemperie.

8.5. RED DE ACCESO SISTEMAS DE SUPERVISIÓN

Los sistemas de supervisión y/o gestión existentes en cada uno de los emplazamientos se conectarán vía TCP/IP al switch de datos que irá instalado en la caseta GSM-R de las estaciones base o en armarios de intemperie de las unidades remotas.

8.6. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL SUBSISTEMA DE RED Y CONMUTACIÓN

En este punto se explicarán los diferentes enlaces para comunicar la MSC con cada uno de los elementos a los que está conectada. El contratista, una vez seleccionados los equipos a desplegar, llevará a cabo el correspondiente análisis de capacidad de los elementos implicados con el fin de llevar a cabo la configuración y optimización correspondiente.

A continuación, se muestran las interfaces del sistema de conmutación:

INTERFAZ	DESCRIPCIÓN
MSC - IN	Se determina que únicamente es necesario un canal de señalización entre estos. Se añade otro CCS7 para tener redundancia y así, para respetar también la redundancia de enlaces físicos, es preciso utilizar dos líneas PCM30 entre la central de conmutación y la red inteligente.
MSC - SMSC/VMS	El objeto del centro de mensajes cortos, SMSC, es ofrecer en las redes móviles la posibilidad de enviar y recibir mensajes de texto. El objeto del VMS es permitir que el usuario móvil no pierda ninguna llamada mientras está ocupado.
MSC - CENTRO DE MONITORIZACIÓN	El centro de monitorización permite la supervisión de las conexiones telefónicas de un determinado abonado móvil dentro de la red GSM-R.
MSC - PABX	Sirve de frontera entre las comunicaciones móviles y las fijas.
MSC - RED PÚBLICA CONMUTADA	En general, cualquier red PLMN está interconectada mediante un "Gateway MSC" (GMSC) a una central de conmutación nacional, como punto de interconexión con otras redes públicas de telefonía.

Tabla 26. Dimensionamiento de las interfaces de la MSC

8.7. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL SUBSISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El sistema de Operación y Mantenimiento (OMS) permitirá realizar la gestión integral del sistema GSM-R.

8.7.1. SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN

La MSC está conectada al centro de operación y mantenimiento (OMC) mediante enlaces 100BaseT con TCP/IP.

8.7.2. SUBSISTEMA IN

La conexión entre los equipos de red inteligente (IN) y su OMS se realiza mediante una extensión de Red LAN (Ethernet 100Mbps).

8.7.3. SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE

La operación y mantenimiento del sistema radio se llevará a cabo a través de una estructura cliente/servidor. La comunicación se realizará a través del switch de la red multiservicios de la caseta GSM-R haciendo posible:

- La consulta desde el servidor a cualquier elemento del subsistema de estaciones base para que reporte el estado del mismo.
- El reporte de fallos de forma automática al servidor cuando estos se produzcan.

En el presente proyecto se incluirían dos clientes, que conectados al servidor podrían gestionar el sistema radio asociado a cada tramo (conexiones del tipo Ethernet 10/100 BaseT).

8.7.4. SUBSISTEMA DE ENERGÍA

El sistema de rectificadores de la caseta de GSM-R transmitirá sus alarmas a un gestor central (arquitectura cliente/servidor) a través del switch de la red multiservicios de dicha caseta. En el presente proyecto se incluirían dos terminales cliente para la gestión del subsistema de energía.

8.7.5. SUBSISTEMA DE PANELES DE ALARMAS

Los paneles de alarmas de las casetas de GSM-R transmitirán de igual forma sus alarmas a un gestor central (arquitectura cliente/servidor) a través del switch de la red multiservicios de dicha caseta. En el presente proyecto se incluirían dos terminales cliente para la gestión del subsistema de paneles de alarma.

9. SUMINISTRO DE ENERGÍA

Se describirá el sistema de suministro eléctrico para las instalaciones de GSM-R cuyo principal objetivo es alimentar los equipos de Telecomunicaciones Móviles, con la energía suficiente para su óptimo funcionamiento dentro del tipo, tolerancia y permisividad a interrupciones que se necesite en cada caso.

Así mismo, el sistema de energía protege frente a elevaciones bruscas de tensión y perturbaciones a los equipos instalados.

Se prevé la instalación de transformadores de potencia y un Sistema de Alimentación Ininterrumpida, adicionalmente a una acometida doble en algunos casos de BTS en estaciones, para asegurar un suministro continuado de corriente a los equipos que así lo requieren.

9.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

Se ha buscado una solución al suministro eléctrico a la altura de las exigencias de seguridad, fiabilidad, continuidad y de potencia exigido para las instalaciones de GSM-R.

Para el suministro de energía a los emplazamientos de GSM-R se debería instalar un transformador reductor por emplazamiento que tomará la energía de una única línea de 2200V monofásica a lo largo de la línea por canalización paralela a la vía. En los emplazamientos con estaciones habrá una acometida doble con la conmutada entre 2200 Vac y la energía local de la estación.

Los consumidores pueden clasificarse en función del valor de la tensión de trabajo de los equipos y de la posibilidad de permitir interrupciones breves en el suministro eléctrico o no:

- Consumidores de corriente alterna 230 V libre de interrupciones.
- Consumidores de corriente alterna 230 V no libre de interrupciones.
- Consumidores de corriente continua.

El suministro de energía se garantiza mediante los siguientes sistemas:

- Alimentación desde centros de transformación reductores.
- Acometida local de la estación desde la Compañía debiendo tener cuadros y caja de embornado con entrada doble.
- La instalación de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) sin ondulación de salida para circuitos seguros a 48 Vcc.

9.2. CONSUMOS DE LOS EMPLAZAMIENTOS

9.2.1. CONSUMIDORES DE CORRIENTE ALTERNA 230 V LIBRE DE INTERRUPTIONES

Se instala un SAI monofásico independiente para los consumidores de la red de Comunicaciones Móviles, compuesto por:

- Rectificador/Cargador automático de baterías.
- By-pass/Conmutador manual para asegurar el suministro de tensión a los consumidores en caso de actuaciones de mantenimiento del SAI.

- Ondulador o inversor electrónico de alta frecuencia de conmutación.
- Baterías estacionarias libres de mantenimiento montadas sobre bastidor metálico protegido contra el ataque de ácidos.

Entre los consumidores de telecomunicación se encuentran:

- Sistema de balizamiento.
- Iluminación interior.
- Switch de datos de telecomunicaciones.

En primer lugar, el SAI se enlaza, a través de las conexiones correspondientes, con el suministro de energía, luego, se rectifica la señal de energía, que alimenta las baterías, y, posteriormente, se invierte para obtener una tensión de 230 V_{AC} y alimentar a los equipos de la red de Comunicaciones Móviles por la salida del SAI. La tensión de salida está sincronizada con la tensión de entrada. El activado o desactivado del by-pass se realiza sin interrupción del suministro de energía a los consumidores. En el caso de falta de suministro en la entrada al SAI, este alimentará la salida con la energía almacenada en las baterías.

9.2.2. CONSUMIDORES DE CORRIENTE ALTERNA 230 V NO LIBRE DE INTERRUPCIONES

En este apartado se encuentran todos aquellos elementos de la instalación que, debido a su forma de funcionamiento o su criticidad, permiten interrupciones en el suministro de corriente sin ver afectado el funcionamiento del sistema.

Estos equipos son:

- Equipo de aire acondicionado.
- Toma de corriente.
- Equipos de detectores.
- Videovigilancia y control de accesos.
- Alumbrado exterior.

Para las BTS ubicadas en estaciones se ha de disponer de doble alimentación y, por lo tanto, de cajas de embornados dobles.

9.2.3. CONSUMIDORES DE CORRIENTE CONTINUA

Una alimentación de corriente continua es imprescindible para el correcto funcionamiento de los equipos de la red de Comunicaciones Móviles. Esta es suministrada por unos rectificadores y unas baterías estacionarias libres de mantenimiento, que permitan alimentar estas cargas a -48Vcc durante 4 horas.

Dichos rectificadores se encontrarán en repartición de carga de forma que, en su conjunto, en caso de fallo de uno de ellos, los restantes tengan capacidad suficiente como para suministrar la energía demandada por las cargas en servicio. Los equipos que se encuentran dentro de este apartado son:

- Módulo de control y módulo radio.
- Equipos IP.

- Free cooling y sus elementos de funcionamiento.
- Panel de Alarmas.
- Switch de datos de detectores.
- BTS.
- Estante remoto.

9.2.4. CONSUMOS DE LAS CASETAS BTS

El máximo consumo a suministrar por el centro de transformación para un emplazamiento con caseta GSM-R es de 4960 W, considerando un factor de simultaneidad de 62%. Los principales consumidores son el sistema de rectificación y el de climatización.

9.2.5. CONSUMOS DE LOS ARMARIOS RRU

El máximo consumo a suministrar por el centro de transformación para un emplazamiento con armario RRU es de 2000 W, considerando un factor de disponibilidad de aproximadamente el 50%.

Los grandes consumidores son el equipo rectificador para la alimentación de los circuitos a -48Vcc, que no supera 1 kW de carga eléctrica, y el equipo de climatización que evite humedades y temperaturas dañinas, que no supera los 500 W.

9.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE ENERGÍA GSM-R

9.3.1. ARMARIOS DE ENERGÍA DE AC DE ACOMETIDA ÚNICA

El cuadro de distribución AC de la caseta GSM-R y acometida única consistirá en el suministro, instalación y puesta en servicio de un cuadro de distribución con una alimentación de entrada a 230 Vca, un interruptor magnetotérmico general, un diferencial con rearme automático con display y de las protecciones a los diferentes consumidores de 230 Vca no libre de interrupciones. Los componentes que integran el cuadro eléctrico de alterna deberán montarse dentro de un bastidor metálico de chapa de acero.

El módulo de distribución de tensión 230 Vca no libre de interrupciones incorporará:

- Interruptores automáticos magnetotérmicos del calibre necesario para alimentación de alterna al sistema de -48 Vcc por rectificador.
- Interruptor automático magnetotérmico de calibre 10 A y curva C para la protección de la línea de alterna del bypass manual, si fuese necesario.
- Protector contra sobretensiones de alta velocidad (2-3 ms) y sobretensión permanente contra desconexiones intempestivas de diferencial, contra error humano, sabotaje y vandalismo.

9.3.2. ARMARIOS DE ENERGÍA DE AC DE ACOMETIDA DOBLE

La diferencia con el anterior caso es que se instalará un cuadro eléctrico con dos alimentaciones de entrada a 230 Vca, posibilidad de conmutación entre ambas, de las protecciones y distribución a los diferentes consumidores de 230 Vca no ininterrumpida del interior de la caseta, un interruptor magnetotérmico general y dos diferenciales

rearmables automáticos con display; uno para cada fuente. De la misma forma, los componentes que integran el cuadro de distribución AC GSM-R con acometida doble, deberán montarse dentro de un bastidor metálico de chapa de acero.

Los cuadros de distribución GSM-R son los encargados de realizar la protección y distribución de energía eléctrica a 230 Vca no ininterrumpida para los diferentes consumidores de esta.

Tendrán dos líneas de entrada, procedentes de la transformación de reducción 2200/230 Vca y desde la línea que discurre por la canaleta que procede del cuadro de BT de la acometida de Compañía.

Los componentes que integran el cuadro eléctrico de GSM-R y acometida doble son los siguientes:

- Un sistema de conmutación de las dos acometidas entrantes: Transformador reductor y línea segura de Compañía de 230 V.
- Un sistema rectificador que hace a su vez de alimentación no ininterrumpida a 48 Vcc mediante baterías.

El módulo de distribución de tensión 230 Vca no ininterrumpida incorporará:

- Dos diferenciales rearmables con display cuyo objetivo es indicar en todo momento las lecturas de consumo sobre la línea de 230 V y sobre la línea desde el transformador reductor.
- Un sistema de conmutación automático con opción de configuración de red primaria y secundaria.

Tanto para la acometida de 230V como para la acometida desde transformador se incluirá:

- Un interruptor automático magnetotérmico de distribución a utilidades de ADIF [9] de calibre a definir según corresponda, de curva C.
- Un protector contra sobretensiones de alta velocidad (2-3 ms) y sobretensión permanente, contra desconexiones intempestivas del diferencial, error humano, sabotaje y vandalismo, con protección diferencial y magnetotérmica dotadas de reconexión automática inteligente, provisto de display y controles manuales para la configuración in-situ. Esta reconectadora automática deberá contar con las siguientes características:
 - Equipo con análisis de redes, telecontrolable con servidor WEB y TCP/IP, rearmes automáticos con motor integrado, visualización gráfica y numérica en tiempo real, Medidas RMS, Pico, AC y CC, Modo Osciloscopio, captura formas de onda en eventos (picos, huecos, ...), espectro de armónicos con distorsión rango en % y valor V - A, + THD, medida y alarma de THD desde los armónicos, medidas dinámicas de 1600 parámetros eléctricos, precisión(V,I): $\pm 0,8\%$.

Además de los elementos anteriores, se montará una base protegida por un interruptor automático magnetotérmico que incorpora este módulo de distribución.

9.3.3. TRANSFORMADOR REDUCTOR

Los transformadores a instalar para el suministro de energía a los emplazamientos de GSM-R no están en el alcance del presente proyecto, pero a modo de información se indican las potencias mínimas requeridas para ambos casos:

- BTS: 2x 2200 / 2x230 V de 5 kVA.
- RRU: 2x 2200 / 2x230 V de 2 kVA.

9.3.4. ARMARIO DE ENERGÍA CC SEGURA

Los armarios de energía CC segura para GSM-R serán los encargados de proporcionar las tensiones de corriente continua en -48 Vcc a los equipos dentro de las casetas.

Los componentes que integran el sistema de alimentación en -48 Vcc son los siguientes:

- Un sistema de alimentación ininterrumpida en -48 Vcc, integrado por:
 - Un sistema de rectificadores - cargadores en -48 Vcc.
 - Un módulo de distribución de corriente continua de -48 Vcc a utilidades.
- Módulo de control para las baterías.

Todos los componentes que integran el sistema de alimentación ininterrumpida a -48 Vcc, deberán montarse dentro de un bastidor de chapa de acero.

9.3.4.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA EN -48VCC

El SAI consiste en un sistema rectificador con carga de baterías que da servicios en 48 Vcc y se encargará de transformar la tensión alterna de 230 Vca / 50 Hz en tensión continua de 48 Vcc ininterrumpida, con las características de calidad y fiabilidad deseadas.

El sistema de alimentación ininterrumpida en -48 Vcc estará constituido por:

- Sistema de rectificadores - cargadores en -48 Vcc.
- Módulo de control de baterías.
- Módulos de distribución de corriente continua de -48 Vcc a utilidades.

9.3.4.2. MÓDULO DE DISTRIBUCIÓN

El sistema dispondrá de un módulo de distribución de -48 Vcc a utilidades que permitan equipar, al menos 25 interruptores automáticos magnetotérmicos dotados de detección de carga conectada y señalización de estado (abierto o cerrado), mediante un contacto libre de potencial, para la protección de las salidas a utilidades en -48 Vcc.

El calibre de dichos magnetotérmicos será, a elegir por la dirección de obra, entre 4 A y 63 A; su curva de disparo a definir en cada caso por el usuario y su poder de corte de, al menos, 6 kA.

El sistema proporcionará señalización, tanto local, como remota, que indique la apertura de cualquiera de los magnetotérmicos de cada uno de los cuatro módulos de distribución, siempre que tenga la carga conectada.

9.3.4.3. BATERÍAS

En ausencia de tensión alterna de entrada, las baterías son las encargadas de proporcionar la alimentación en corriente continua a los equipos alimentados a -48Vcc. Estarán dimensionadas para garantizar la alimentación en los consumos críticos. Se escogen unas de plomo (Pb) - ácido de tipo AGM, debido a la densidad de energía y a su comportamiento frente a la profundidad de carga/descarga, corrientes de descarga y de temperatura, tanto para armario remoto como para caseta.

Con este tipo de baterías el sistema funcionará mejor en ambientes fríos y una resistencia interna baja, con lo que no genera mucho calor.

Se conectarán a la salida de los rectificadores del equipo de energía mediante el cableado correspondiente, desde el que se controlará su carga.

La capacidad de una batería es la cantidad de electricidad que se puede almacenar para luego descargar. Se mide en amperios-hora (Ah). En el caso de las casetas, la capacidad de baterías por emplazamiento es de 184 Ah @c10 para una tensión final por elemento de 1,8 V y una temperatura de 20 °C y, para los armarios de intemperie, la capacidad de baterías por emplazamiento es de 80 Ah @c10 para una tensión final por elemento de 1,8 V y una temperatura de 25 °C.

Para el sistema de almacenamiento en caseta, el número de secciones es de 2 strings de 92 Ah cada uno y, para los armarios, de 1 string de 80 Ah.

Debido a que las baterías en armarios de intemperie soportan temperaturas extremas, deben posibilitar un rango de temperatura de funcionamiento continuo entre -30°C y +65°C.

La vida útil de este tipo de baterías, tanto para caseta como para armario de intemperie, es superior a 12 años (según EUROBAT) y deberán seguir las normas de fabricación de la UNE-EN 60896-21 y UNE-EN 60896-22 [14].

Las baterías se instalarán dentro del armario de energía cercano a vía, junto con el cuadro eléctrico y los rectificadores, salvo indicación expresa del Director de Obra para el cambio de ubicación de estas.

A continuación, se presentan la necesidad de los equipos de almacenamiento de alta temperatura: para las baterías AGM de capacidad total de 80 Ah de armarios y de 184 Ah para casetas y considerando las especificaciones técnicas requeridas se obtiene la siguiente necesidad de equipo:

$$80 \text{ Ah} \rightarrow C10: 8 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ Vcc} \rightarrow 90 \text{ W}$$

$$184 \text{ Ah} \rightarrow C10: 18,4 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ Vcc} \rightarrow 220,8 \text{ W}$$

9.3.4.4. PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES Y DESCARGAS TRANSITORIAS

En la caja de embornado, situada a la entrada de la caseta de la acometida, se instalará un sistema de protección frente a sobretensiones de entrada y descargas atmosféricas integrado por:

- 3 protectores de sobretensiones de tipo 2 para línea monofásica con capacidad de derivación de 25 kA y nivel de protección de 2,5 kV, con capacidad para protección frente al riesgo de corrientes parciales de rayo, dotado de contacto libre de potencial para señalización remota de fallo. Estos protectores se situarán en la acometida principal.
- 2 protectores contra sobretensiones para línea de red informática de categoría 6, con conectores de entrada y salida RJ45, con capacidad de derivación de 10 kA y nivel de protección de 500 V.
- 2 fusibles de cuchilla de 125 A con su correspondiente portafusible, de la talla 00, que se situarán en la entrada a la caja de embornado de la Fase y el Neutro de la acometida, que permitirán aislar de esta acometida a la instalación interior de la caseta.

La instalación de los descargadores dentro de la caja de embornado, su conexionado a la puesta de tierra y el recorrido de los cables de conexión deberá realizarse de acuerdo con las instrucciones de montaje determinadas por el fabricante de estos.

El suministro se llevará desde esta caja de embornado hasta los interruptores generales magnetotérmico y diferencial del armario del sistema de energía. Posteriormente se distribuirá la tensión a los diferentes consumidores con su respectiva protección magnetotérmica.

9.3.4.5. RECTIFICADORES

9.3.4.5.1. CASETA

El sistema rectificador permite pasar de alimentación monofásica 230 Vac a una de 48 Vcc y, por lo tanto, proporcionar tensiones de corriente continua en -48 Vcc, de forma ininterrumpida, en aquellos emplazamientos GSM-R en los que se requiera una potencia superior a la proporcionada por el grupo de rectificadores en configuración N+1.

Deberá cumplir con la Especificación Técnica de ADIF ET 03.366.953.2 Rectificadores de 48 Vcc para telecomunicaciones, en su última edición vigente [15].

El sistema deberá ser capaz de configurar los rectificadores para limitar la potencia suministrada en función de la línea de energía (acometida de 230 o línea desde transformador rectificador) que se encuentre activa. En caso de encontrarse ambas líneas activas, el sistema podrá ser capaz de conformar la corriente demandada a una u otra línea.

El sistema de alimentación ininterrumpida en corriente continua (-48 Vcc) deberá ser:

- MODULAR:

El módulo de control, así como los módulos rectificadores, serán elementos enchufables que se podrán insertar o extraer del sistema mediante sus correspondientes conectores, incluso estando en marcha y sin interrupción en su funcionamiento.

La potencia total del sistema será la suma de la potencia de los módulos rectificadores que equiepe dicho sistema.

Los módulos rectificadores trabajarán en paralelo con reparto de carga y se podrá llevar a cabo incluso en ausencia del módulo de control.

- AMPLIABLE:

El número de módulos rectificadores que permita equipar el sistema deberá ser tal, que permita crecer su potencia, al menos, hasta 5000 W.

El sistema de alimentación a -48 Vcc, cumplirá los requisitos establecidos y equipará inicialmente N+1 módulos rectificadores, siendo N el número de módulos rectificadores necesarios para alimentar los consumos iniciales existentes en cada caso y cargar unas baterías (a un régimen del 10% de su capacidad en 10 horas) que proporcionen la autonomía especificada en cada caso para los consumos iniciales dados.

Asimismo, el sistema deberá permitir la ampliación futura de su potencia, mediante la simple incorporación al mismo de nuevos módulos rectificadores.

- REDUNDANTE:

El sistema equipará, al menos, un módulo rectificador más (redundancia N+1) de los estrictamente necesarios para alimentar las utilidades y cargar las baterías.

El sistema equipará dos secciones de baterías, de forma que, las tareas de mantenimiento y/o sustitución en una de las secciones, pueda hacerse con la otra sección conectada al sistema, manteniéndose así la operatividad total del sistema, incluso durante las tareas de mantenimiento y/o sustitución de las baterías.

- TOLERANTE A FALLOS:

Un fallo en el módulo de control del sistema y/o en un módulo rectificador no provocará corte en la tensión continua de salida del sistema y las utilidades seguirán alimentándose.

- SUPERVISABLE:

El sistema se podrá supervisar remotamente mediante sistemas punto a punto o punto - multipunto, con:

- Contactos libres de potencial.
- Conexión RS232, RS485 y Ethernet.
- Conexión a redes TCP/IP, protocolo SNMP.
- Telnet.
- Servidor web.

Con el objeto de simplificar y reducir al máximo las operaciones y el tiempo medio de reparación (MRT), el sistema además de ser modular incorporará un sistema de supervisión y alarmas tanto local como remoto que permita la fácil identificación del módulo averiado. Será supervisable y configurable localmente mediante un ordenador conectado al puerto que incorporará a tal efecto el módulo de control del sistema.

Los consumos para los que debe estar dimensionado inicialmente el sistema, así como la autonomía deseada y el número de salidas para la conexión de cargas, son los siguientes:

- Consumos en -48 Vcc: la potencia total del sistema de rectificadores será de 5.000 W, equipándose un módulo rectificador extra para guardar la configuración N+1 (incluyendo los consumos de las utilidades en -48 Vcc y el consumo del Sistema de Onduladores que alimenta a utilización en 230 Vca ininterrumpida).
- Número de salidas del módulo de distribución de -48 Vcc a utilidades: 2 módulos de distribución (uno por alimentación de equipo) con hasta 23 salidas por cada módulo.
- Número de secciones de baterías: mínimo 2, máximo 4.

La tensión continua de salida a utilidades deberá cumplir los requisitos siguientes:

- Tensión nominal de salida: 48 Vcc.
- Tensión real de salida: la variación admitida será de 42 Vcc a 58 Vcc, en régimen permanente, tanto en presencia como en ausencia de red.

El sistema permitirá su conexión tanto a redes monofásicas como a redes trifásicas, con tensiones nominales de entrada:

- Monofásica: 230 Vca (50 Hz).
- Trifásica: 400 / 230 Vca (50 Hz).

El cambio de tensión de entrada monofásica a trifásica o viceversa, se realizará mediante una operación simple de cambio de puentes de conexión.

Tendrá un margen de tensión alterna de entrada igual o superior a 88 Vca - 276 Vca y un margen de frecuencia de funcionamiento de 44 a 66 Hz. Además, se desconectará automáticamente cuando la tensión alterna de entrada sea

anormalmente baja (menor de 88 Vca) y se reconectará automáticamente ante la normalización de dicha tensión alterna de entrada.

El sistema dispondrá de limitación electrónica automática de la corriente de salida y de corriente máxima de carga de las baterías. A su vez, tendrá una borna de puesta a tierra perfectamente identificada y dimensionada. El aislamiento será mayor de 4,25 kVcc entre la entrada y la salida y mayor de 2,12 kVcc entre la entrada y tierra.

El margen de temperatura de funcionamiento será entre -40º C y 65º C (desconexión a 75º C; reconexión automática) y el margen de temperatura de almacenamiento será entre -60º C y 85º C. Por tanto, dispondrá de protección frente a sobretensión, sobrecarga y cortocircuito en la salida, soportando el cortocircuito permanente.

Tendrá una densidad de potencia mayor de 700 W/l, un factor de potencia superior a 0,98 y un rendimiento más elevado del 92 % para un valor nominal de la tensión de entrada y un valor de la tensión de flotación en la salida y en el margen del 50 al 100% de la carga.

Los armónicos estarán de acuerdo a la norma EN 61000-4-5 la seguridad según las normas EN 60950, clase 1, UL1950 y IEC 60950 CSA C22-2 No.950, las vibraciones estarán de acuerdo con la norma GR 63 core zona 4 y la resistencia a impactos según la norma UNE-EN 60721-3-2 [14]. En la homologación tendrá Marcado CE.

La diferencia de corriente suministrada por los diferentes módulos rectificadores que equipen el sistema no será superior a ±4 Amperios.

EQUIPO RECTIFICADOR GSM-R (CASETA)	CARGA (W)
Telecomunicaciones fijas (IP+Switch)	500
Telecomunicaciones móviles (GSM-R/BTS)	694
Panel de alarmas	75
Free-Cooling	150
Carga de Baterías	220,8
TOTAL	1639,8 W

Tabla 27. Necesidades eléctricas de GSM-R BTS (Caseta)

9.3.4.5.2. NECESIDADES TÉRMICAS RECTIFICADOR BTS

En añadidura a lo comentado posteriormente en el apartado del Sistema de Refrigeración, para conocer las necesidades térmicas de disipación del sistema rectificador se puede obtener a través de la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{ENT}} = \frac{P_{DC}}{P_{DC} + P_{DISIP}} \rightarrow P_{DISIP} = \left(\frac{1}{\eta} - \eta\right) \cdot P_{DC}$$

Ecuación 7. Potencia Disipada BTS

$\eta \geq 92\%$; considerando pérdidas de conmutación y de la propia alimentación se aproxima:

$$P_{DISIP} \sim 18\% \cdot P_{DC}$$

Ecuación 8. Aproximación Potencia Disipada BTS

9.3.4.5.3. ARMARIO

El sistema de rectificadores - cargadores en corriente continua (-48 Vcc), será de máxima fiabilidad, con la potencia, autonomía y características técnicas tal y como se definen a continuación.

El sistema de rectificadores - cargadores de -48 Vcc, estará compuesto por los siguientes elementos:

- Subbastidor del sistema.
- Módulos rectificadores.
- Módulo de control.
- Módulo de gestión y protección de baterías.

El sistema de alimentación ininterrumpida en corriente continua (-48 Vcc) mediante rectificador deberá ser, de la misma forma que se explicó anteriormente, modular, ampliable, redundante, tolerante a fallos y supervisable.

Las baterías se instalarán dentro del armario de energía, junto con el cuadro eléctrico y los rectificadores.

Los consumos para los que debe estar dimensionado inicialmente el sistema, así como la autonomía deseada y el número de salidas para la conexión de cargas, son los siguientes:

- Consumos en -48 Vcc: la potencia total del sistema de rectificadores será de al menos 1.000 W, equipándose un módulo rectificador extra para guardar la configuración N+1.
- Autonomía deseada: Al menos 4 horas.
- Número de salidas del módulo de distribución de -48 Vcc a utilidades: 6.
- Número de secciones de baterías: mínimo 1, máximo 2.

La tensión continua de salida a utilidades deberá cumplir los mismos requisitos que en la caseta GSM-R.

EQUIPO RECTIFICADOR GSM-R (ARMARIO)	CARGA (W)
Telecomunicaciones fijas (Switch)	300
Telecomunicaciones móviles (GSM-R/RRU)	334
Panel de alarmas	75
Free-Cooling	150
Carga de Baterías	90

EQUIPO RECTIFICADOR GSM-R (ARMARIO)	CARGA (W)
TOTAL	949 W

Tabla 28. Necesidades eléctricas de GSM-R RRU (Armario)

9.3.4.5.4. NECESIDADES TÉRMICAS RECTIFICADOR RRU

De igual forma que para el caso de la BTS:

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{ENT}} = \frac{P_{DC}}{P_{DC} + P_{DISIP}} \rightarrow P_{DISIP} = \left(\frac{1}{\eta} - \eta\right) \cdot P_{DC}$$

Ecuación 9. Potencia Disipada RRU

$\eta \geq 95\%$; considerando pérdidas de conmutación y de la propia alimentación se aproxima:

$$P_{DISIP} \sim 11\% \cdot P_{DC}$$

Ecuación 10. Aproximación Potencia Disipada RRU

9.3.4.6. ARMARIO DE ENERGÍA PARA UNIDADES REMOTAS

Se trata de un armario metálico de intemperie anclado al suelo o a la pared. Debe incluir en su interior los siguientes elementos:

- Bornero de acometida para tensión monofásica/trifásica 230 Vac/50Hz.
- Descargador de sobretensiones para la protección media y basta, con capacidad de derivación de 50 kA y nivel de protección de 1,5 kV, con capacidad de protección frente al riesgo de corrientes parciales de rayo, así como frente a impactos directos de este en la instalación donde se ubique el sistema de energía, dotado de un contacto libre de potencial para la señalización remota de fallo.
- Protector contra sobretensiones de alta velocidad (2-3 ms) y sobretensión permanente, contra desconexiones intempestivas del diferencial, contra error humano, sabotaje y vandalismo, con protección diferencial y magnetotérmica dotadas de reconexión automática inteligente, provisto de display y controles manuales para la configuración in situ. Este rearmador automático deberá contar con las siguientes características:
 - Equipo con análisis de redes, telecontrolable con servidor WEB y TCP/IP, rearmes automáticos con motor integrado, visualización gráfica y numérica en tiempo real, Medidas RMS, Pico, AC y CC, Modo Osciloscopio, captura formas de onda en eventos (picos, huecos, ...), espectro de armónicos con distorsión rango en % y valor V - A, + THD, medida y alarma de THD desde los armónicos, medidas dinámicas de 1600 parámetros eléctricos, precisión(V,I): $\pm 0,8\%$.
- Sistema de distribución de alterna formado por 7 interruptores magnetotérmicos bipolares dotados de contactos libres de potencial para la señalización del estado; dos utilizados para la alimentación del sistema en 48 Vcc, uno para el aire acondicionado, uno para la luminaria y tres de

reserva. Además, incluirá una base de enchufe monofásica de 16 A tipo Schuko.

- Lámpara de alumbrado tipo LED, activada/desactivada por apertura y cierre de puerta.
- Pletina de toma de tierra.

9.3.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA GSM-R

Todo equipo eléctrico y electrónico produce calor, el cual no puede absorber y que se debe extraer para evitar que la temperatura del equipo aumente hasta un nivel inaceptable. Es por eso por lo que es necesario equipar la caseta con un sistema de climatización.

El dimensionamiento de un sistema de climatización exige comprender la cantidad de calor producido por los equipos contenidos en el espacio cerrado, junto con el calor generado por otras fuentes de calor que habitualmente también están presentes.

Se climatizan las casetas técnicas y los armarios para la instalación de la electrónica del equipamiento GSM-R. Para ello, se debe conocer la potencia térmica a disipar dependiendo de los equipos instalados y la potencia por radiación en paredes y techos que depende de la ubicación geográfica de los mismos y de su caracterización constructiva. Los elementos constructivos incorporarán aislante térmico según EPS (poliestireno expandido) con conductividad térmica máxima a 10°C de 0,034 W/m·K.

Los equipos de refrigeración principalmente aspiran el calor por lo que pueden estar compuestos por un sistema de aspiración en el techo o pared y un sistema de aportación de aire frío que puede ser mediante intercambio con circuito de agua o de aire. En este caso, debido a la existencia de circuitería y la necesidad de una temperatura no muy excesiva, se opta por sistema de aire mediante intercambio con circuito de refrigerante. El equipo será compacto integrando en una sola unidad la evaporadora y la condensadora.

La energía necesaria para las sucesivas casetas distribuidas por la línea, desde el punto de vista de climatización o necesidades térmicas, varía en cuanto existen diferentes zonas climáticas. Aunque la infraestructura de telecomunicaciones se encuentre distribuida en diferentes zonas climáticas, los patrones son estacionales no así los consumos, por ejemplo, en los trimestres más fríos. De modo genérico, al tener los mismos equipos en su interior y entonces necesidades de disipación interior de calor idéntica, se considera un modelo tipo en el que se regularán las temperaturas de alarma en cada caso. El sistema puede funcionar en modo calor o en modo frío en función de las necesidades.

Adicionalmente al sistema de aire acondicionado que forzará al aire interior a moverse, la caseta contará con ventilación natural, a través de rejillas perfectamente rematadas y protegidas por la parte exterior con una chapa galvanizada de 1,5 mm de espesor, dotada de orificios alargados de ventilación, pintada de color blanco, para impedir la entrada de lluvia.

Por lo general, la potencia eléctrica de los equipos de telecomunicaciones se corresponderá con la potencia térmica generada, ya que son equipos con un alto rendimiento y no contienen elementos de potencia.

9.3.5.1. DIMENSIONAMIENTO EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO

La energía transmitida mediante informática u otros equipos de IT a través de las líneas de datos es insignificante y, básicamente, despreciable. Por tanto, toda la energía que se consume de la red de suministro de alimentación de corriente alterna se convierte esencialmente en calor. Este hecho hace posible que la energía térmica producida por los equipos de IT simplemente iguale al consumo energético.

La energía térmica total producida por un sistema es la suma de la energía térmica producida por cada uno de sus componentes. El sistema completo incluye los equipos de IT, además de otros elementos como baterías/rectificadores, distribución de alimentación, unidades de aire acondicionado, principalmente producido desde ventiladores o compresores, iluminación y, posiblemente, la ocupación por personas. Las tasas de energía térmica producida por estos elementos pueden determinarse fácilmente utilizando valores estandarizados.

El calor producido por las unidades de aire acondicionado se extrae al exterior y no crea una carga térmica dentro de la caseta. No obstante, sí afecta de forma negativa a la eficiencia del sistema y, normalmente, se tiene en cuenta al dimensionar el mismo.

La energía térmica producida consiste en una pérdida fija y una pérdida proporcional a la potencia operativa, en algunos casos, y otros dependientes de la superficie.

Cabe destacar que un gran tamaño de equipos de procesamiento de datos e IT requerirá un nivel de potencia de refrigeración muy elevado, no lineal y, en consecuencia, serán los principales consumidores considerando que como equipo de alimentación de soporte no es vía grupo electrógeno.

Los sistemas de alimentación en corriente continua para los equipos ya incorporan ventiladores. La carga térmica de estos equipos vendrá determinada también por su alimentación, directamente relacionado por la potencia de servicio, pero también por posibles anomalías de funcionamiento.

Para el caso de las casetas de 3,7 m, se requerirá de un equipo compacto de climatización de 5,6 kW, condensado por aire y de disposición vertical. Este equipo utilizará R-407-c como refrigerante para trabajar con un rango de funcionamiento entre -15 °C y +45 °C.

Por lo general, al tratarse los equipos de alta eficiencia, se estiman pequeñas pérdidas provocadas por el tratamiento de la señal de entrada y la entrega de esta. Se trata de dimensionar en las condiciones más desfavorables.

Respecto a la iluminación, al tratarse de alumbrado convencional, prácticamente la totalidad del uso eléctrico se usa para producir calor. Siendo la relación base para su cálculo:

$$\eta_{sistema} = \frac{P_{elec} - P_{vent} - Q}{P_{elec}}$$

Ecuación 11. Relación de potencias del sistema

A continuación, se indican los principales consumidores, tanto en el caso de las casetas de las BTS como de los armarios en RRU, basados en coeficientes de pérdidas y sus características eléctricas, así como contrastados con experiencias empíricas en el uso de estos elementos:

EQUIPOS	CARGA (WE)	DISIPACIÓN TÉRMICA (WT)
Alumbrado interior	360	320
Accesorios y equipos de climatización y ventilación	1000	35
Tomas de corriente / Reserva	2000	10
Rectificador 230 Vac/48 Vcc 2000 W	2000	360
Carga de Baterías	220,8	55
Equipos de Telecomunicaciones fijas (IP+switch)	500	125
Equipos de Telecomunicaciones móviles (BTS)	694	14
TOTAL		919

Tabla 29. Necesidades térmicas de Caseta BTS

EQUIPOS	CARGA (WE)	DISIPACIÓN TÉRMICA (WT)
Accesorios y equipos de climatización y ventilación	500	18
Rectificador 230 Vac/48 Vcc 1000 W	1000	110
Carga de Baterías	90	25
Equipos de Telecomunicaciones fijas	300	100
Equipos de Telecomunicaciones móviles (RRU)	334	10
Otros (alumbrado armario, sensores, alarmas, etc.)		75
TOTAL		338

Tabla 30. Necesidades térmicas de Armario RRU

9.3.5.2. GESTIÓN EQUIPOS AIRE ACONDICIONADO

No se suele telemandar la instalación, aunque el equipo ha de disponer de entradas libres para actuar en determinadas circunstancias y salidas para informar del estado mediante contactos libres de tensión conectados al panel de alarmas.

En el interior de la caseta o en armario, se dispondrá de una unidad de control concentradora de alarmas que permita ver los parámetros básicos tales como temperatura, modo de funcionamiento, etc.

9.4. GESTOR DEL SISTEMA DE ENERGÍA

Los sistemas de energía instalados en casetas tendrán capacidad para poder realizar su supervisión de forma remota. Estos sistemas irán equipados con un módulo con interfaces RS232 y TCP/IP con este propósito.

El sistema se basa en un servidor y clientes, junto con la herramienta software proporcionada por el suministrador del sistema.

Este gestor podría ser integrado dentro de los sistemas que ADIF [9] ya disponga para tal efecto.

9.5. PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS CONTRA CONTACTOS DIRECTOS

Toda persona debe estar protegida contra cualquier tipo de accidente que surja por contactos indirectos a la hora de trabajar con equipos de energía. Esto se garantiza mediante la puesta a tierra de las partes metálicas accesibles de dichos equipos interiores, de forma que, se realizará, dentro del mismo cuarto, una conexión en anillo de todos los equipos y, a su vez, este se conectará a la barra principal de tierra, la cual está conectada a la tierra del carril. La tierra en ningún caso sobrepasará el valor de 10Ω .

Los equipos exteriores se alimentarán mediante transformadores aisladores que garanticen una separación del neutro y la tierra. Además, de igual manera que los equipos interiores, las partes metálicas que puedan estar en contacto exteriormente se conectarán a tierra.

10. PLAN DE OBRA

El objetivo del Plan de Obra es definir y describir las instalaciones, obras y procesos constructivos a llevar a cabo, con el grado de definición suficiente, para posibilitar la ejecución de las obras de los sistemas de Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R en el tramo objeto del presente proyecto.

Este apartado, por tanto, describe a grandes rasgos los procesos constructivos previstos y la programación de los trabajos, en busca de obtener el plazo para la ejecución de las obras pertinentes. Para expresar el Plan de Obra previsto, se ha realizado un diagrama de Gantt.

La programación se ha efectuado de forma general sobre la base de trabajar 5 días por semana y en horario laboral. La duración estimada es de 450 días, correspondientes con las obras de la fase 1: Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: Ejecución de obras y fase 2: Actuaciones sobre instalaciones existentes. Se podrán ejecutar de forma paralela ciertas actividades de la fase 1 con las de fase 2 para reducir la duración total del proyecto.

Hay que tener en cuenta que se realizarán las pruebas de calidad y servicio de acuerdo a la norma O-2475 [1] con una duración máxima de 5 meses (150 días).

Además, se han de tener en cuenta una serie de condicionantes a cumplir para evitar la aparición de impactos sobre la flora y la fauna que puedan modificar o destruir su hábitat, tales como: alteración de los caminos de acceso, no exceder el nivel de ruido a determinadas horas y épocas del año, etc. En todo momento se atenderá a lo dispuesto en el "Protocolo de Buenas Prácticas de Actuación Acústica en Obras no sometidas a DIA" aprobado por el Comité de Calidad y Medio Ambiente del ADIF en diciembre de 2009.

10.1. FASE I: INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES

10.1.1. INGENIERÍA

10.1.1.1. INGENIERÍA Y VALIDACIÓN DEL ESTUDIO RADIOELÉCTRICO

Se comenzará realizando una simulación software de la solución radio adoptada e incluso, en caso necesario, se ejecutarán pruebas en campo con equipos transmisores GSM-R móviles para comprobar in situ la propagación en puntos donde así se requiera por la incertidumbre que pueda dejar la herramienta de simulación. De igual forma, en esta fase se deberá decidir el diseño de los cuadros eléctricos con su esquema unificar, el plano de la caseta con distribución de equipos, los planos de situación del emplazamiento, acceso, planta y alzado de cada uno de ellos, así como el cálculo de las cimentaciones de las torres o mástiles, una vez realizados los estudios penetrométricos del terreno.

10.1.1.2. REPLANTEOS

Terminada la fase del cumplimiento de hitos contractuales (adjudicación, firma del contrato, plan de Seguridad y Salud, plan de Calidad, etc.), los cuales quedan fuera del alcance del presente TFG, y en paralelo a la anterior actividad, se realizará la visita a la ubicación de cada uno de los emplazamientos planificados en el proyecto.

El objetivo de estas visitas será confirmar in situ la correcta ubicación de los mismos, desde el punto de vista constructivo y de planificación radio.

Se enviará una planificación de replanteos a la Dirección de Obra con 15 días de antelación al inicio de las mismas, solicitando la asistencia, por parte de ADIF, de las personas que este designe para garantizar el acceso y consensuar la solución adoptada.

Una vez generada la documentación de replanteo, se enviará a la Dirección de Obra para revisión y comentarios y, finalmente, su aprobación.

Las tareas que se realizan son las siguientes:

- Validar y confirmar con ADIF la ubicación y tipología de los distintos tipos de emplazamientos y, verificar y confirmar con los planos las posibles expropiaciones, cumpliendo siempre los requisitos de obra civil y planificación radio para la construcción del emplazamiento.
- Comprobar los accesos al emplazamiento y que no existe ningún condicionante ambiental que condicione las obras.
- Determinar la necesidad de cruces de vía y ubicación de los mismos.
- Estudio y análisis de trabajos no previstos en el proyecto.

10.1.1.3. ACOPIOS DEL SISTEMA GSM-R

El acopio del equipamiento comenzará en el mismo momento de la aprobación del proyecto y se alargará durante el periodo de fabricación, el traslado a los almacenes designados y el traslado a la obra.

Previa petición y gestión de compra habrá de proporcionar toda la documentación técnica necesaria para demostrar que los materiales a suministrar se ajustan a los requisitos establecidos.

Los acopios iniciales deberán ser realizados con la aprobación del Director de Obra.

Las tareas que se realizan son las siguientes:

- Peticiones y gestiones de compra.
- Realización y seguimiento de pedidos.
- Gestión de almacenes de fábrica.
- Programación del transporte de materiales de acuerdo a las necesidades de cada tajo.
- Envíos a obra, campaña intermedia.

10.1.2. EMPLAZAMIENTO TIPO A (BTS (CASETA GSM-R)+ MÁSTIL/TORRE): OBRA CIVIL Y ARMADO TORRES

Las funciones encomendadas a este equipo es la construcción de la infraestructura del emplazamiento y la realización del armado del mástil o torre, no sin antes haber realizado los trámites de Expropiaciones y el Plan de Seguridad y Salud, el cual no se contempla para este TFG.

Será necesario también haber realizado el acopio de las arquetas y de las torres/mástiles.

Por una parte, se empezará por la construcción de la cimentación y armado de la torre/mástil:

- Excavación del terreno.
- Red de tierras perimetral.
- Armado y Hormigonado.
- Montaje de torre/mástil y del sistema de seguridad.

Por otro lado, se prepara el emplazamiento para la colocación de la caseta GSM-R, para lo cual previamente se deben realizar las siguientes actividades:

- Desbroce, limpieza y preparación del terreno.
- Excavación de los huecos de las arquetas.
- Red de tierras perimetral a cada una de ellas.
- Colocación de arquetas.
- Canalización desde la caseta GSM-R hasta la vía, donde se llevará a cabo:
 - Excavación de la zanja.
 - Instalación de tubos.
 - Arquetas (arquetas intermedias y arquetas de derivación).
 - Hormigonado de la canalización.
 - Armado y cimentación de las losas.

10.1.2.1. INSTALACIÓN DE EQUIPOS EN CASETAS

Las tareas consisten en:

- Realizar en una campa la instalación del equipamiento de las casetas GSM-R (aire acondicionado, panel de alarmas, cuadro eléctrico, inversores, luminarias, BTS, bandeja rejiband para cables, etc.), una vez que se ha fabricado la caseta y se ha realizado el acopio de todo el material.
- Configurar la BTS dentro de la caseta GSM-R para un determinado emplazamiento.
- Comprobar el funcionamiento de todos los elementos instalados, antes de que se envíen las casetas a obra, así como verificar la existencia de toda la documentación de las mismas (manuales, inventario con los números de serie de cada equipo instalado, documentación sobre pruebas realizadas, etc.).
- Introducir dentro de la caseta GSM-R todo el material concerniente al sistema radiante del emplazamiento al que va a ser destinado.

Las casetas quedan de esta manera preparadas para su envío a un determinado emplazamiento.

10.1.2.2. INSTALACIÓN DE CASETAS

El equipo de trabajo realizará el transporte y la colocación de la caseta GSM-R una vez preinstalada.

Para poder dar comienzo a esta tarea es necesario que:

- Haya fraguado el hormigonado de las losas obteniéndose unos resultados de roturas de probetas satisfactorios.
- La caseta esté preparada con la mayor parte del equipamiento interior instalado.

Se verificará que toda construcción a realizar cumple el Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre [16], por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02).

10.1.2.3. IZADO DE TORRES/MÁSTILES

Se llevará a cabo el izado de la torre, dejando el emplazamiento preparado para la conexión de cables y antenas.

Para poder dar comienzo a esta tarea es necesario que:

- Haya fraguado el hormigonado de la base de la torre o mástil, obteniéndose unos resultados de roturas de probetas satisfactorios.
- Aceptación del izado y cimentación por parte de ADIF.
- En el caso de que sea necesario, se hayan obtenido los pertinentes permisos de grúas.
- Torre armada.

Una vez izada la torre, se realizará la conexión del pararrayos, la conexión de las tierras de la torre, la colocación de la bandeja rejiband entre caseta y torre, la conexión del anillo de tierras de la caseta a la pletina de tierras y la conexión del balizamiento nocturno.

Todas las torres, así como sus respectivas cimentaciones, deberán estar calculadas para soportar los esfuerzos requeridos.

Se deberá verificar que, toda construcción a realizar cumple el Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre [16], por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02).

10.1.2.4. INSTALACIÓN SISTEMA RADIANTE EN BTS

Esto incluye la instalación de las antenas, latiguillos de antena, cables principales de antena, kit de tierra, descargadores y latiguillos de interconexión.

Para empezar con este paso, es necesario que se haya instalado la caseta GSM-R, izado la torre o mástil e instalado las bandejas rejiband.

Una vez acabada la instalación se medirá el sistema radiante, así como el aislamiento de las antenas, comprobando que las medidas están dentro de los límites exigidos.

10.1.2.5. *COMPROBACIÓN DE EQUIPOS EN CASETAS CON TENSIÓN*

El equipo de trabajo asignado realizará la comprobación del funcionamiento del equipamiento de las casetas GSM-R con tensión, una vez que las mismas han sido instaladas en obra.

Es imprescindible la disponibilidad de tensión en casetas y que se hayan realizado las segregaciones necesarias de los cables de alimentación.

Las actividades que se realizan son las siguientes:

- Comprobación del funcionamiento y cableado de alarmas del panel de alarmas: fuego, temperatura, intrusión, energía, aire acondicionado, alimentación de equipos, etc.
- Comprobación de las balizas, de las fechas de recarga de extintores, del funcionamiento del armario de energía, del antipánico de la puerta, de la luz de emergencia exterior, etc.
- Verificación de los diferentes equipos de aire acondicionado, comprobando que todas las partes de los mismos funcionan correctamente.

10.1.2.6. *PROYECTO AS-BUILT*

Esta tarea es una continuación de la labor de ingeniería de detalle que se llevaría a cabo durante toda la vida del proyecto en la Oficina Técnica con la información procedente de la obra finalmente ejecutada.

Esta información será procesada convenientemente en la Oficina Técnica para elaborar los proyectos As-Built necesarios para las labores de mantenimiento, que serán entregados para la revisión, comentarios y aprobación al ADIF o quien este designe.

A continuación, se adjunta un listado de la documentación que se debería entregar antes de la recepción de las obras y que serviría de base al mantenimiento de las instalaciones:

- Proyecto “As-Built” de cada emplazamiento, que contendrá, al menos, la siguiente información:
 - Memoria descriptiva de la instalación.
 - Documentación de calidad de la instalación: estudio geotécnico, cálculo de cimentación y torre, ensayos de control de resistencia del hormigón, certificado de verticalidad torre, detalle del equipamiento de las casetas, inventario y pruebas de casetas, certificado resistencia puesta a tierra, pruebas de equipamiento (BTS), pruebas del sistema radiante, Programa de Punto de Inspección (PPI’s), etc.
 - Planos: plano de acceso y situación, planta de emplazamiento, alzado y perfil transversal del recorrido de canalizaciones, detalle de cimentación de casetas, detalle de planta, alzado y secciones casetas, detalle de alzado torre celosía, detalle cimentación de torre, detalle arquetas y canalizaciones, planta de red de tierras,

barras equipotenciales y conexión de tierras, esquemas unifilares, etc.

- Proyecto “As-Built” de las instalaciones realizadas en túnel.
- Documentación de calidad de la instalación: listas de verificación en campo, etc.
- Reportaje fotográfico.
- Documentación “As-Built” de las instalaciones y ampliaciones realizadas en Edificios Técnicos, con igual detalle al indicado anteriormente para los emplazamientos pero de aplicación a los equipamientos correspondientes (BSC, TRAU, OMC-R, Sistemas de supervisión, etc.).
- Inventario actualizado de todos los elementos de la instalación para su correcta integración en el Sistema de Información Geográfica del ADIF.
- Manuales de Operación y Mantenimiento de la Red.
- Medidas de cobertura y calidad de servicio.

10.1.2.7. INTEGRACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE BTS'S

Se llevarán a cabo la configuración, pruebas y optimización del equipamiento instalado previamente y de los emplazamientos existentes.

Para poder dar comienzo a esta tarea es necesario que haya disponibilidad de energía y que las BTS's estén integradas en la red de comunicaciones fijas. Es necesario igualmente que la BSC y el servidor de gestión ya estén integrados.

Durante la ejecución de esta tarea se inicia la BTS, se realizan una serie de comprobaciones básicas y se dota a la BTS con la configuración mínima necesaria para poderla integrar en la red desde el gestor.

10.1.2.8. INSTALACIÓN DE EQUIPOS EN EDIFICIOS TÉCNICOS

El equipo asignado se encargará de la instalación y/o adaptaciones necesarias de los equipos que se detallan a continuación, dejándolos listos para poder comenzar con la fase de integración de la red:

- Configuración de MSC conforme a datos de las BTS de nuestra red.
- Configuración del gestor de operación y mantenimiento radio OMC-R, que supervisará y administrará la red de BTS y la BSC.
- Integración de los Anillos E1 en la BSC, para lo que habrán sido enrutados los flujos PCM de las tramas Abis desde los distintos emplazamientos a la BSC correspondiente.
- Integración y pruebas del Sistema BSS, para lo que deberán estar alimentados, configurados e integrados los distintos elementos de la red.
- Instalación/Ampliación e integración de la consola de llamadas GSM-R.

Respecto a las telecomunicaciones fijas, la instalación del cable de fibra troncal de 96 fibras ópticas a lo largo del tramo que daría servicio a los equipamientos de este proyecto no es alcance de este TFG.

Las actuaciones referentes a la red IP Multiservicio (IPMM) se llevarán a cabo en los siguientes tipos de emplazamientos:

- Cuartos de comunicaciones de estaciones y apeaderos.
- Subestaciones eléctricas.
- Centros de transformación.
- Enclavamientos.
- Estaciones base GSM-R (BTS).
- Cabezas remotas GSM-R (RRU).
- Pasos a nivel (SLA/SBA).

Las principales acciones a realizar son las siguientes:

- Identificación de los cables y equipamiento en uso.
- Tendido y canalización de los cables de fibras.
- Trabajos relacionados con la realización de las segregaciones correspondientes.
- Instalación de los armarios repartidores de fibra donde corresponda y conectorización de esta a dichos repartidores ópticos.
- Medidas de calidad (reflectometrías y supervisión de fibra óptica) de los enlaces de fibra punto a punto.
- Instalación del equipamiento IPMM:
 - Equipos de comunicaciones.
 - Cableado de fibra/cobre.
 - Alimentación.
 - Puesta a tierra.
- Configuración y conexionado de los equipos de la red IPMM verificando su correcto funcionamiento.
- Pruebas de integración de los servicios transportados por la red IPMM.

Para poder comenzar con la instalación en el interior del cuarto de comunicaciones, es necesario que previamente se haya realizado el acondicionamiento de las salas técnicas donde se vayan a ubicar los equipos, para lo que se comprobará, que esta reúne entre otros los siguientes requisitos:

- Totalmente terminada en cuanto a construcción.
- Posibilidad de acceso a la sala técnica (permisos y espacios de carga , descarga y traslado del equipamiento).
- De acuerdo a replanto, espacio libre en los lugares elegidos para la ubicación de equipos, disponibilidad de canalizaciones para Fuerza y Datos, y de posiciones asignadas para Datos.
- Equipos de fuerza de corriente continua y corriente alterna disponibles y estables. Disponibilidad 220 Vac para herramientas de trabajo.

- Perfecta limpieza del suelo flotante, incluso bajo el falso suelo.
- Aire acondicionado en funcionamiento e iluminación suficiente de la sala.
- Anillo de tierras terminado, punto de conexión disponible de acuerdo a replanteo y medida igual o inferior a 10 Ω .

10.1.2.9. PUESTA EN MARCHA DE EQUIPAMIENTO EN EDIFICIOS TÉCNICOS

Terminada la fase de instalación de equipos en las salas técnicas se procederá a la puesta en marcha de estos allí ubicados. Durante esta tarea se realizará el encendido de los equipos, las comprobaciones básicas para verificar su disponibilidad, la carga del software necesario para su funcionamiento y la configuración de los mismos para poder integrarlos en red.

Para la realización de esta tarea es preciso disponer, por una parte, de energía en los emplazamientos, y, por otra, la red de telecomunicaciones fijas tiene que estar disponible en las salas técnicas.

10.1.2.10. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA BSS

Seguidamente, completada su puesta en marcha y realizadas las comprobaciones de los equipos de las casetas en obra con tensión, se continúa con la integración del sistema BSS.

Esto consiste en realizar las operaciones necesarias sobre todos los elementos de red implicados, a fin de poner las BTS a radiar. Estas operaciones incluyen, entre otras cosas, bloqueo y desbloqueo de enlaces, verificación de redundancias, de la configuración, del sistema de alarmas y reportes, etc.

Para llevar a cabo este trabajo es necesario tener, por una parte, energía en los emplazamientos y, por otra, los enlaces de fibra óptica, equipos de transmisión y equipos de la red de datos funcionando.

10.1.2.11. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA BSS CON NSS Y PRUEBAS FUNCIONALES

Una vez realizada la integración del sistema BSS de forma satisfactoria en al menos dos emplazamientos estando estos integrados en el sistema, se puede acometer las pruebas de integración del sistema BSS con NSS.

Estas se realizan para asegurar la correcta comunicación entre ambos sistemas, opcionalmente y en el caso de que no se disponga de emplazamientos o BTS integradas en la BSC, estas pruebas se podrán realizar mediante la instalación provisional de una BTS co-localizada con la BSC.

Para la ejecución de este trabajo es crucial disponer, por una parte, de energía en los emplazamientos y, por otra, de los enlaces de fibra óptica de equipo de transmisión funcionando y de la red de datos operativa.

Adicionalmente, las ampliaciones que hubiera previstas en la NSS tendrán que estar realizadas.

10.1.2.12. PRUEBAS DE OPTIMIZACIÓN

Estas pruebas de la red GSM-R, se ejecutan posteriormente a la integración de todas las BTS's de la línea.

Para ello, es sumamente necesario disponer de material rodante circulando y su ejecución dependerá de la disponibilidad del mismo.

Después de integrar las BTS's con la MSC, hay que llevar a cabo unas primeras medidas para detectar y corregir posibles problemas de interferencias, Handovers no deseados, falta de cobertura en algún punto o sobrealcance de celdas.

Estas medidas de optimización se realizan para detectar posibles problemas y, posteriormente, proponer correcciones para los mismos (normalmente, ajuste de parámetros en la base de datos y/o ajuste de las antenas) y se realizan de nuevo las medidas para comprobar si es necesario o no realizar nuevas acciones correctivas.

En conclusión, las medidas de optimización son, por tanto, un proceso continuado de toma de medidas, análisis, modificaciones en la red y toma de medidas de nuevo hasta que el sistema funciona de manera correcta.

10.1.2.13. PRUEBAS DE CALIDAD DE SERVICIO

Finalizada la actividad de optimización, se efectuarán las pruebas de calidad de servicio.

Estas son extremo a extremo y con circulación de trenes. Consisten en la realización de mediciones de los parámetros técnicos del sistema verificando que se cumplen los valores requeridos.

Las pruebas se dividen en dos partes (Voz y Datos).

Los parámetros técnicos y las funciones más importantes para la aceptación del sistema para voz que se evaluarán son los siguientes:

- Nivel de cobertura (-85dBms Outdoor/en exterior y -70dBms en túnel).
- Comprobación de Handovers.
- Medida en modo reselección.
- Comunicación con Cabradio.
- Además, se llevarán a cabo las pruebas y comprobaciones del servicio GSM-R voz que el Director de Obra estimara oportunas.

En lo que se refiere a datos:

- Se realizarán las pruebas indicadas en la especificación O-2475 v3.0 (19-02-2007) [1] una vez aprobado y validado el sistema para voz.

El sistema de Voz tendrá que estar validado en el plazo que dura la fase 1, mientras que las pruebas de datos, siguiendo la norma O-2475 [1], podrá extenderse hasta un máximo de 5 meses como se indicó anteriormente.

10.1.3. EMPLAZAMIENTO TIPO B (RRU(ARMARIO GSM-R) + MÁSTIL/TORRE)

Las actividades para este tipo de emplazamientos serán similares a las del tipo A, con la salvedad de todas aquellas derivadas del suministro y montaje de la caseta; en su lugar, se instala un armario metálico de intemperie, sobre una losa de hormigón con dimensiones adaptadas a las de dicho armario. El equipamiento que se instalaría en su interior es el siguiente:

- Equipo unidad remota con todos sus elementos.
- Sistema de distribución de energía.
- Toma de tierras y descargador de sobretensiones.
- Equipamiento auxiliar (luminarias, climatización, etc.).

10.1.4. EMPLAZAMIENTO TIPO C (SIN MÁSTIL/TORRE)

De igual forma, las actividades para este tipo de emplazamientos serán idénticas a las indicadas en el resto de emplazamientos tipo, salvo las derivadas del suministro, excavación de zapata, hormigonado e izado de las correspondientes torres o mástiles, ya que en estos emplazamientos no se montan. Esto ocurre en aquellos emplazamientos en túneles en los cuales las antenas se instalan directamente en los hastiales o frontis de estos.

10.1.5. ENTREGA DEL SISTEMA

La entrega del sistema podrá conllevar, previamente, la recepción parcial del sistema o de partes del mismo con la emisión de listados de puntos pendientes, que se acordarán entre el contratista y ADIF, y que se resolverán de forma previa a la aceptación definitiva del sistema.

En cualquier caso, todas las instalaciones anteriores se ubicarán dentro de los terrenos de ADIF [9], guardando los márgenes de seguridad exigibles a la línea ferroviaria.

10.2. FASE II: ACTUACIONES EN INSTALACIONES EXISTENTES

En este bloque se definen aquellas actividades que, programadas convenientemente, harán posible la ejecución en los plazos expresados en el diagrama de Gantt que se acompaña al Plan de Obra.

Dentro de esta fase se realizarán las siguientes labores:

- Integración MSC-PABX y sistemas de telecomunicaciones en IN.
- Aumento capacidad MSC llamadas grupo.
- Actualización de base de datos de MSC e IN.
- Ampliación conectividad de datos o fax, con BSS y con 1 E1 otros sistemas.
- Integración del sistema en plataforma paraguas tipo Netcool o Nagios y en sistema de supervisión tipo Expandium.
- Aceptación del sistema en su conjunto, incluidas las pruebas de los distintos servicios disponibles en la red, así como el handover entre elementos redundantes del sistema, la calidad del servicio, etc.

10.3. DIAGRAMA DE GANTT

Nombre de tarea	Duración	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
GSM-R PALENCIA-LEÓN	450 días																	
FASE I	450 días																	
Firma del acta de replanteo	0 días																	
Cumplimiento hitos contractuales (Plan de Calidad, Plan de Seguridad y salud, etc.)	0 días																	
Ingeniería / simulación radioeléctrica	125 días																	
Simulación radioeléctrica	20 días																	
Replanteo	10 días																	
Estudios geotécnicos y cálculo cimentaciones	20 días																	
Aprobación Adif Cimentaciones	0 días																	
Aprobación Adif para comienzo de acopios	25 días																	
Acopio de Equipos	50 días																	
Fabricación/Acopio equipos de radio BTS & BSC	50 días																	
Fabricación/Acopio equipamiento de telecomunicaciones fijas	50 días																	

Nombre de tarea	Duración	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
Fabricación/Acopia de cables RF	50 días					■	■	■										
Fabricación/acopio de equipos AA caseta GSMR	30 días					■	■											
Fabricación/Acopia de equipos energía GSMR	50 días					■	■	■										
Fabricación/Acopia casetas hormigón GSM-R	50 días					■	■	■										
Integración/Aceptación de Casetas en campa	25 días							■	■									
Montaje/ Integración de Casetas GSM-R en campa	20 días							■	■									
Pruebas/Aceptación Casetas GSRM en campa	22 días							■	■									
Acopio de Infraestructuras	50 días					■	■	■										
Acopio de torres/mástiles	50 días					■	■	■										
Acopio de arquetas	30 días					■	■											
Ejecución Emplazamientos	125 días							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Emplazamiento BTS 1	75 días							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Emplazamiento RRU 1.1	65 días							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Emplazamiento RRU 1.2	65 días							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Emplazamiento RRU 1.3	65 días							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Nombre de tarea	Duración	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
Emplazamiento RRU 1.4	65 días																	
Emplazamiento BTS 2	75 días																	
Emplazamiento RRU 2.1	65 días																	
Emplazamiento RRU 2.2	65 días																	
Emplazamiento RRU 2.3	65 días																	
Emplazamiento RRU 2.4	65 días																	
Emplazamiento BTS 3	75 días																	
Emplazamiento RRU 3.1	65 días																	
Emplazamiento RRU 3.2	65 días																	
Emplazamiento RRU 3.3	65 días																	
Emplazamiento RRU 3.4	65 días																	
Emplazamiento BTS 4	75 días																	
Emplazamiento RRU 4.1	65 días																	
Emplazamiento BTS 5	75 días																	
Pruebas de Validación e Integración Red GSM-R	30 días																	
Energía y Telecomunicaciones fijas BTS 1 – RRU 2.3	0 días																	
Integración emplazamientos tramos BTS 1 – RRU 2.3	25 días																	
Energía y fibra disponible tramos RRU 2.4 – BTS 5	0 días																	
Integración emplazamientos tramos RRU 2.4 – BTS 5	25 días																	

Nombre de tarea	Duración	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	
Pruebas de Validación Funcional red GSM-R	60 días																		
Disponibilidad de línea para circulación tren de prueba	0 días																		
Pruebas Optimización	20 días																		
Pruebas de funcionalidad GSM-R voz y pruebas con cab radio	10 días																		
Pruebas de Calidad de Servicio (QoS)	30 días																		
Aceptación y Recepción de Instalaciones	0 días																		
Pruebas de validación de datos (O-2475)	110 días																		
Pruebas de validación de datos (O-2475)	110 días																		
Telecomunicaciones fijas	190 días																		
Replanteo	5 días																		
Instalación de equipamiento en Cuartos de Comunicaciones/ Apeaderos	40 días																		
Integración y pruebas	20 días																		
Aceptación del sistema	0 días																		

Nombre de tarea	Duración	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
FASE II NSS (Actuaciones sobre instalaciones existentes)	47 días								[Redacted]									
Integración de los anillos en BSC	5 días								[Yellow]									
Integración y pruebas del sistema BSS	7 días								[Yellow]	[Yellow]								
Instalación de consola de llamadas y gestores de supervisión y alarmas	10 días								[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]							
Ampliación de conectividad y capacidad en MSC	5 días								[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]						
Integración MSC-PABX, IN	10 días								[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]					
Actualización de bases de datos en NSS	5 días								[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]					
Pruebas de validación	5 días								[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]				
Pruebas de comunicación EVC-RBC (dinámicas)	5 días								[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]			
Pruebas de comunicación EVC-RBC (estáticas)	5 días								[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]	[Yellow]		

Nombre de tarea	Duración	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	
GSM-R PALENCIA-LEÓN	450 días									
FASE I	450 días									
Pruebas de validación de datos (O-2475)	110 días									
Pruebas de validación de datos (O-2475)	110 días									

Tabla 31. Diagrama de Gantt

11. CONCLUSIONES

El GSM-R ha sido desde sus inicios un sistema eficaz para garantizar los objetivos que se buscaban con su implantación, mejorando los niveles de seguridad y precisión del antiguo sistema Tren-Tierra, donde podía influir el error humano.

En la actualidad, este sector se encuentra en pleno auge gracias al plan estratégico europeo de la agenda 2030 siendo precisamente este año 2021 el del ferrocarril. A su vez, con este medio, se busca conectar Europa, de ahí que surgiera ERTMS (European Rail Traffic Management System) [1], siendo un importante avance hacia la consecución del espacio ferroviario europeo único, es decir, conseguir una movilidad transfronteriza ininterrumpida [17].

Numerosos países están apostando por este medio de transporte por diversos motivos, como pueden ser la sostenibilidad, la baja repercusión ambiental y la fomentación de las energías renovables, buscando alcanzar el objetivo del Pacto Verde Europeo de aquí al año 2050 [18].

También, este Plan Ferroviario supondrá un beneficio social, por ejemplo, en entornos rurales prácticamente despoblados mejorando la calidad de vida de sus habitantes y generando empleo y turismo al poder tener un medio de transporte accesible.

Como se ha comentado anteriormente, la Estrategia para una Movilidad Inteligente y Sostenible será clave para hacer real el Pacto Verde y que la Unión Europea alcance la neutralidad climática en 2050 y, es por ello, que el uso del ferrocarril será primordial para reducir las emisiones de dióxido de carbono [19].

Por último, esto conllevará una inversión importante y cuantiosa, provocando también la activación de la economía y prosperidad.

Por todo esto y mucho más, el GSM-R tiene un papel crucial y, en conclusión, un presente y futuro esperanzador.

12. PLIEGO

Para la redacción y supuesta ejecución posterior de la obra de este proyecto, se deberían cumplir los siguientes real decretos ley, directivas, recomendaciones, reglamentos, normas, leyes, especificaciones técnicas. Esta información se ha obtenido según las siguientes referencias bibliográficas: [1], [5], [7], [8], [11], [14], [15], [16], [18], [20], [21]. Se excluirán aquellas no relacionadas directamente con la temática de este TFG o la rama de la ingeniería.

- Nivel de potencia acústica de la maquinaria según la Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2000 y el Real Decreto 524/2006 de 28 de abril.
- Para instalaciones de puesta a tierra se seguirán las prescripciones de la UNE-EN 50122-1:2011 Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Seguridad eléctrica, puesta a tierra y circuito de retorno. Parte 1: Medidas de protección contra los choques eléctricos; considerando lo indicado en su modificación UNE-EN 50122-1:2011/A1.
- Requisitos de gálibo según la norma EN 15273:2013 y la Orden FOM1630/2015.
- Construcción y fabricación de equipos según anexo A, cuadro A2 de la ETI relativa a los subsistemas de “control-mando y señalización”.
- Las especificaciones de la reacción al fuego de materiales deberán cumplir con los requisitos de la clase A2 de la Decisión 2000/147/CE y clase B de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión.
- Los cables que se instalen expuestos en el interior de túneles serán, como mínimo, de clase B2ca, s1a, d1, a1, conforme a lo indicado en el Reglamento Delegado (UE) 2016/364.
- Afecciones sobre zonas de libre acceso de viajeros deberán cumplir la ETI de accesibilidad, Reglamento (UE) Nº 1300/2014 de la Comisión de 18 de noviembre de 2014 y su modificación por el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/772 de la Comisión de 16 de mayo de 2019.
- Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del sector ferroviario.
- U.I.C. Normas de la Unión Internacional de Ferrocarriles, así como todas aquellas Normas vigentes en RENFE relacionadas con las obras.
- U.I.T.-T Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- C.E.I. Normas de la Comisión Electrónica Internacional.
- E.R.T.M.S. European Rail Traffic Management System.
- E.I.R.E.N.E. European Integrated Railway Radio Enhanced Network.
- E.T.C.S. European Train Control System.
- E.T.S.I. European Telecommunications Standards Institute.
- M.O.R.A.N.E. Mobile Radio for Railway Networks in Europe.
- O-2475 3.0 RTMS/GSM-R Quality of Service .Test Specification (19-February-2007) V3.
- O-2647 1.0 GPH/OPH Functional Tests & Validation (29-01-2007) V.1.
- Directiva (UE) 2016/797 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de mayo de 2016, sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Unión Europea (versión refundida).

- Reglamento (UE) Nº 1301/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, sobre las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema de «energía» del sistema ferroviario de la Unión.
- Reglamento (UE) Nº 1299/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, relativo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema «infraestructura» en el sistema ferroviario de la Unión Europea.
- Reglamento (UE) 2016/912 de la Comisión, de 9 de junio de 2016, por el que se corrige el Reglamento (UE) nº 1303/2014 sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa a la «seguridad en los túneles ferroviarios» del sistema ferroviario de la Unión Europea.
- Real Decreto 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviarias.
- Normas emitidas por CENELEC (UNE).
- ET 03.354.019.6 Cables de baja tensión para el suministro de energía (hasta 1 kV). 2ª Edición.
- ET 03.366.780.9_7 Cables de fibra óptica monomodo multifibra. (7ª ed.).
- ET 03.366.953.2 Rectificadores de 48Vcc para Telecomunicaciones.
- NAT 300 Sistemas de puesta a tierra de las instalaciones de seguridad y comunicaciones.
- NRS 03.432.310 Norma sobre los sistemas de tendido subterráneo de cables.
- ET 03.366.740.3 Conductos de PVC para la instalación de cables de comunicaciones.
- ET 03.366.101.8_1M1 Casetas prefabricadas para equipos de telecomunicaciones.
- NAT 105 Montaje de casetas prefabricadas para equipos de Telecomunicaciones.
- NAT 309 Instalación de repartidores generales.
- 03.366.405.3 Para el suministro de armarios de equipos para telefonía selectiva.
- 03.366.407.9 Para el suministro de puesto de mando.
- 03.366.408.7 Para el suministro de teléfonos de intemperie de vía.
- 03.366.409.5 Para el suministro de conectores de vía seccionable.
- 03.366.412.9 Para el suministro de transformadores de línea (bobinas trasladoras).
- NAT 701 Norma de recepción de cables de larga distancia instalados.
- MT 5-705 Norma para confeccionar empalmes en cubiertas de cables por el sistema Raychem XAGA 250.
- ET 03.365.052.4 Cables para las instalaciones de señalización. 2ª Edición.
- NAT 730_3 Documentación a entregar y medidas a realizar en instalación y actuaciones sobre cables de fibras ópticas (3ª ed.).
- MT 5-732 Recomendaciones a tener en cuenta durante la instalación de repartidores ópticos de CP (tipo ETSI).
- MT 5-733, MT 5-735, MT 5-737, MT 5-739, Recomendaciones a seguir durante la instalación de repartidores ópticos Raychem (Fist).
- MT 5-740, MT 5-741, MT 5-742 Recomendaciones a seguir durante la realización de sangrías de segregación y terminación de cables de fibra óptica, utilizando cajas de empalme Raychem (Fist) y en cajas-repartidor murales con tecnología Raychem (Fist).
- EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural. (R.D. 1247/2008, de 18 de julio).
- NTE-EME. Estructuras de madera: Encofrados.
- CTE. DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos.

- RC-16 Instrucción para la Recepción de Cementos. (R.D. 256/2016 de 10 de junio).
- Eurocódigo 2, “Proyecto de Estructuras de Hormigón”.
- Eurocódigo 3, “Proyecto de Estructuras de Acero”.
- UNE 21123 “Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV.”
- DIN 4131 “Acciones de viento sobre mástiles en celosía de sección cuadrada”.
- UNE 36099 “Alambres corrugados de acero para armaduras de hormigón armado”.
- UNE 100171 “Climatización. Aislamiento térmico. Materiales y colocación”.
- R.E.B.T. Reglamento electrotécnico de baja tensión (R.D. 842/2002 de 2 de agosto) e Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC- BT 01 a 06 y 08-51).
- R.L.A.T. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión. (R.D. 223/2008 de 15 de febrero y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT-01 a 09).
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- UNE-EN 50561-1:2014 Equipos de comunicación sobre la red eléctrica utilizados en instalaciones de baja tensión. Características de las perturbaciones radioeléctricas. Límites y métodos de medida. Parte 1: Equipos de uso doméstico.
- UNE-EN 60950 Equipos de tecnología de la información. Seguridad.
- Norma para la designación de vías y componentes de la superestructura en la red.
- LSF Ley del Sector Ferroviario, Ley 38/2015.
- BOE-A-2009-20725 Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.
- RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.
- NAR nº5/16: Corte y restablecimiento de tensión en catenaria.
- 89/391/CEE Directiva Marco.
- Sistema de seguridad de carril fijo en acero según norma UNE-EN 353-1.
- UNE-EN 1991-1-1. Pesos específicos, pesos propios y sobrecargas.
- UNE-EN 1991-1-4. Acciones del viento.
- Canalizaciones y Arquetas en base a la NAS 310.

Si se produce alguna discrepancia entre las normas, Real Decreto, recomendaciones, etc. citadas anteriormente, será de aplicación la más exigente. Si hay contradicciones en el proyecto, prevalecerán las disposiciones generales, pero como criterio general, prevalecerá lo establecido en el proyecto, salvo que en el pliego se haga remisión expresa a un artículo preciso de una norma concreta, en cuyo caso prevalecerá lo establecido en dicho artículo.

El Contratista está obligado a la plena observación de las anteriores instrucciones o normas, así como que de las que según el criterio del Director de Obra tengan aplicación en los trabajos a realizar.

En el caso de que aparezcan contradicciones entre los documentos contractuales, la interpretación corresponderá al Director de Obra, estableciéndose el criterio general de que, salvo indicación en contrario, prevalece lo que se establezca en el Pliego.

El Contratista estará obligado a poner cuanto antes en conocimiento del ingeniero director de las obras cualquier discrepancia que observe entre los distintos planos del proyecto o cualquier otra circunstancia surgida durante la ejecución de los trabajos, que diese lugar a posibles modificaciones del proyecto.

13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] UIC ERTMS/GSM-R Operators Group GSM-R Industry Group, “ERTMS/GSM-R Quality of Service Test Specification”, REFERENCE O-2475 v3.0, pp 1-36, February, 2007, [Online]. Disponible: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/qos_test_specification_0-2475_v3_en.pdf
- [2] A. Rubio, “Sistema de Comunicaciones GSM-R: El Estándar Ferroviario de Comunicaciones”, pp. 1-3, Abr-May, 2014. [Online]. Disponible: <https://www.coit.es/sites/default/files/archivobit/pdf/trubio.pdf>
- [3] “Así funciona el ERTMS, Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario”, *vía libre. La revista del ferrocarril*, Julio 2013. [Online]. Disponible: <https://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=11170>
- [4] L. García, “Telecomunicaciones ferroviarias en las líneas de alta velocidad”, pp. 1-6, Jun-Jul, 2006. [Online]. Disponible: <https://www.coit.es/sites/default/files/archivobit/pdf/luisgarciatassias.pdf>
- [5] UIC CODE 951-16.0.0, “EIRENE - System Requirements Specification Version 16.0.0,” no. 21 December 2015.
- [6] “El Sistema Global de Comunicaciones Móviles para Ferrocarriles, GSM-R”, *vía libre. La revista del ferrocarril*, Junio 2005. [Online]. Disponible: <https://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=332>
- [7] Página web de la Unión Internacional de Ferrocarriles, U.I.C: <https://uic.org/>
- [8] Página web del European Telecommunications Standards Institute, E.T.S.I.: <https://www.etsi.org/>
- [9] Página web del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, A.D.I.F.: http://www.adif.es/es_ES/index.shtml
- [10] “GSM Tutorial”. [Online]. Disponible: <https://www.tutorialspoint.com/gsm/index.htm>
- [11] Página web de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, U.I.T.: <https://www.itu.int>
- [12] Página web del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea P.N.O.A.: <https://pnoa.ign.es/>
- [13] Página web del Centro Nacional de Información Geográfica C.N.I.G.: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- [14] Página web de la Asociación Española de Normalización, U.N.E.: <https://www.une.org/>
- [15] “Normativa Técnica de ADIF”, [Online]. Disponible: <http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf>
- [16] Página web del Boletín Oficial del Estado, B.O.E.: <https://boe.es/>
- [17] “Año Europeo del Ferrocarril”, Febrero, 2021, [Online]. Disponible: <https://esmovilidad.mitma.es/noticias/ano-europeo-del-ferrocarril>

- [18] Página web del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, MITMA. [Online]. Disponible: <https://www.mitma.gob.es/>
- [19] “Plan para reducir un 90% el CO2 del transporte para 2050” Diciembre, 2020. [Online]. Disponible: <https://www.ambientum.com/ambientum/contaminacion/plan-para-reducir-un-90-el-co2-del-transporte-para-2050.asp>
- [20] Página web del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, I.N.S.S.T.: <https://www.insst.es/>
- [21] Página web de la Asociación de Mutuas de Accidentes de Trabajo, A.M.A.T.: <https://www.amat.es/>
- [22] G. Zarcero, “Experiencias en la construcción de redes GSM-R en las líneas de alta velocidad de ADIF”, pp 1-3, Jun-Jul, 2006. [Online]. Disponible: <https://www.coit.es/sites/default/files/archivobit/pdf/gregoriozarcero.pdf>
- [23] “La Red Natura 2000 en España” [Online]. Disponible: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_espana.aspx.
- [24] J. I. Alonso, C. Franco, F. Mellado, M. Pérez, J. F. Plaza, V. Ramos “Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Ferroviarios”. [Online]. Disponible: https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/entornos_ferrovianos_.pdf
- [25] M. Requejo. “Integración de las redes móvil GSM-R en las líneas ferroviarias Mundiales”. Febrero, 2016. [Online]. Disponible: <https://www.eadic.com/integracion-de-las-redes-movil-gsm-r-en-las-lineas-ferroviarias-mundiales/>
- [26] “GSM-R Solution. Optimized for railroads, GSM-R uses proven EIRENE-compliant digital wireless technology”. [Online]. Disponible: <https://e.huawei.com/es/solutions/business-needs/wireless-private-network/GSM-R-new>
- [27] “GSM-Railway. Ensure safe and reliable operations”. [Online]. Disponible: <https://www.nokia.com/networks/solutions/gsm-railway/>
- [28] “GSM-R. RAILWAY DEDICATED NETWORKS FOR RELIABLE AND FUTURE-PROOF COMMUNICATIONS”. [Online]. Disponible: <https://www.kontron.com/ktrdn/gsm-r>
- [29] J. M. Hernando, L. Mendo, *Comunicaciones Móviles*, 3rd ed. Editorial Universitaria Ramón Areces, 2015.
- [30] S. Dudoyer, V. Deniau, N. Ben, and R. Adriano, “Susceptibility of the GSM-R Transmissions to the Railway Electromagnetic Environment,” *Infrastruct. Des. Signal. Secur. Railw.*, no. April, 2012.
- [31] “Characteristics of a single-mode optical fibre and cable”, Recommendation ITU-TG.652 (11/16), 2016, [Online]. Disponible <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/en>

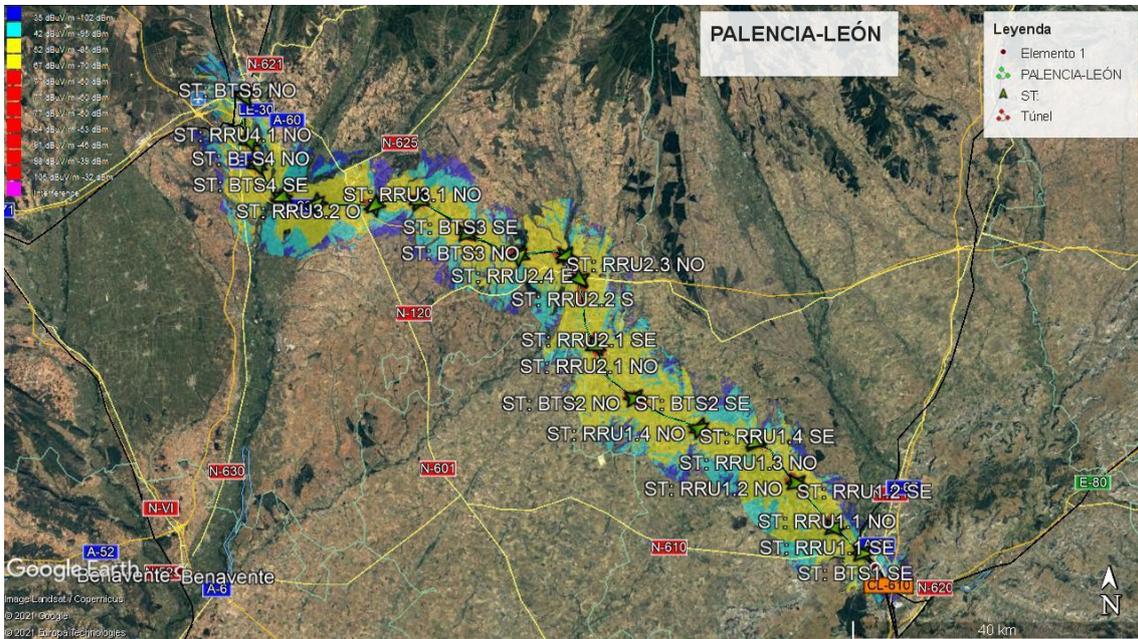
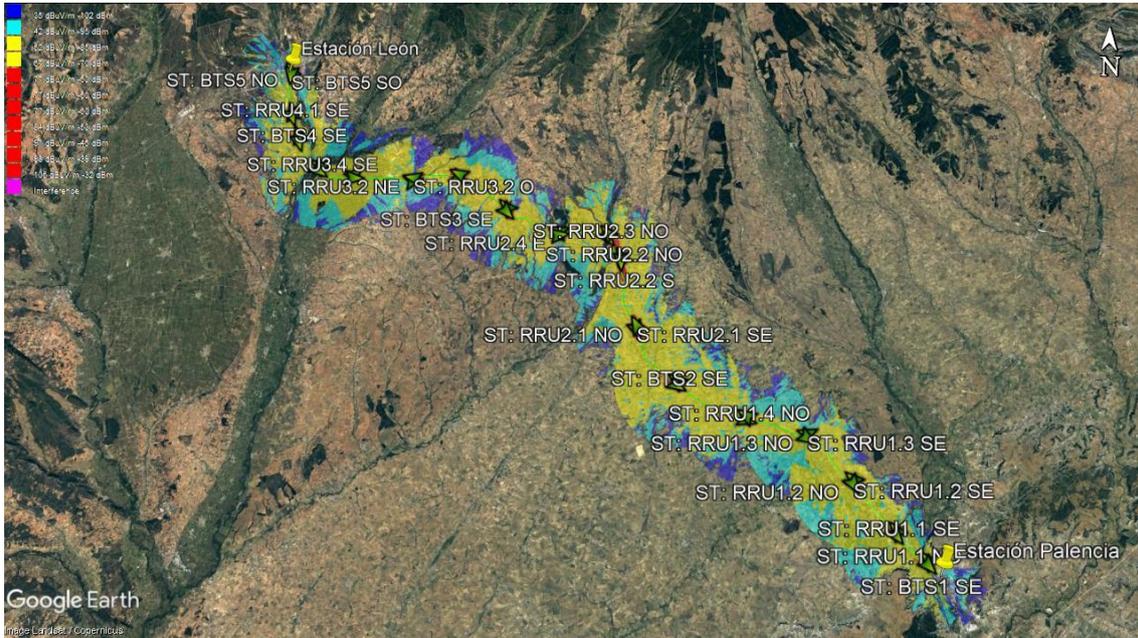
- [32] Página web de la European Union Agency for Railways, E.R.A:
<https://www.era.europa.eu/>
- [33] Report, “Evolution of Railway Radio Communication: System Definition”, REC-129 v 1.0, 2018. [Online]. Disponible:
https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/evolution_of_railway_radio_communication_system_definition.pdf
- [34] “Rail Communications (RT)”. [Online]. Disponible:
<https://www.etsi.org/technologies/rail-communications>
- [35] Página web de la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles, RENFE:
<https://www.renfe.com/es/es>
- [36] “Interfaces GSM Um, A-bis, A” January, 2016. [Online]. Disponible:
https://www.researchgate.net/publication/295814286_GSM_Interfaces_Um_A-bis_A
- [37] “RADIOTELEFONÍA DIGITAL GSM-R: NORMA DE LA RADIOCABINA” Borrador-Versión 2.3. [Online]. Disponible:
https://www.seguridadferroviaria.es/recursos_aesf/9C9AF5E2-377B-40FF-8DD0-EA81AD761C38/144056/040NormacabradioGSMR_V23.pdf
- [38] Rohde-Schwarz, “GSM-R Technology”, [Online]. Disponible: https://www.rohde-schwarz.com/es/tecnologias/celular/gsm-r/tecnologia-gsm-r/tecnologia-gsm-r_55926.html

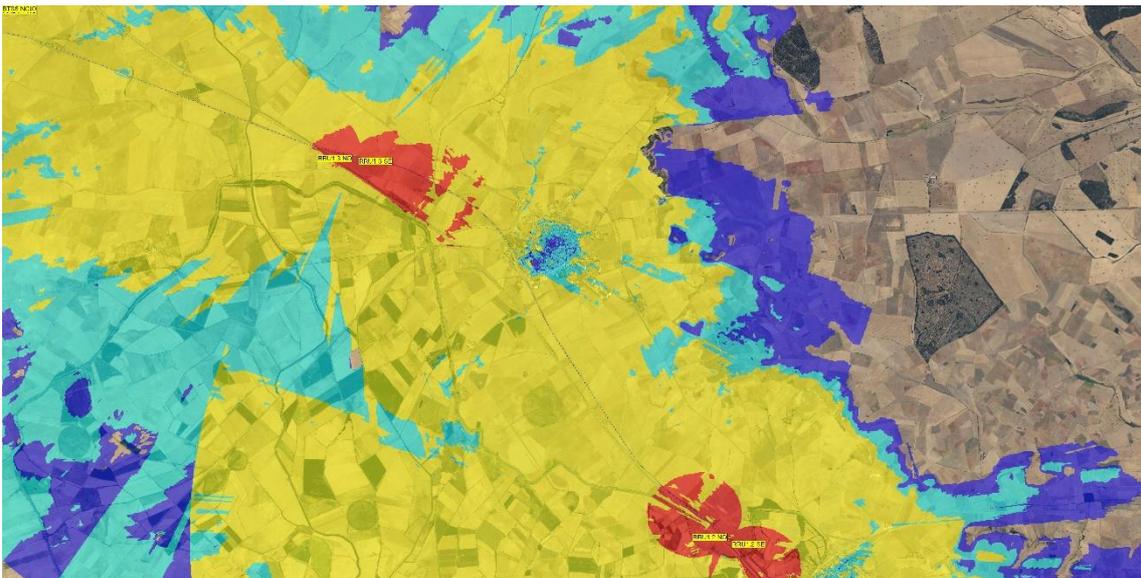
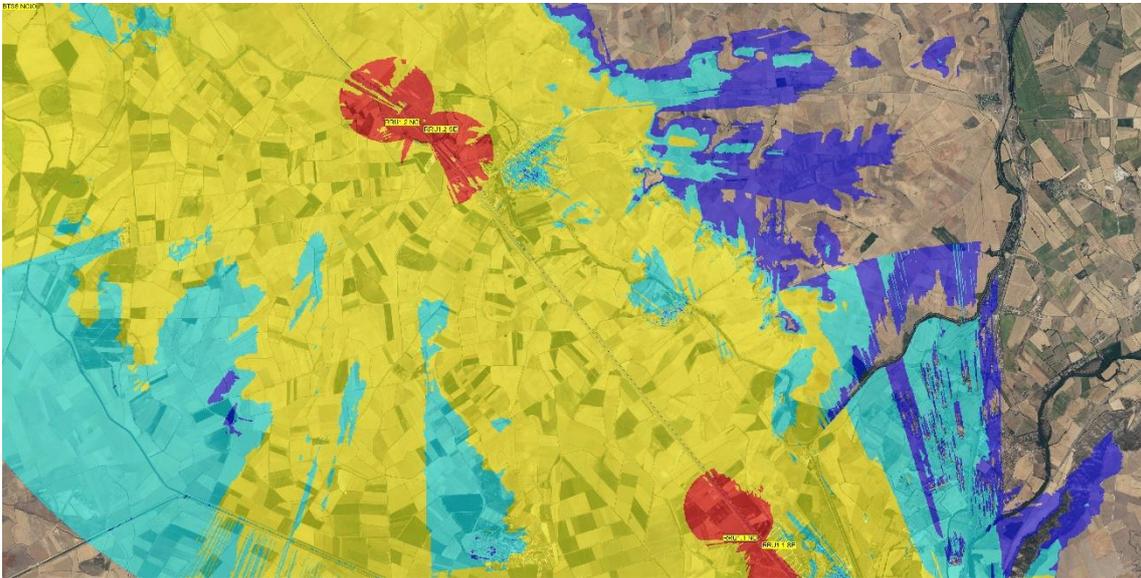
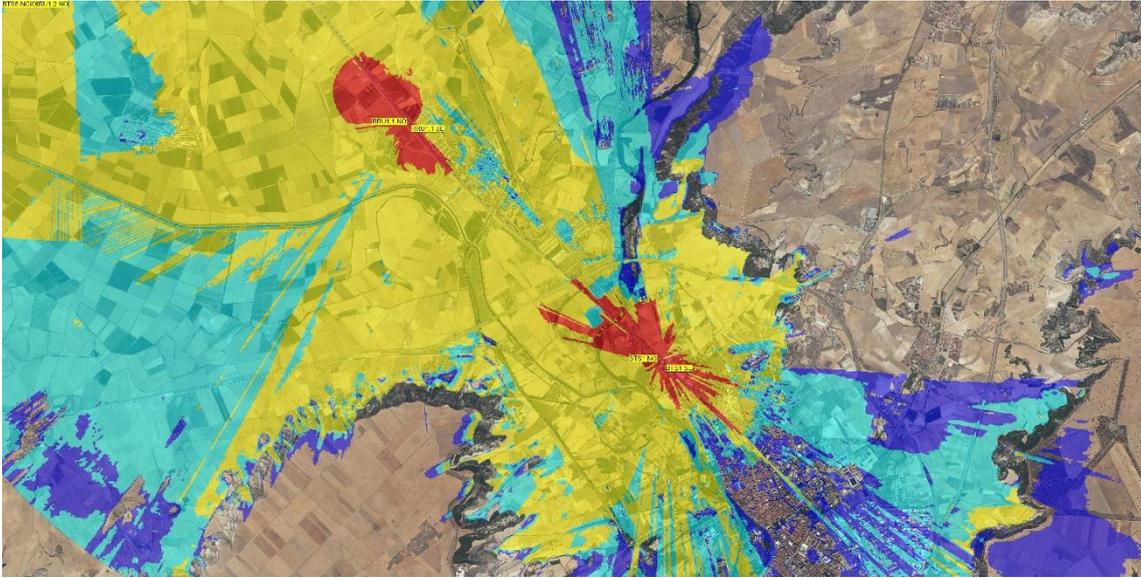
14. ANEXOS

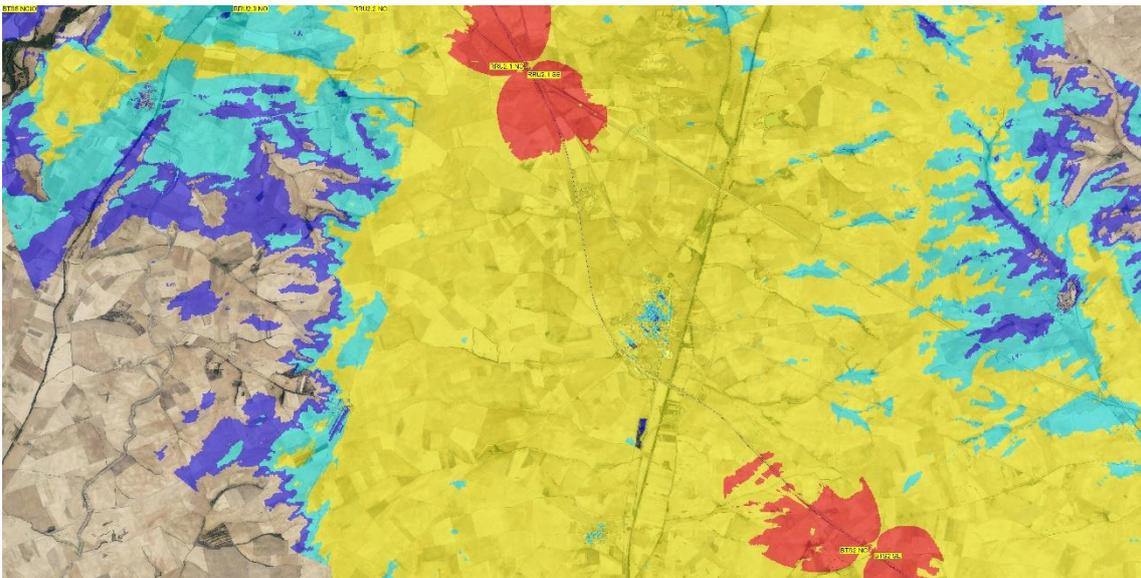
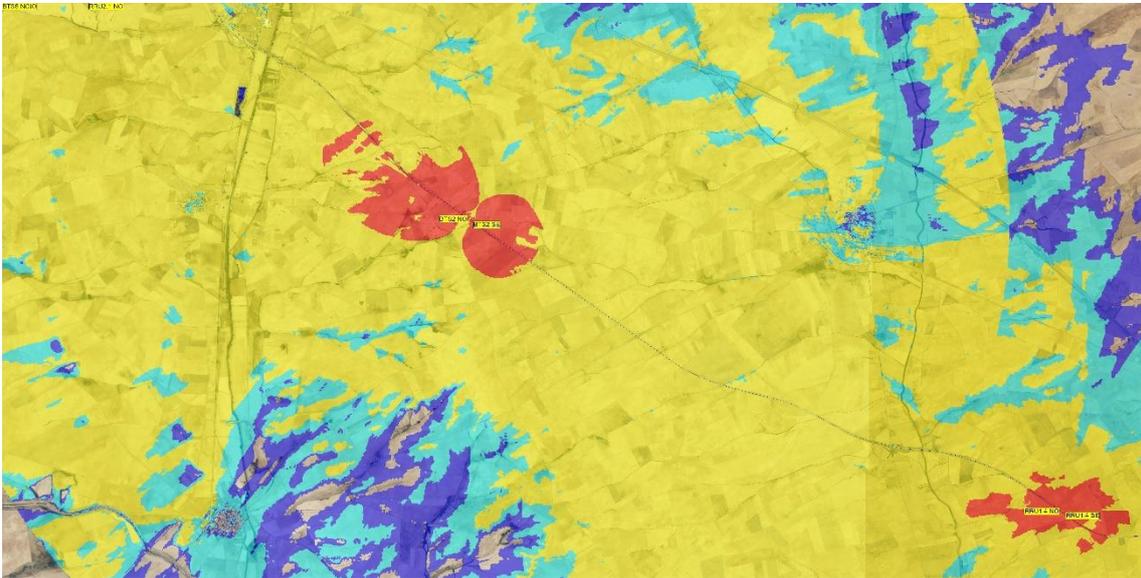
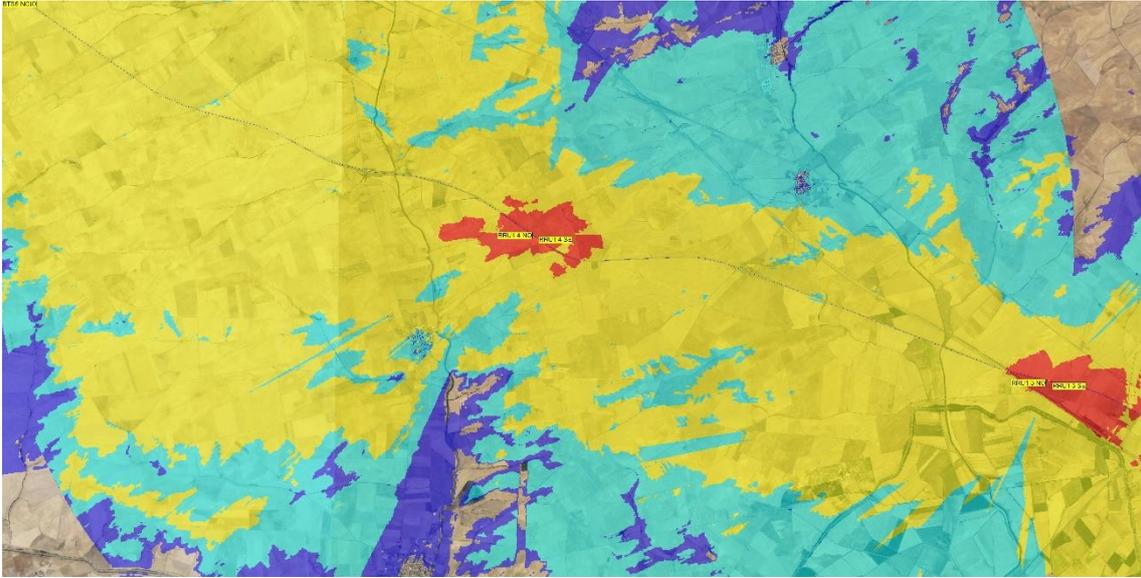
14.1. PLANOS

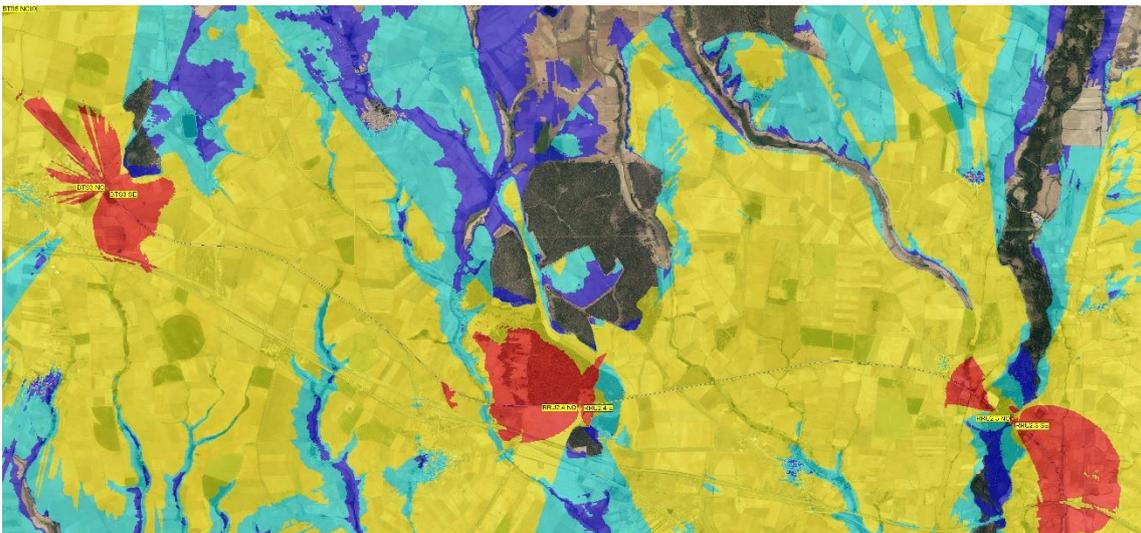
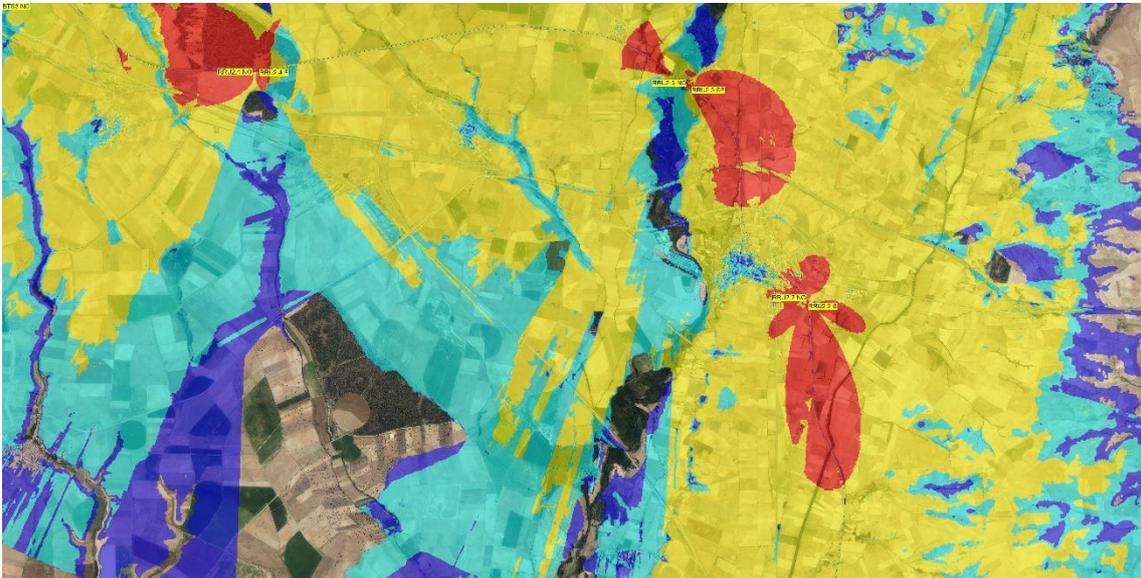
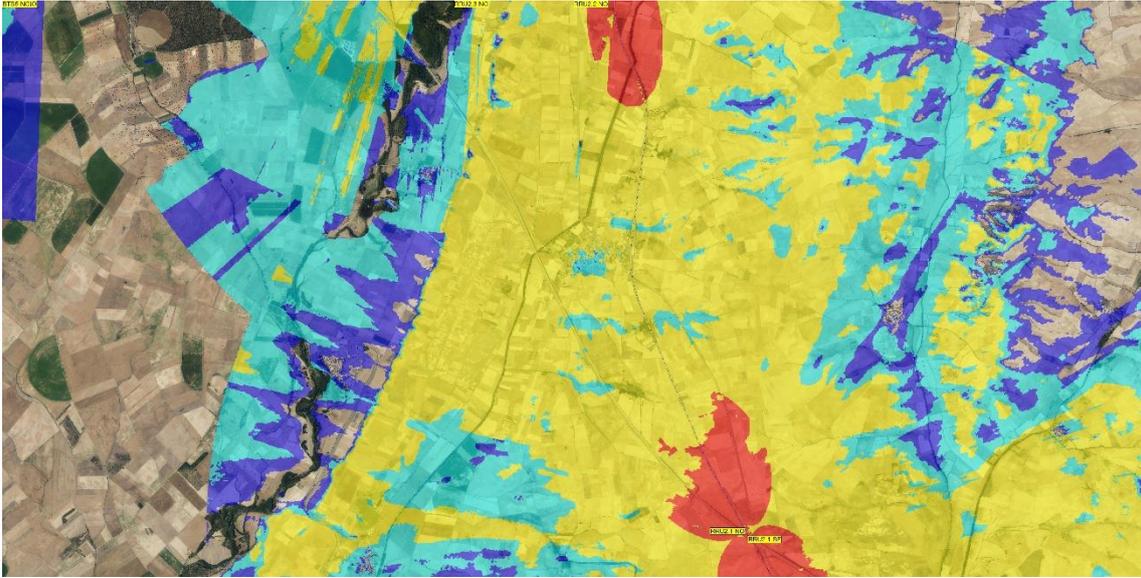
14.1.1. COBERTURA RADIOELÉCTRICA

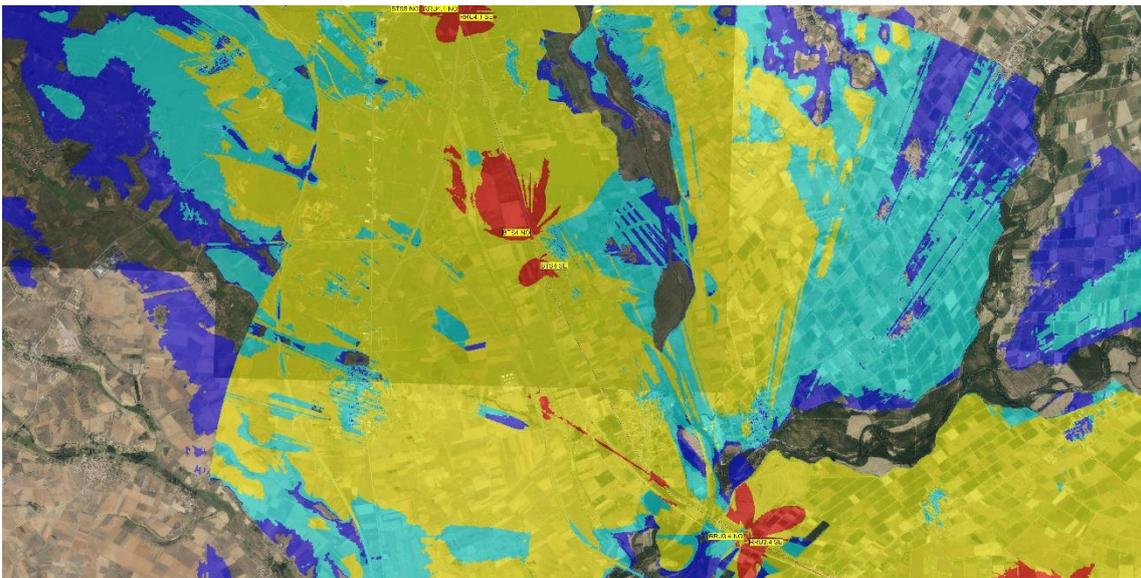
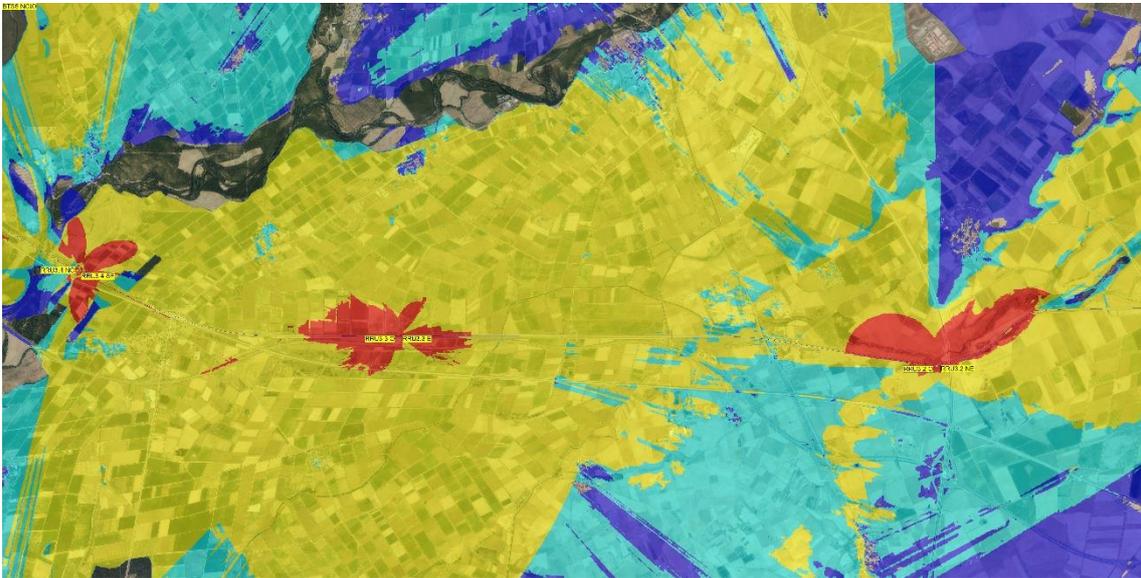
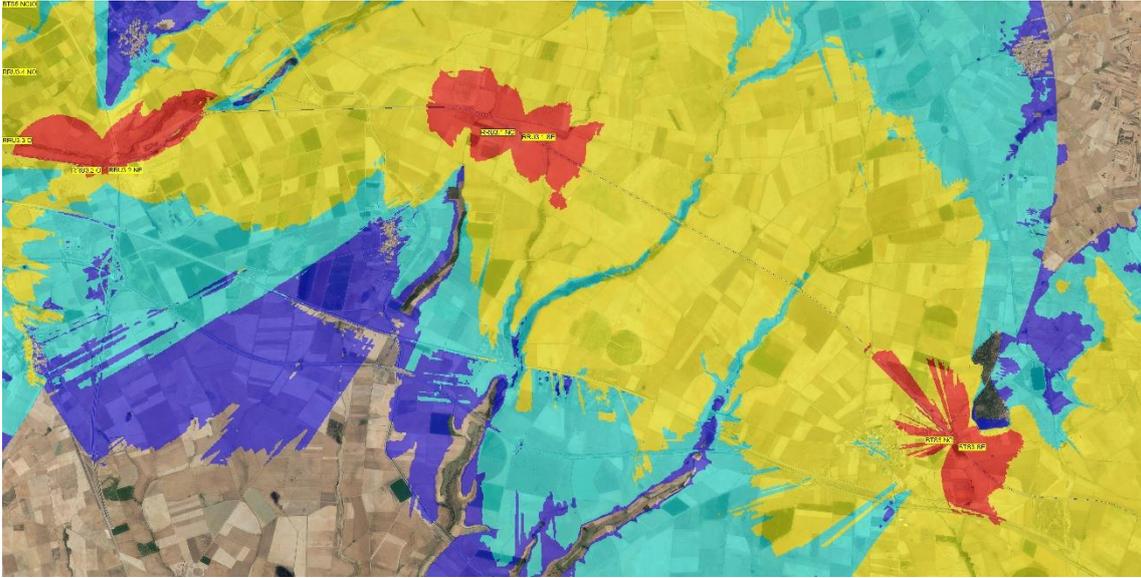
Al final de este apartado, se podrá observar la leyenda utilizada en las siguientes imágenes, tomadas directamente de Google Earth y el software de simulación radio.

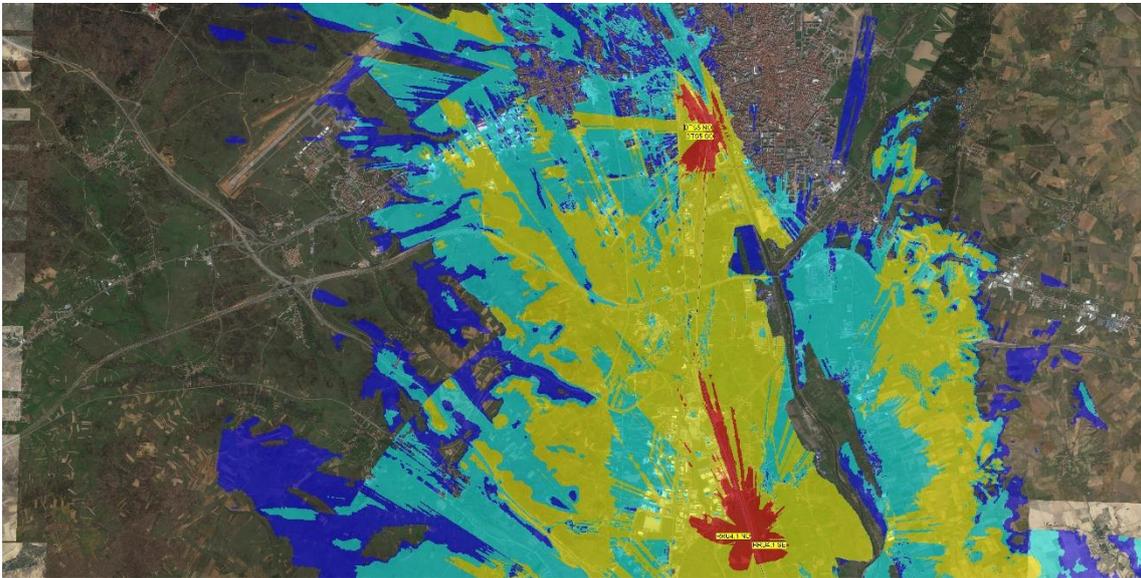
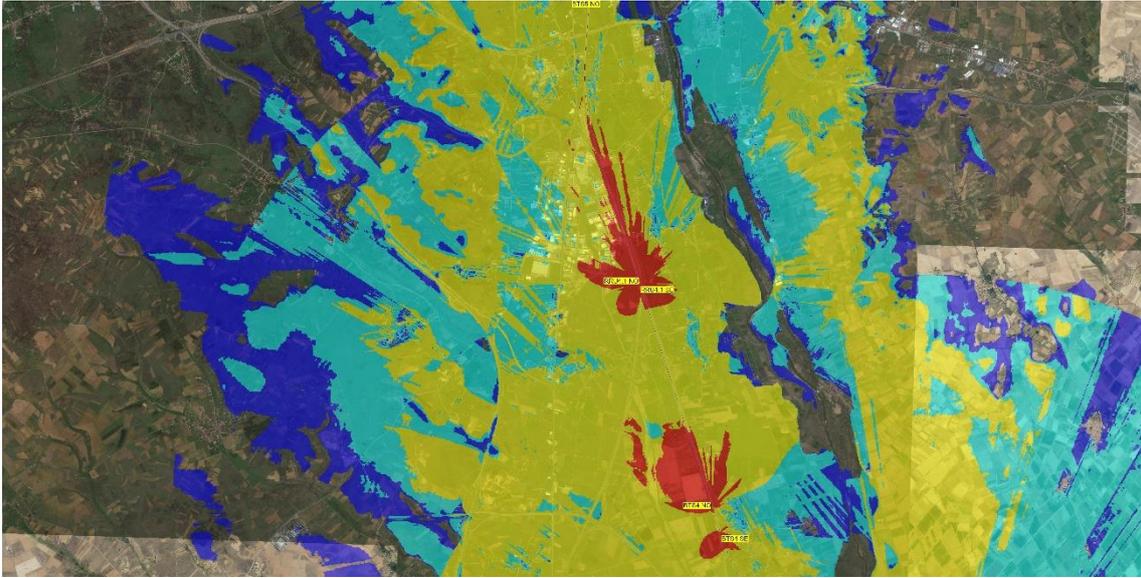




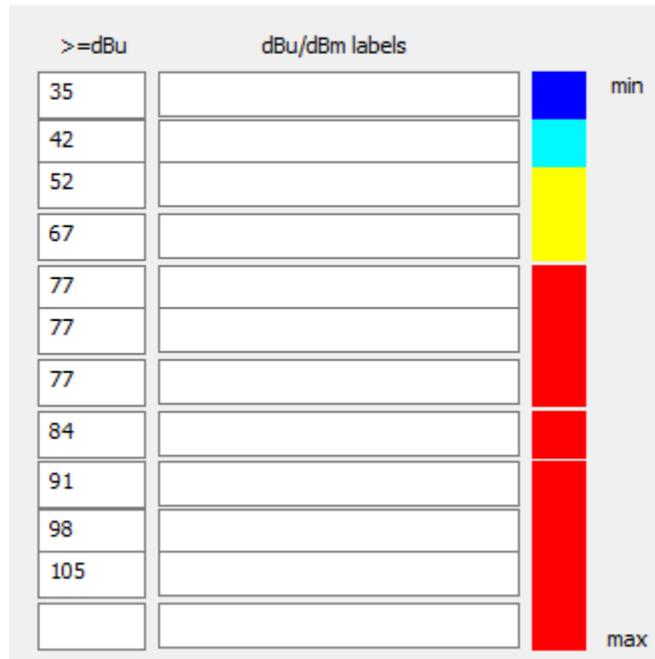






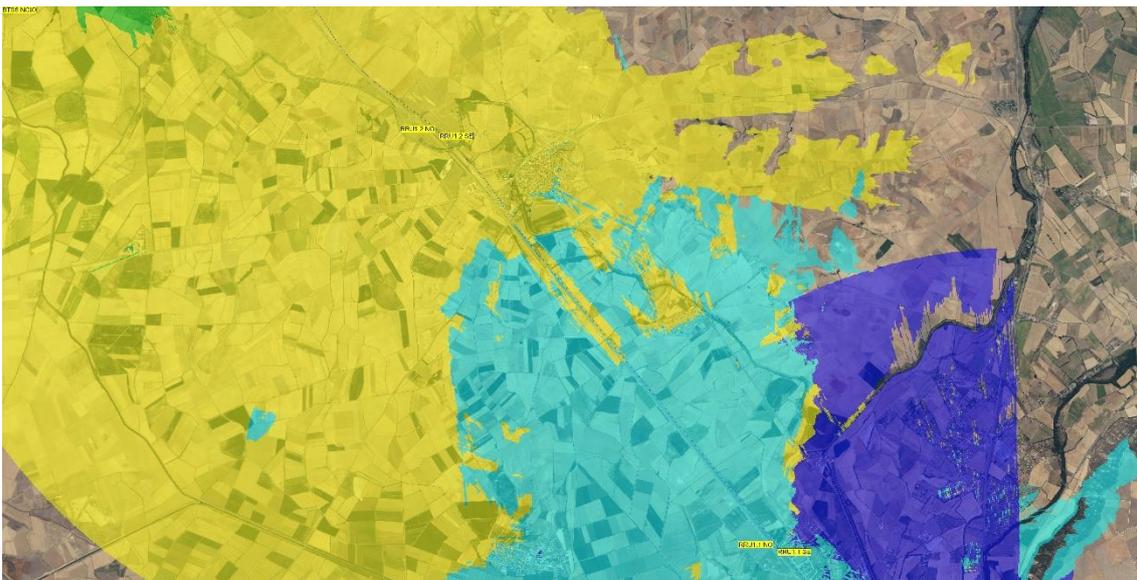
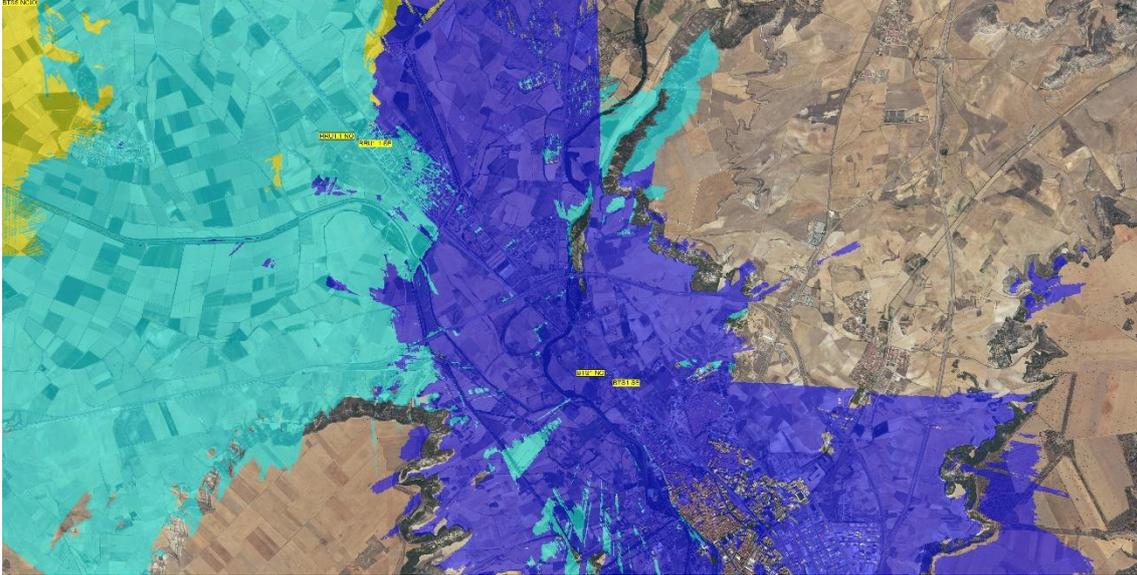


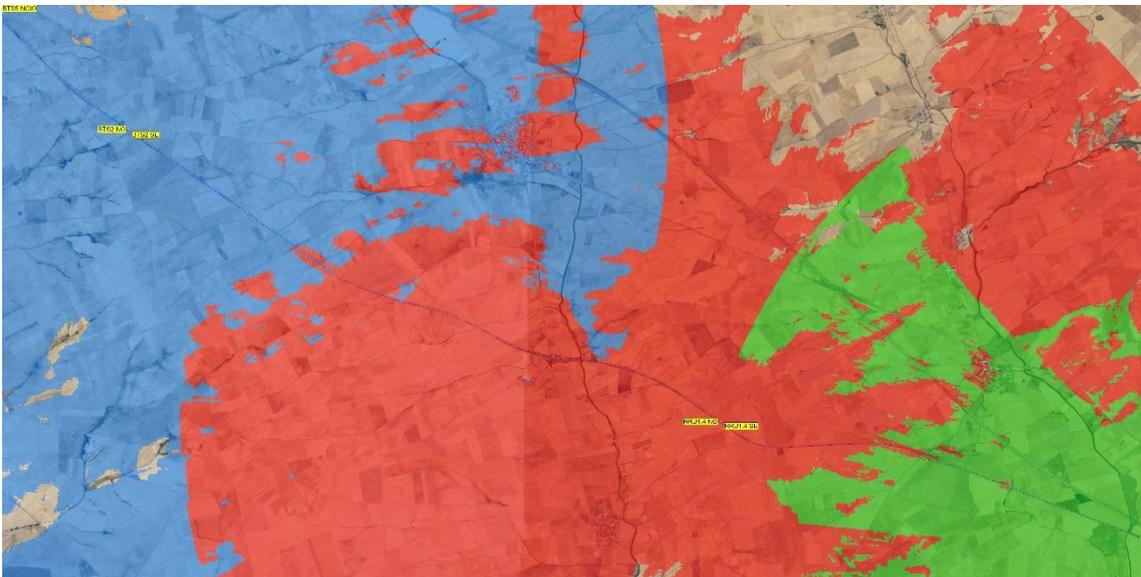
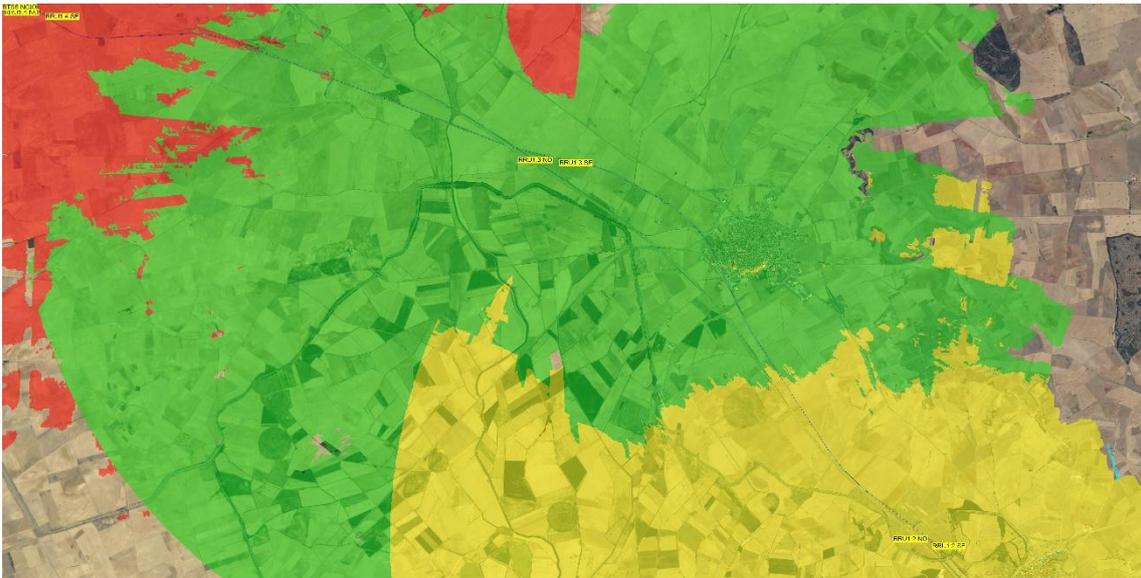
Palette (dBuV/m - dBm)

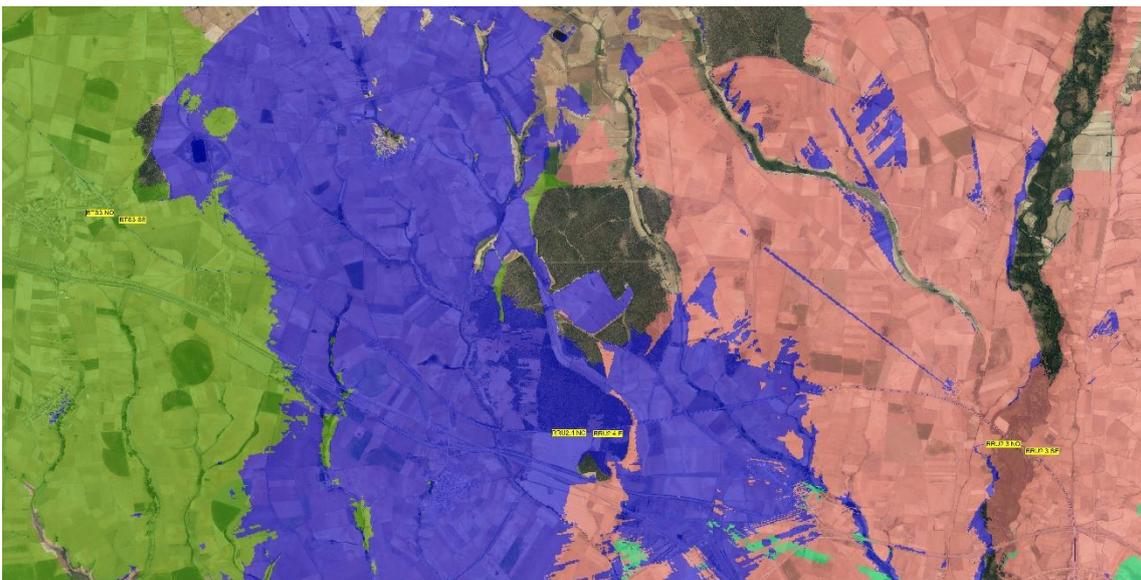
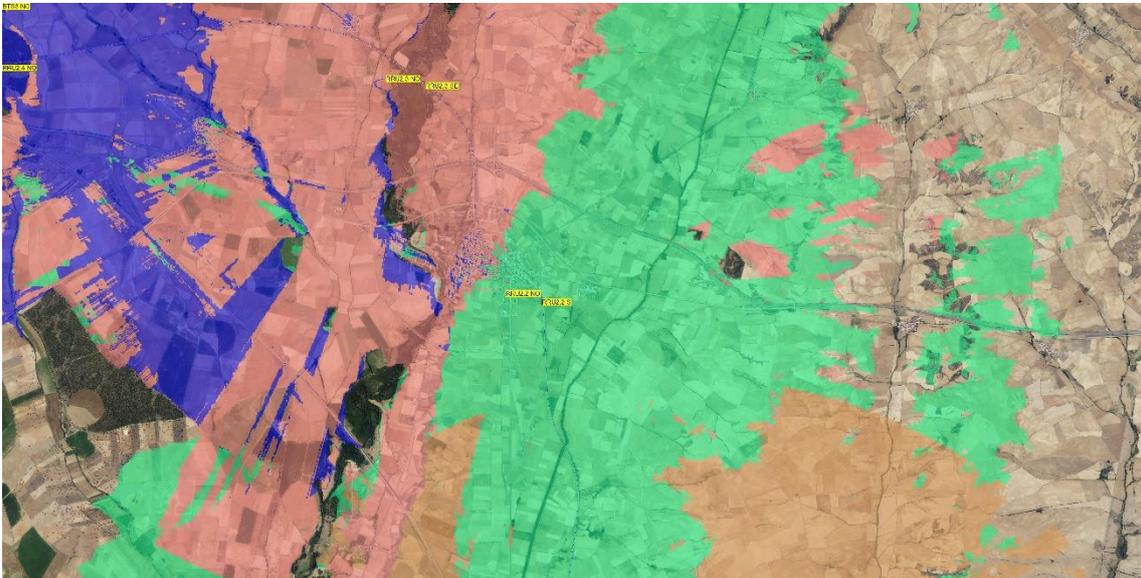
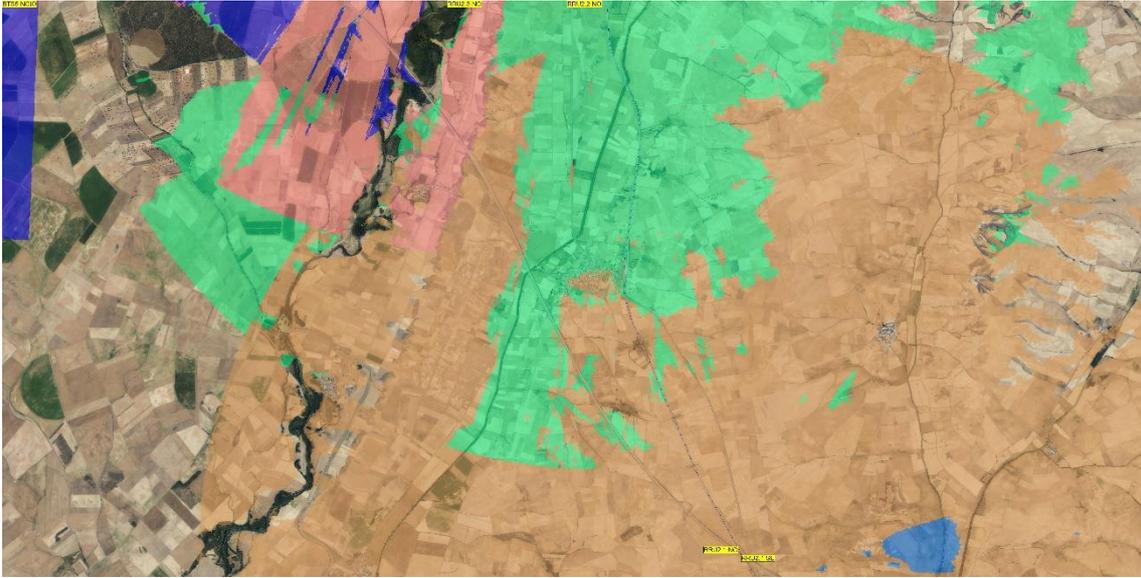


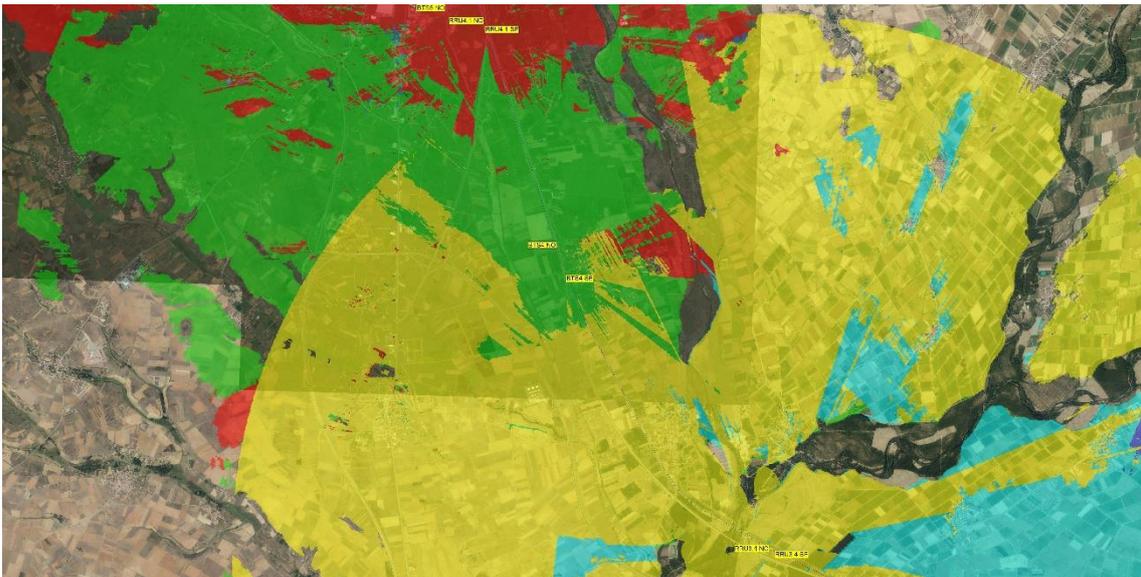
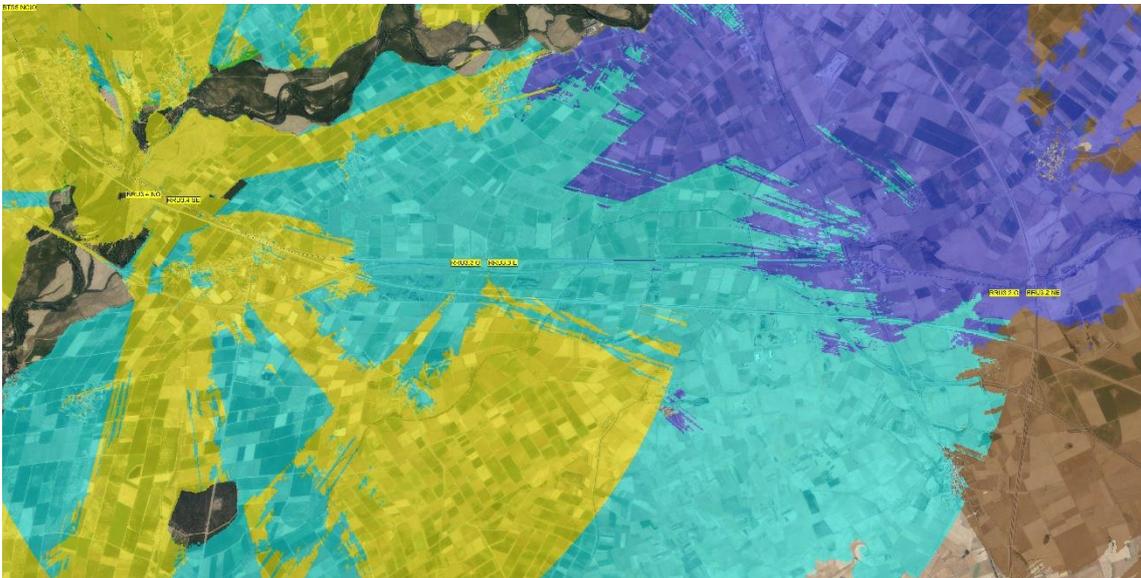
14.1.2. MEJOR SERVIDORA

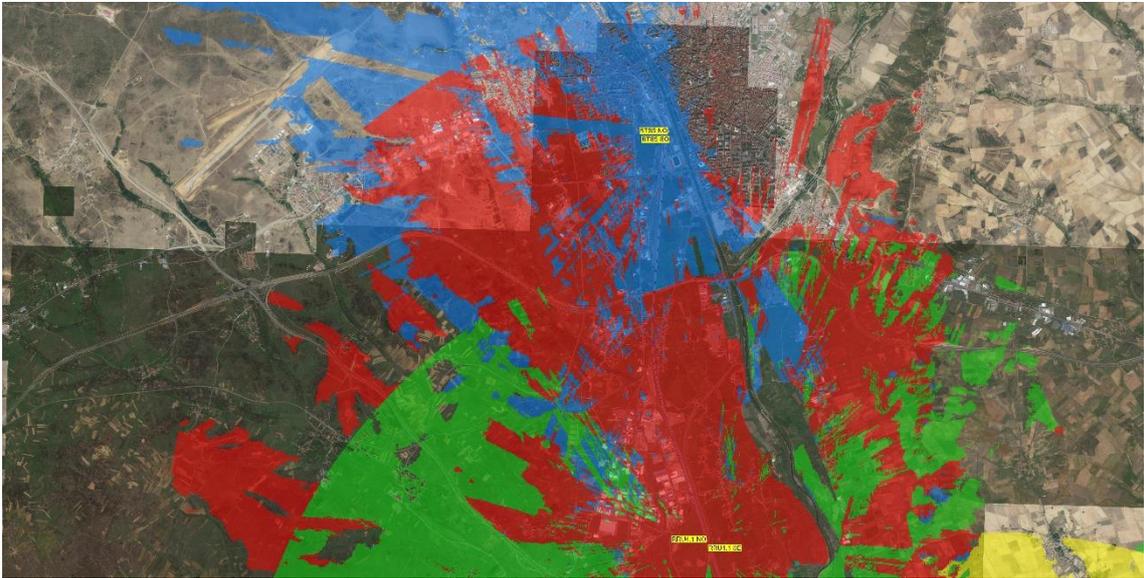
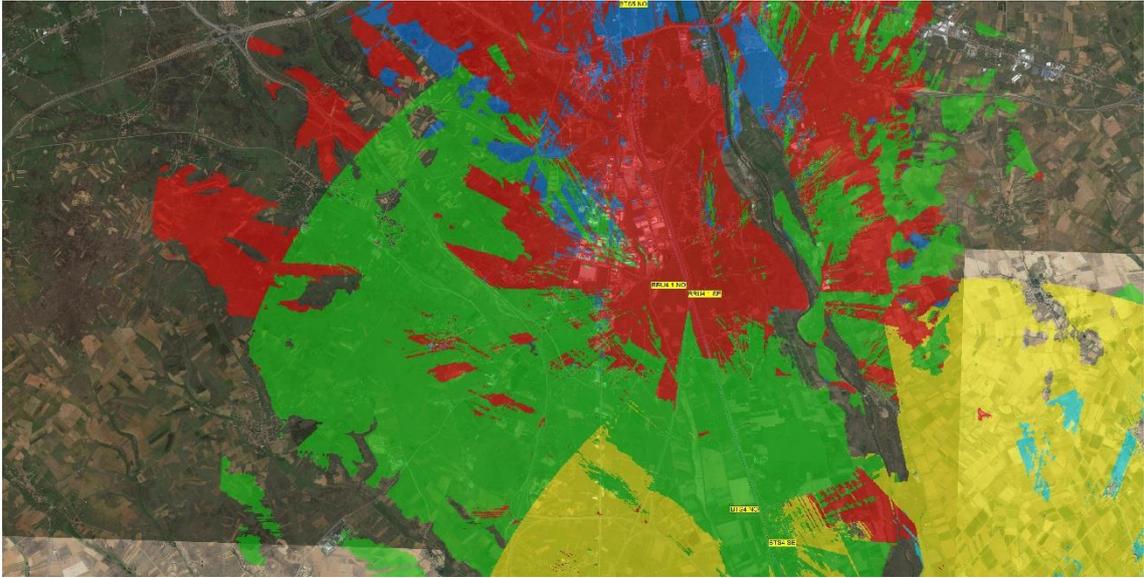
Se ha asignado a cada emplazamiento un color para poder observar el proceso de Handover y, por tanto, saber en cada punto de que BTS o RRU se recibe mayor potencia y a la cual es más conveniente conectarse.







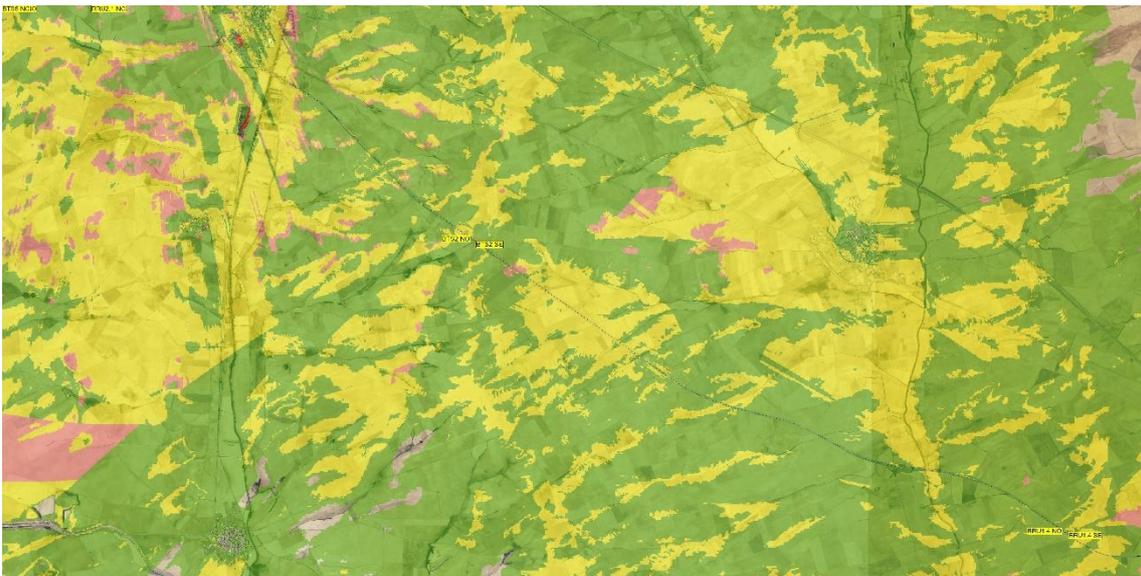
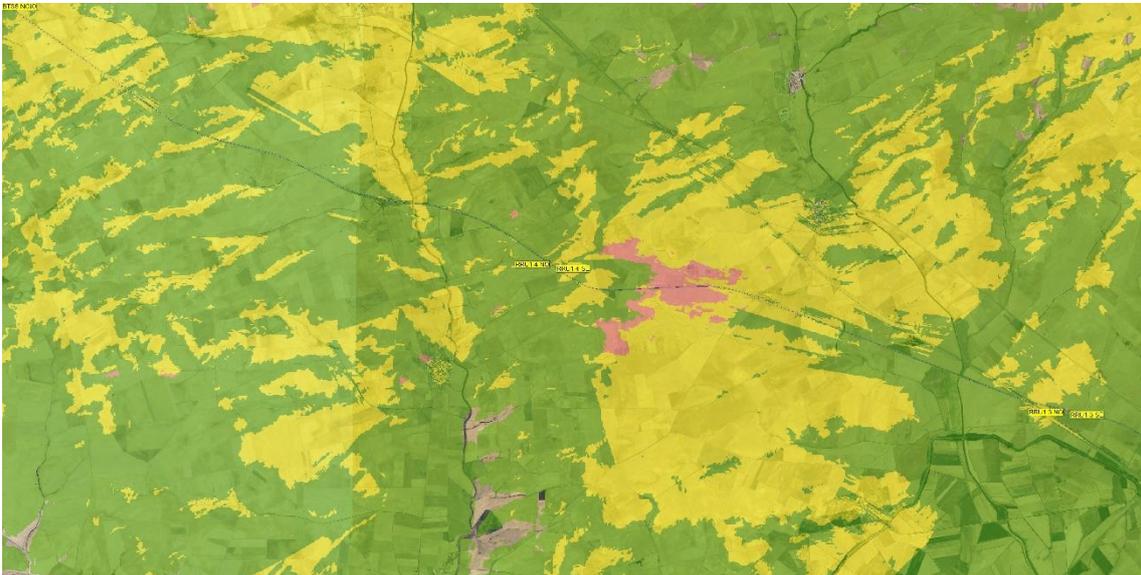
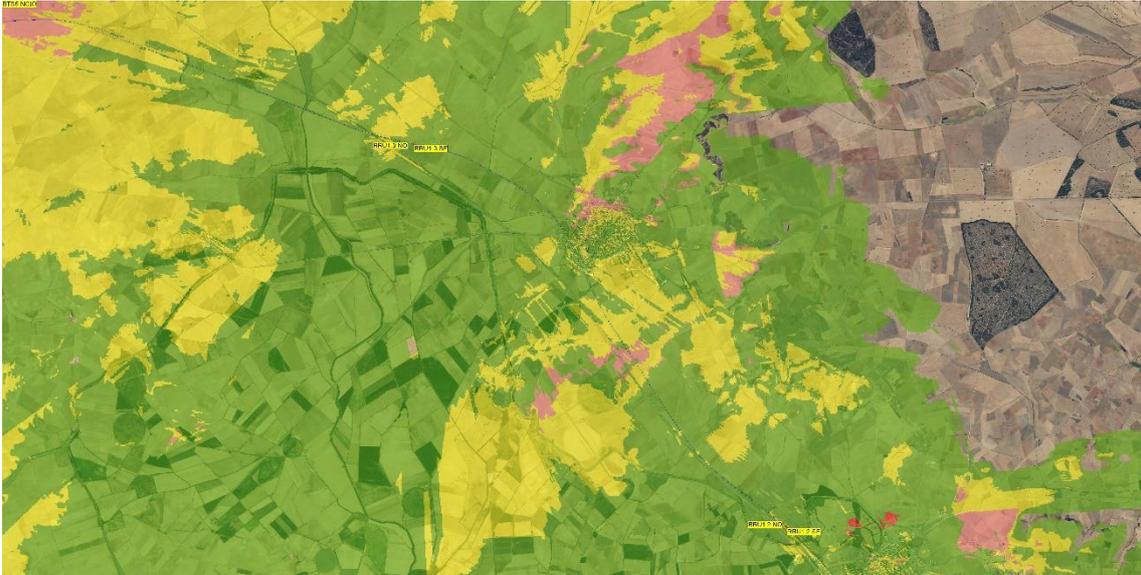


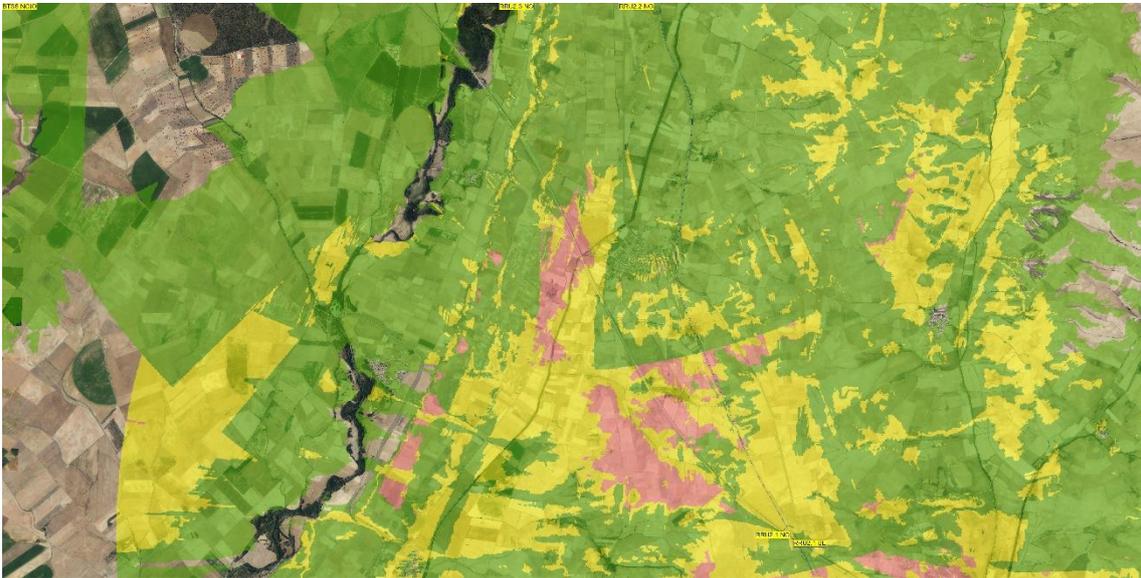
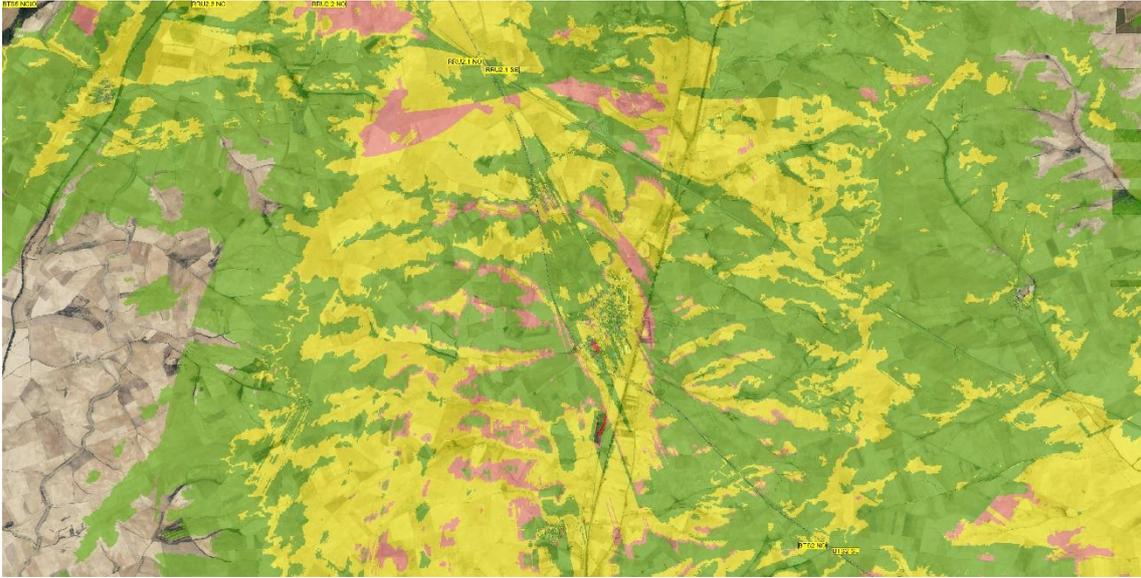


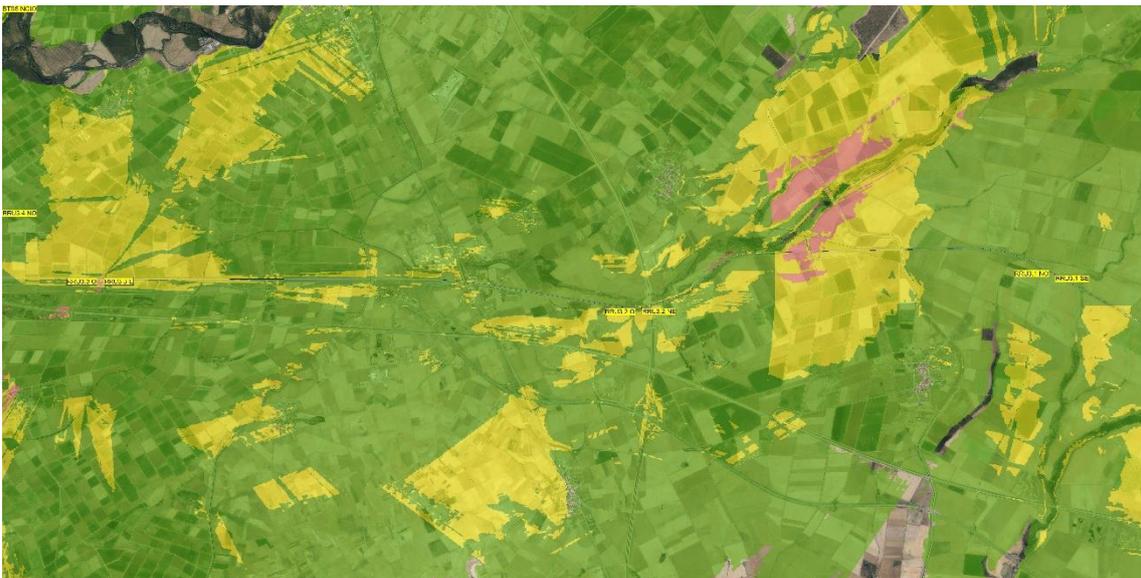
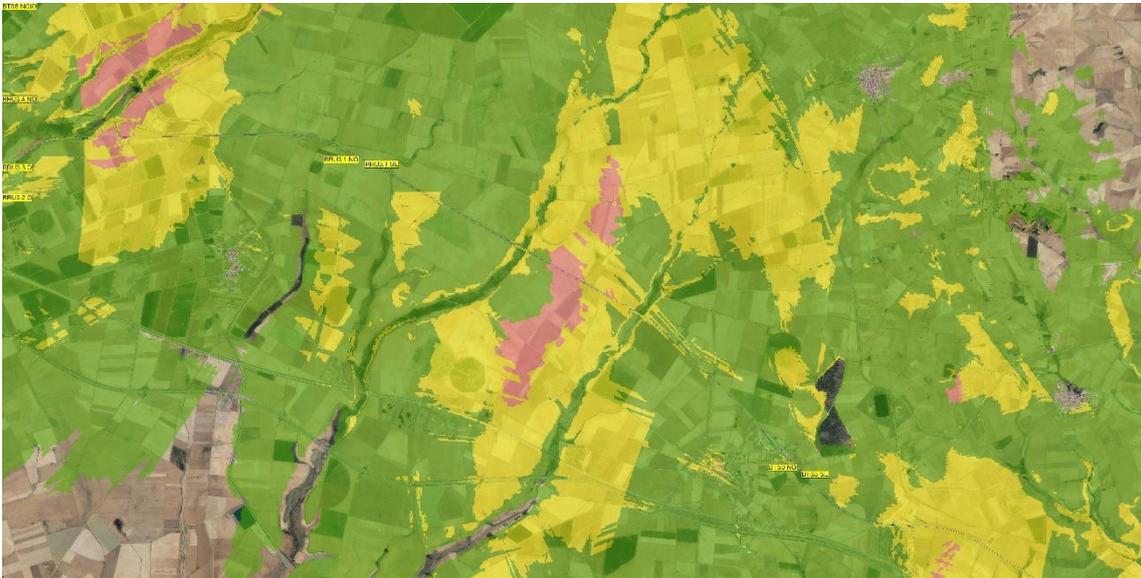
14.1.3. RELACIÓN SEÑAL PORTADORA-INTERFERENTE (C/I)

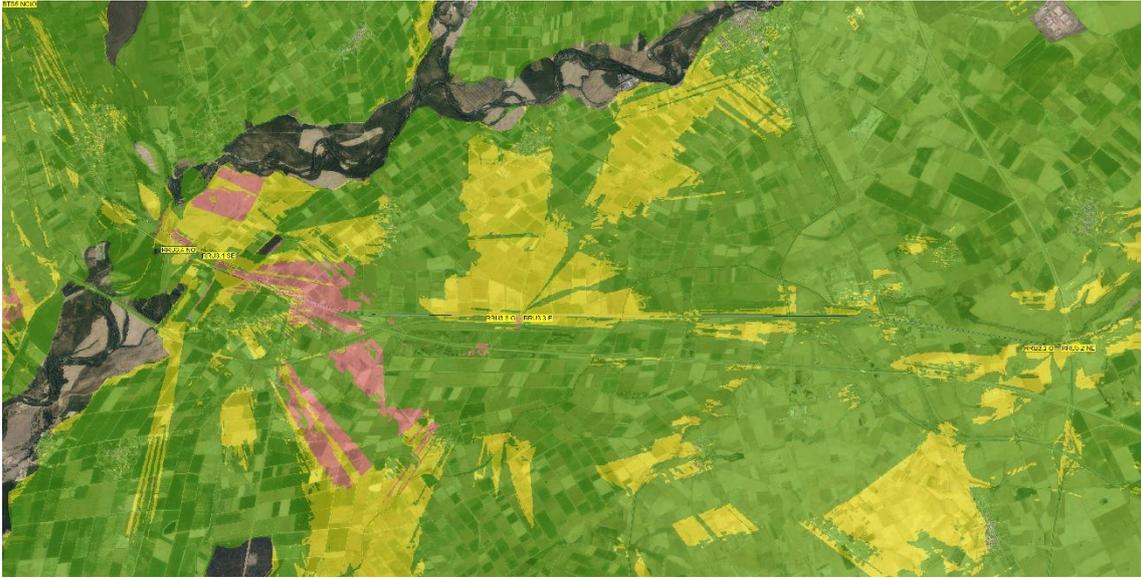
Al final de este apartado, se podrá observar la leyenda utilizada en las siguientes imágenes tomadas directamente del software de simulación radio.

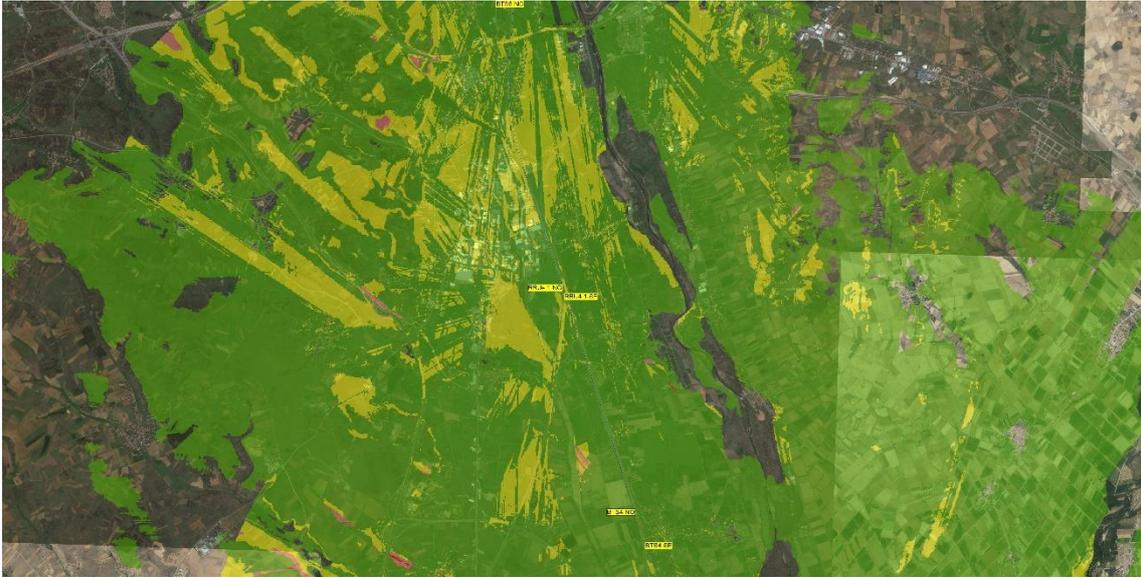




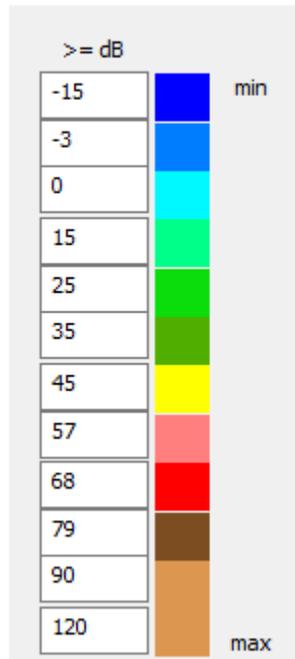








Palette (dB)



14.2. PRESUPUESTO

En el siguiente presupuesto no se han añadido los apartados de Seguridad y Salud y Actuaciones Medioambientales por falta de información. Las unidades de BSC, TRAU, MSC y OMC-R serán existentes, por lo cual no se han contabilizado. Además, sería necesario incluir el equipamiento para los Centros de Transformación, Pasos a Nivel, Subestaciones Eléctricas y Enclavamientos que hubiera a lo largo de todo el trayecto y a los que se debiera dar servicio, pero tampoco se tiene información de los existentes en el tramo de estudio. Se ha supuesto que en los Cuartos de Comunicaciones se instalará caseta nueva y, por lo tanto, equipamiento nuevo y, respecto a los Apeaderos, uno de ellos tendrá sala existente y los restantes serán intemperie. Los nodos IP-N2 serán existentes en las estaciones de León y Palencia como se indicó en el apartado 8 Sistema de Comunicaciones Fijas y, por lo tanto, no se tendrán en cuenta en el presupuesto.

DESCRIPCIÓN	UDS.	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
PRESUPUESTO GSM-R Y FIJAS				
01. Obra civil				642.123,34 €
01.01. Canalizaciones y arquetas				
Arqueta de hormigón, de registro y bajo caseta (900x900x1150 mm) y tapa hormigón	ud	1.091,91	30,00	32.757,30 €
Arqueta de hormigón, de registro y bajo caseta (600x600x1150 mm) y tapa hormigón	ud	754,46	5,00	3.772,30 €
Arqueta de hormigón o in situ (900x1500x1200 mm) y tapa hormigón	ud	1.166,87	23,00	26.838,01 €
Arqueta de ladrillo, de 400 x 400 x 600 mm y tapa fundición	ud	172,56	18,00	3.106,08 €
Canalización 2 T, polietileno 110 mm, normal GSM-R	m	23,65	12,00	283,80 €
Canalización 2 T, polietileno 110 mm, rocoso GSM-R	m	26,80	14,00	375,20 €
Canalización 4 T, polietileno 110 mm, normal GSM-R	m	47,32	510,00	24.133,20 €
Canalización 4 T, polietileno 110 mm, rocoso GSM-R	m	53,67	670,00	35.958,90 €
Canalización tubo corrugado de 40 mm con alma de acero	m	5,54	16,00	88,64 €
Canalización tubo corrugado de 48 mm con alma de acero	m	6,23	8,00	49,84 €
Conexión entre canaleta y elementos en hastial de túnel	ud	112,92	2,00	225,84 €
Tendido tubo de desagüe de 110 mm	m	3,54	180,00	637,20 €
Canalización desagüe en terreno blando tubo 110 mm	m	17,50	60,00	1.050,00 €
Canalización desagüe en roca tubo 110 mm	m	32,50	70,00	2.275,00 €
TOTAL				131.551,31 €
01.02. Torres y mástiles				
Hormigón para limpieza de fondos	m3	33,89	12,70	430,40 €
Punta de diamante	ud	83,49	16,00	1.335,84 €
Encofrado para ejecución de trabajos y posterior desencofrado	m2	37,29	301,00	11.224,29 €
Cimentación	m3	103,78	355,00	36.841,90 €
Armado cimentación	kg	1,37	17.770,00	24.344,90 €
Estudio geotécnico para mástiles menores 10 m	ud	674,69	8,00	5.397,52 €

Estudio geotécnico para mástiles entre 10 y 15 m	ud	887,93	4,00	3.551,72 €
Estudio geotécnico torres	ud	1.964,35	4,00	7.857,40 €
Excavación en desmonte en roca pequeña superficie GSM-R	m3	36,73	394,00	14.471,62 €
Excavación en desmonte en terreno blando pequeña superficie GSM-R	m3	21,19	408,00	8.645,52 €
Pilote prefabricado	m	109,61	60,00	6.576,60 €
Red de tierras para mástiles	ud	463,18	12,00	5.558,16 €
Red de tierras para torres	ud	780,96	4,00	3.123,84 €
Mástil de acero galvanizado de 5 m GSM-R Red baja capacidad	ud	2.630,21	8,00	21.041,68 €
Mástil de acero galvanizado de 10 m GSM-R Red baja capacidad	ud	6.535,85	1,00	6.535,85 €
Mástil de acero galvanizado de 15 m GSM-R Red baja capacidad	ud	8.614,16	3,00	25.842,48 €
Torre 25 m GSM-R Red baja capacidad	ud	17.426,60	2,00	34.853,20 €
Torre 30 m GSM-R Red baja capacidad	ud	19.823,58	2,00	39.647,16 €
Micropilote autoperforante tubo acero	m	169,07	100,00	16.907,00 €
Tubo de soporte de hasta 3 m para instalación de antena en pared	ud	401,85	2,00	803,70 €
TOTAL				274.990,78 €
01.03. Acondicionamiento emplazamiento				
Suministro y extendido de grava de 20mm tamaño medio	m2	9,58	912,00	8.736,96 €
Lámina geotextil	m2	8,28	912,00	7.551,36 €
Bombeo de hormigón GSM-R	m3	21,25	367,70	7.813,63 €
Bordillo de hormigón de 14/17x28x100 cm GSM-R	m	15,49	616,00	9.541,84 €
Cata para localización de cables GSM-R	ud	96,37	29,00	2.794,73 €
Cuneta vierteaguas tipo V1 GSM-R	m	7,74	195,00	1.509,30 €
Cuneta trapecial o triangular hormigonada	m	81,56	90,00	7.340,40 €
Despeje y desbroce pequeñas superficies terreno GSM-R	m2	4,47	998,80	4.464,64 €
Instalación de vallado con protección roedores GSM-R	m	49,77	444,00	22.097,88 €
Instalación de 3 hiladas de alambre, con o sin espinos, en parte superior de vallados	m	6,90	480,00	3.312,00 €
Puerta de paso de 1 hoja GSM-R	ud	168,18	2,00	336,36 €
Puerta de paso de 2 hojas GSM-R	ud	244,15	16,00	3.906,40 €
Relleno con tierras de la excavación GSM-R	m3	21,94	367,70	8.067,34 €
Zahorra artificial GSM-R	m3	38,28	846,80	32.415,50 €
Losa de cimentación GSM-R	m2	56,06	142,05	7.963,32 €
TOTAL				127.851,66 €
01.04. Casetas				
Caseta GSM-R 1,8x1,8x2,3 m	ud	8.122,90	5,00	40.614,50 €
Sistema de refrigeración GSM-R 1 kW	ud	1.886,79	5,00	9.433,95 €
Red de tierras exterior caseta GSM-R	ud	443,27	12,00	5.319,24 €
TOTAL				55.367,69 €
01.05. Armarios				
Toma tierra carril con cable de cobre	m	5,71	260,00	1.484,60 €
Armario intemperie 1500x700x700 mm para unidad radio	ud	3.701,57	13,00	48.120,41 €

Red de tierras exterior armario intemperie	ud	162,17	17,00	2.756,89 €
TOTAL				52.361,90 €
02. Cables				12.310,00 €
02.01. Otros				
Acometida cable Cu GSM-R/Op no propagador del incendio	m	5,00	240,00	1.200,00 €
Acometida cable Al GSM-R/Op no propagador del incendio	m	5,05	2.200,00	11.110,00 €
TOTAL				12.310,00 €
03. Sistema de Telecomunicaciones Fijas				1.259.289,75 €
03.01. Red Gigabi Ethernet				
SFP 1000 Base-LX 10 km	ud	187,57	90,00	16.881,30 €
SFP 1000 Base-EX 40 km	ud	290,38	18,00	5.226,84 €
TOTAL				22.108,14 €
03.02. Red de Conmutación de Datos				
Router IP/MPLS 1GbE Red Agregación/Distribución N3	ud	7.134,40	14,00	99.881,60 €
Switch MPLS Acceso N4 24 puertos	ud	3.993,99	10,00	39.939,90 €
Switch L2 red Acceso N4 - 24 puertos	ud	1.456,27	25,00	36.406,75 €
Switch industrial L2 Red de Acceso 12 puertos	ud	1.082,27	17,00	18.398,59 €
TOTAL				194.626,84 €
03.03. Repartidores y Armarios				
Pigtail conector SC/UPC	ud	7,17	240,00	1.720,80 €
Jumper 5 metros conectores SC/UPC	ud	6,01	80,00	480,80 €
Jumper 10 metros conectores SC/APC	ud	7,87	94,00	739,78 €
Rack 19" 42U 800x800 mm	ud	1.482,42	12,00	17.789,04 €
Rack 19" 27U 600x600 mm	ud	778,82	1,00	778,82 €
Panel de parcheo RJ-45 48 puertos 6a	ud	189,78	12,00	2.277,36 €
Panel de parcheo RJ-45 24 puertos 6a	ud	156,69	25,00	3.917,25 €
Latiguillo de parcheo RJ45 categoría 6a 3 m	ud	11,80	1.254,00	14.797,20 €
Medidas ópticas de reflectometría de 1 fibras	ud	14,25	1.824,00	25.992,00 €
Repartidor óptico mural ETSI de 925x600x300	ud	528,30	1,00	528,30 €
Subbastidor-Repartidor óptico para Rack de 19" 1U 24 FO	ud	235,85	5,00	1.179,25 €
Subbastidor-Repartidor óptico para Rack de 19" 3U 72 FO	ud	311,32	13,00	4.047,16 €
Armario repartidor con 192 conectores y 128 bandejas de fusión	ud	5.043,15	12,00	60.517,80 €
Caja segregación a 1x16 FO	ud	438,23	4,00	1.752,92 €
Caja segregación a 1x32 FO	ud	456,78	19,00	8.678,82 €
Empalme de segregación a 1 cable 16 FO	ud	240,58	4,00	962,32 €
Empalme de segregación a 1 cable 32 FO	ud	394,46	19,00	7.494,74 €
Conectorización 16 FO a repartidor	ud	250,26	4,00	1.001,04 €
Conectorización 32 FO a repartidor	ud	474,63	19,00	9.017,97 €
Conectorización 96 FO a repartidor	ud	1.377,48	12,00	16.529,76 €
TOTAL				180.203,13 €
03.04. Suministro de Energía Específico de Telecomunicaciones Fijas				
Equipo de climatización compacto exterior GSM-R 5,6 kW	ud	2.026,58	8,00	16.212,64 €

Rectificador 230Vca/-48Vcc GSM-R/Op	ud	537,94	8,00	4.303,52 €
TOTAL				20.516,16 €
03.05. Documentación y Formación				
Curso básico telecomunicaciones	PI	8.950,50	1,00	8.950,50 €
Curso avanzado red de datos explotación	PI	8.950,50	1,00	8.950,50 €
Curso avanzado gestión integrada de red	PI	8.950,50	1,00	8.950,50 €
Curso avanzado sistema energía para telecomunicaciones	PI	5.956,40	1,00	5.956,40 €
TOTAL				32.807,90 €
03.06. Obra Civil Específica de Telecomunicaciones Fijas				
Tubo de acero de 2" para protección de cables	m	19,76	10,00	197,60 €
Entrada de cables a caseta existente	ud	162,90	8,00	1.303,20 €
Caseta GSM-R 3,7x2,2x2,5 m	ud	9.133,72	7,00	63.936,04 €
Armario estanco IP66	ud	1.013,95	4,00	4.055,80 €
TOTAL				69.492,64 €
03.07. Cables				
Cable 96FO TKT tendido en monotubo	m	4,90	818,40	4.010,16 €
Tubo de polietileno de alta densidad de 40 mm	m	1,23	267.600,00	329.148,00 €
Tubo de polietileno ignifugo de alta densidad de 40 mm	m	9,13	1.636,80	14.943,98 €
Cable 16FO PKP tendido en monotubo	m	1,68	480,00	806,40 €
Cable 32FO PKP tendido en monotubo	m	1,78	2.280,00	4.058,40 €
Cable 96FO PKP tendido en monotubo	m	2,95	131.040,00	386.568,00 €
TOTAL				739.534,94 €
04. Sistema de Telecomunicaciones Móviles				
04.01. Equipamiento subsistema radio (BSS)				
04.01.01. Sistema Radio				
Ampliación capacidad BSC en 1 transmisor	ud	1.126,12	36,00	40.540,32 €
Módulo control BTS distribuida	ud	4.853,27	5,00	24.266,35 €
Unidad radio remota 1+1 de BTS distribuida	ud	14.971,67	18,00	269.490,06 €
TOTAL				334.296,73 €
04.01.02. Guía-ondas y elementos asociados				
Guía-ondas mástiles 5 m 2 sectores	ud	1.636,77	8,00	13.094,16 €
Guía-ondas mástiles 15 m 2 sectores	ud	2.406,02	3,00	7.218,06 €
Guía-ondas torres 25 m 2 sectores	ud	3.305,38	1,00	3.305,38 €
Guía-ondas torres 30 m 2 sectores	ud	3.736,57	1,00	3.736,57 €
Guía-ondas mástiles 10 m 3 sectores 1 celda	ud	1.882,29	1,00	1.882,29 €
Guía-ondas torres 25 m 3 sectores 1 celda	ud	4.321,19	1,00	4.321,19 €
Guía-ondas antena túnel 2 sectores	ud	1.418,97	2,00	2.837,94 €
Guía-ondas 7/8" sector adicional	m	23,47	50,00	1.173,50 €
Guía-ondas 1-1/4" sector adicional	m	23,61	50,00	1.180,50 €
TOTAL				38.749,59 €
04.01.03. Antenas				
Antena polarización cruzada 30º	ud	909,22	4,00	3.636,88 €
Antena polarización cruzada 65º	ud	389,73	28,00	10.912,44 €

Antena vertical cónica para túnel	ud	645,74	2,00	1.291,48 €
Antena Yagi GSM-R	ud	104,16	4,00	416,64 €
Cable radiante 7/8" CPR B2CA, s1a, a1	m	40,66	62,00	2.520,92 €
Cable radiante 1-1/4" CPR B2CA, s1a, a1	m	42,16	387,00	16.315,92 €
TOTAL				35.094,28 €
04.01.04. Sistema de Operación y Mantenimiento				
Ampliación software OMC radio para 1 transmisor	ud	247,33	36,00	8.903,88 €
Ordenador portátil para gestión local	ud	3.007,98	1,00	3.007,98 €
Terminal cliente de sistema de supervisión	ud	2.986,03	2,00	5.972,06 €
TOTAL				17.883,92 €
TOTAL				426.024,52 €
04.02. Equipamiento subsistema red (NSS)				
Actualización de base de datos de MSC para un máximo de 50 celdas y por MSC	ud	431,11	1,00	431,11 €
Ampliación conectividad 1 E1 BSS	ud	2.657,92	1,00	2.657,92 €
Ampliación conectividad 1 E1 otros sistemas	ud	3.107,38	1,00	3.107,38 €
Integración de telecomunicaciones en red inteligente (IN) para un máximo de 50 celdas	ud	538,89	1,00	538,89 €
Licencia SW por eProbe	ud	3.849,05	1,00	3.849,05 €
Ampliación capacidad en Expandium A & Abis (por celda) 1-25	ud	896,82	18,00	16.142,76 €
Instalación y pruebas eProbe Expandium	ud	9.056,57	1,00	9.056,57 €
TOTAL				35.783,68 €
04.03. Terminales				
Terminal de mano OPS	ud	1.997,42	15,00	29.961,30 €
Terminal de mano OPH	ud	1.862,32	15,00	27.934,80 €
Terminal de mano GPH	ud	422,28	15,00	6.334,20 €
Terminal de mano GPH smartphone	ud	1.795,62	15,00	26.934,30 €
TOTAL				91.164,60 €
04.04. Consola de llamadas GSM-R				
Suministro del hardware de la consola de llamadas	ud	7.325,00	4,00	29.300,00 €
Suministro aplicativo consola de llamadas	ud	3.100,00	2,00	6.200,00 €
Pruebas de infraestructura y comunicaciones para línea	ud	7.636,39	2,00	15.272,78 €
Pruebas funcionales para línea	ud	7.636,39	2,00	15.272,78 €
Instalación y puesta en servicio en línea	ud	3.563,68	2,00	7.127,36 €
Pruebas V&V del producto/Certificación de proyecto	ud	5.090,90	2,00	10.181,80 €
Documentación as-built Consola de llamadas	ud	3.563,64	2,00	7.127,28 €
Formación Consola de llamadas	ud	2.909,09	2,00	5.818,18 €
Adaptación datos topología	ud	3.123,98	2,00	6.247,96 €
Adaptación del plan de marcado GSM-R	ud	2.979,96	2,00	5.959,92 €
TOTAL				108.508,06 €
05. Sistemas Auxiliares				
05.01. Energía				
Toma de tierra electrodos profundos	m	31,20	3.000,00	93.600,00 €

Estudio geoelectrico	ud	1.023,68	11,00	11.260,48 €
Armario de energía CC segura para GSM-R	ud	9.141,34	13,00	118.837,42 €
Cuadro de distribución AC GSM-R con acometida única	ud	4.348,41	2,00	8.696,82 €
Cuadro de distribución AC GSM-R con acometida doble	ud	5.286,62	11,00	58.152,82 €
Sistema rectificador 230Vca/-48Vcc 1000w GSM-R unidad radio remota	ud	952,83	13,00	12.386,79 €
Baterías tipo AGM 80 Ah alta resistencia altas temperaturas	ud	1.042,45	17,00	17.721,65 €
Baterías tipo AGM 184 Ah	ud	1.100,69	13,00	14.308,97 €
Caja embornado y protección rayos acc simple	ud	532,25	2,00	1.064,50 €
Caja embornado y protección rayos acc doble	ud	685,65	3,00	2.056,95 €
Sistema gestión rectificadores GSM-R. Servidor	ud	8.105,00	1,00	8.105,00 €
Ampliación sistema gestor energía GSM-R/Op	ud	64,19	26,00	1.668,94 €
TOTAL				347.860,34 €
05.02. Seguridad y alarmas				
Servidor concentrador alarmas casetas	ud	16.980,36	1,00	16.980,36 €
Ampliación del servidor Sistema Gestión de Alarmas	ud	64,19	5,00	320,95 €
TOTAL				17.301,31 €
06. Ingeniería, pruebas y puesta en servicio				
Ingeniería, replanteos y medidas de verificación, por BTS	ud	376,45	18,00	6.776,10 €
Pruebas y mediciones de QoS en GSM-R por BTS	ud	1.254,83	18,00	22.586,94 €
Encargado de trabajos	h	46,64	25,00	1.166,00 €
TOTAL				30.529,04 €
07. Documentación				
Documentación as-built GSM-R/Op	ud	540,52	18,00	9.729,36 €
Inventario GSM-R	ud	57,79	18,00	1.040,22 €
Inventario Integración y Ampliación NSS	ud	14,45	18,00	260,10 €
Análisis e informe ISA o AsBo del sistema GSM-R	ud	2.852,65	1,00	2.852,65 €
Certificación interoperabilidad sistema GSM-R por NoBo	ud	13.840,00	1,00	13.840,00 €
TOTAL				27.722,33 €
08. Formación				
Curso básico sistema GSM-R	ud	5.074,12	1,00	5.074,12 €
Curso básico sobre la red inteligente (IN)	ud	2.869,82	1,00	2.869,82 €
Curso OM BSS	ud	6.323,92	1,00	6.323,92 €
Curso OM NSS	ud	6.324,08	1,00	6.324,08 €
Curso sistema energía	ud	5.073,96	1,00	5.073,96 €
Curso del sistema de paneles de alarmas	ud	5.637,75	1,00	5.637,75 €
TOTAL				31.303,65 €

A continuación, se desglosarán los diferentes presupuestos del proyecto:

PEM (Presupuesto de Ejecución Material)

3.029.920,62 €

Incluye los ocho puntos que forman la tabla anterior

PBL (Presupuesto Base de Licitación Neto) sin IVA

3.605.605,54 €

PEM + 13% en concepto de gastos generales de empresa y 6% de beneficio industrial

PBL (Presupuesto Base de Licitación Neto) con IVA

4.362.782,71 €

PBL + I.V.A. (21%)

VEC (Valor Estimado del Contrato)

3.605.605,54 €

Coincide con el valor del PBL sin IVA (se ha supuesto un valor de suministros igual a 0€)

PCA (Presupuesto para Conocimiento de la Administración)

3.939.679,36 €

VEC + estimación de servicios de los encargados de trabajos + 4% de control y vigilancia de las obras

PEM + Redacción y Asistencia

3.242.015,07 €

Incluye 3% de redacción del proyecto y 4% de asistencia técnica.

PBL sin IVA + Redacción y Asistencia

3.857.997,93 €

Incluye 3% de redacción del proyecto y 4% de asistencia técnica

Por último, se calcula el Ratio coste total obras:

El coste de ejecución material, redacción del proyecto y asistencia técnica de las instalaciones proyectadas es de 3.242.015,07 € y la longitud total del tramo de actuación es aproximadamente de 108 km.

Por tanto, el **Ratio Coste total Obras/Proyecto** es:

$3.242.015,07 \text{ €} / 108 \text{ km} = 30.018,66 \text{ €/km} = \mathbf{0,03 \text{ M€/km}}$

Teniendo en consideración que este ratio corresponde a comunicaciones móviles y fijas, se encuentra por debajo del fijado por la Orden FOM/3317/2010 que es de: Señalización y comunicaciones fijas y móviles: 1 a 1,25 M€/km.

14.3. GLOSARIO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

GSM (Global System for Mobile)

E-GSM (Extended Global System for Mobile)

GSM-R (Global System for Mobile Railways)

ERTMS (European Traffic Management System)

ETCS (European Train Control System)

ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network)

MORANE (Mobile Radio for Railways Network in Europe)

AVE (Alta Velocidad de España)

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)

UIC (International Union of Railways)

TETRA (TErrestrial Trunked RAdio)

MSS (Mobile Station Subsystem)

BSS (Base Station Subsystem)

NSS (Network Switching Subsystem)

IN (Intelligent Network)

SCEF (Service Creation Environment Function)

SMF (Service Management Function)

OMS (Operation and Maintenance Subsystem)

ABC (Administration and Billing Center)

AC (Authentication Centre)

BSC (Base Station Controller)

BTS (Base Transceiver Station)

MS (Módulo del Sistema)

RRU (Remote Radio Unit)

CBS (Cell Broadcast Service)

EIR (Equipment Identification Registration)

IMEI (International Mobile Equipment Identity)

GCR (Group Call Register)

HLR (Home Location Register)

MSC (Mobile Services Switching Center)

OMC (Operation and Maintenance Center)

SCP (Service Control Point)

SMP (Service Management Point)

SMS (Short Message Service)

SSP (Service Switching Point)

TRAU (Transcoding Rate and Adaptation Unit)

VLR (Visitor Location Register)

VMS (Voice Mail Service)

CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico)

UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

PSTN (Public Switched Telephone Network)

PLMN (Public Land Mobile Network)

CSPDN (Circuit-Switched Public Data Network)

PSPDN (Packet Switched Public Data Network)

IMSI (International Mobile Subscriber Identity)

TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)

PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea)

CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica)

ERC (European Radiocommunications Committee)

ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number)

ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias)

GOS (Grade of Service)

PMR (Private Mobile Radio)

PAMR (Public Access Mobile Radio)

ASCI (Advanced Speech Call Item)

VBS (Voice Broadcast Service)

VGCS (Voice Group Call Service)

PCM (Pulse Code Modulation)

IP (Internet Protocol)

LAPD (Link Access Protocol for D-channel)

NUC (Next Unit Computing)

LAN (Local Area Network)

CCSS7 (Common Channel Signalling System #7)

SMSC (Short Message Service Center)

VMS (Voicemail Server)

GMSC (Gateway Mobile Services Switching Center)

TCP (Transmission Control Protocol)

GCR (Group Code Recording)

OMC-R (Operation and Maintenance Center Radio)

IPMM (Red IP Multiservicio)

VCC (Voltage of Continuous Current)

VAC (Voltage of Alternate Current)

VAD (Vocal Activity Detection)

DTX (Driver Transmitter)

RF (Radio Frequency)

RBC (Radio Block Center)

FA (Functional Addressing)

LDA (Location Directional Addressing)

SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida)

SNMP (Simple Network Management Protocol)

PPI (Programa de Punto de Inspección)

PABX (Private Automatic Branch Exchange)

eMLPP (enhanced Multi Level Precedence and Priority)

PTT (Push To Talk)

MMI (Man Machine Interface)

BER (Bit Error Rate)

MRT (Mean Repair Time)

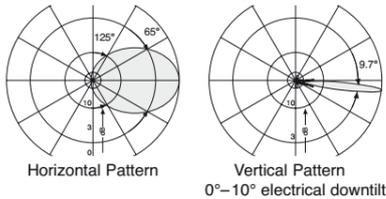
Panel 790-960
Dual Polarization X
Half-power Beam Width 65°
Adjust. Electr. Downtilt 0°-10°
 set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)
XPol Panel 790-960 65° 16.5dBi 0°-10°T

KATHREIN
 Antennen · Electronic

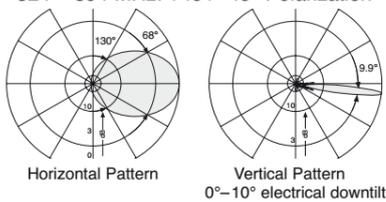
Type No.	80010634v01		
Frequency range	790-960		
	790 – 862 MHz	824 – 894 MHz	880 – 960 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain (dBi)	16.2 ... 16.4 ... 16.2	16.3 ... 16.6 ... 16.3	16.6 ... 16.8 ... 16.6
Tilt	0° ... 5° ... 10°	0° ... 5° ... 10°	0° ... 5° ... 10°
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	69°	68°	65°
Front-to-back ratio (180°±30°)	> 24 dB	> 25 dB	> 25 dB
Cross polar ratio			
Main direction	Typically: 20 dB	Typically: 20 dB	Typically: 20 dB
Sector	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB
Tracking, Avg.	0.5 dB		
Squint	±1.5°		
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	10°	9.9°	9.7°
Electrical tilt	0°-10°, continuously adjustable		
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 5° ... 10° T 18 ... 18 ... 18 dB	0° ... 5° ... 10° T 18 ... 18 ... 18 dB	0° ... 5° ... 10° T 18 ... 18 ... 18 dB
Isolation, between ports	> 30 dB		
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	400 W (at 50 °C ambient temperature)		



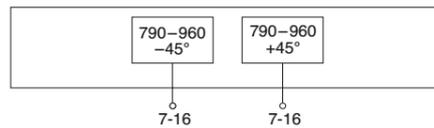
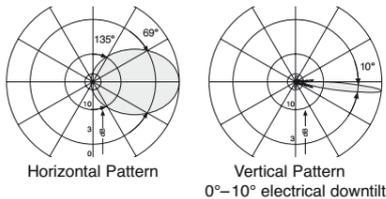
880 – 960 MHz: +45°/-45° Polarization



824 – 894 MHz: +45°/-45° Polarization



790 – 862 MHz: +45°/-45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Rearside
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Wind load	Frontal: 680 N (at 150 km/h) Lateral: 310 N (at 150 km/h) Rearside: 900 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Height/width/depth	1934 / 259 / 99 mm
Category of mounting hardware	M (Medium)
Weight	11 kg / 13 kg (clamps incl.)
Packing size	2216 x 272 x 147 mm
Scope of supply	Panel and 2 units of clamps for 50 – 115 mm diameter

836.3816/c Subject to alteration.

Accessories General Information

KATHREIN
Antennen · Electronic

Accessories

Type No.	Description	Remarks	Weight approx.	Units per antenna
738546	1 clamp	Mast: 50 – 115 mm diameter	1.0 kg	2 (included in the scope of supply)
731651	1 clamp	Mast: 28 – 60 mm diameter	0.8 kg	2 (order separately if required)
85010002	1 clamp	Mast: 110 – 220 mm diameter	2.7 kg	2 (order separately if required)
85010003	1 clamp	Mast: 210 – 380 mm diameter	4.8 kg	2 (order separately if required)
737975	1 downtilt kit	Downtilt angle: 0° – 11°	2.8 kg	1 (order separately if required)

For downtilt mounting use the clamps for an appropriate mast diameter together with the downtilt kit.

Material:

Reflector screen: Weather-proof aluminum.

Fiberglass radome: The grey fiberglass radomes of these antennas are very stable and extraordinarily stiff. They are resistant to ultraviolet radiation and can also be painted to match their surroundings.

All screws and nuts: Stainless steel.

Grounding:

The metal parts of the antenna including the mounting kit and the inner conductors are DC grounded.

Environmental conditions:

Kathrein cellular antennas are designed to operate under the environmental conditions as described in ETS 300 019-1-4 class 4.1 E.

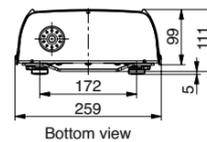
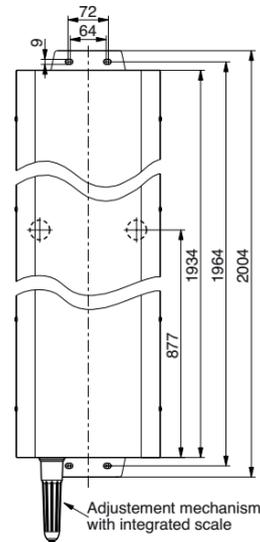
The antennas exceed this standard with regard to the following items:

- Low temperature: –55 °C
- High temperature (dry): +60 °C

Ice protection: Due to the very sturdy antenna construction and the protection of the radiating system by the radome, the antenna remains operational even under icy conditions.

Environmental tests:

Kathrein antennas have passed environmental tests as recommended in ETS 300 019-2-4. The homogenous design of Kathrein's antenna families use identical modules and materials. Extensive tests have been performed on typical samples and modules.



Please note:

As a result of more stringent legal regulations and judgements regarding product liability, we are obliged to point out certain risks that may arise when products are used under extraordinary operating conditions.

The mechanical design is based on the environmental conditions as stipulated in ETS 300 019-1-4 and thereby respects the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. Wind loads are calculated according to DIN 1055-4. Extraordinary operating conditions, such as heavy icing or exceptional dynamic stress (e.g. strain caused by oscillating support structures), may result in the breakage of an antenna or even cause it to fall to the ground. These facts must be considered during the site planning process.

The installation team must be properly qualified and also be familiar with the relevant national safety regulations.

The details given in our data sheets have to be followed carefully when installing the antennas and accessories.

The limits for the coupling torque of RF-connectors, recommended by the connector manufacturers must be obeyed.

Any previous datasheet issues have now become invalid.



Panel
Dual Polarization
Half-power Beam Width
Fixed Electrical Downtilt

790–960
X
30°
0°

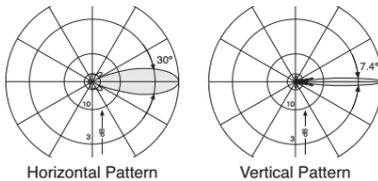
KATHREIN
 Antennen · Electronic

XPol Panel 790–960 30° 21dBi 0°T

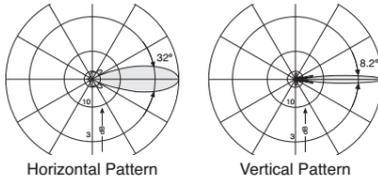
Type No.	80010643		
	790–960		
Frequency range	790 – 862 MHz	824 – 894 MHz	880 – 960 MHz
Polarization	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°
Gain at 0° T	2 x 20.2 dBi	2 x 20.4 dBi	2 x 20.8 dBi
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	33°	32°	30°
Front-to-back ratio, copolar	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Cross polar ratio			
Main direction	0°	Typically: 30 dB	Typically: 26 dB
Tracking, Avg.	2.0 dB		
Squint	±2.0°		
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	8.4°	8.2°	7.4°
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	> 15 dB	> 15 dB	> 15 dB
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Isolation, between ports	> 30 dB		
Intermodulation IM3	< –150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	500 W (at 50 °C ambient temperature)		



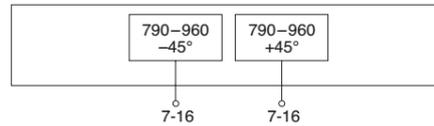
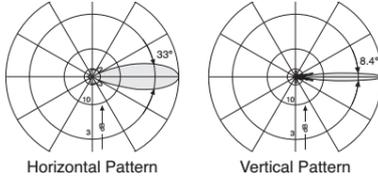
880 – 960 MHz: +45°/–45° Polarization



824 – 894 MHz: +45°/–45° Polarization



790 – 862 MHz: +45°/–45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Rearside
Wind load	Frontal: 1760 N (at 150 km/h) Lateral: 330 N (at 150 km/h) Rearside: 2040 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Height/width/depth	2254 / 576 / 99 mm
Category of mounting hardware	H (Heavy)
Weight	20.5 kg / 22.5 kg (clamps incl.)
Packing size	2536 x 592 x 147 mm
Scope of supply	Panel and 2 units of clamps for 42 – 115 mm diameter

936.4149/a Subject to alteration.

Accessories General Information

KATHREIN
Antennen · Electronic

Accessories

Type No.	Description	Remarks	Weight approx.	Units per antenna
738546	1 clamp	Mast: 42 – 115 mm diameter	1.1 kg	2 (included in the scope of supply)
85010002	1 clamp	Mast: 110 – 220 mm diameter	2.7 kg	2 (order separately if required)
85010003	1 clamp	Mast: 210 – 380 mm diameter	4.8 kg	2 (order separately if required)
85010008	1 downtilt kit	Downtilt angle: 0° – 10°	6.5 kg	1 (order separately if required)

For downtilt mounting use the clamps for an appropriate mast diameter together with the downtilt kit.

Material:

Reflector screen: Weather-proof aluminum.

Fiberglass radome: The grey fiberglass radomes of these antennas are very stable and extraordinarily stiff. They are resistant to ultraviolet radiation and can also be painted to match their surroundings.

All screws and nuts: Stainless steel.

Grounding:

The metal parts of the antenna including the mounting kit and the inner conductors are DC grounded.

Environmental conditions:

Kathrein cellular antennas are designed to operate under the environmental conditions as described in ETS 300 019-1-4 class 4.1 E.

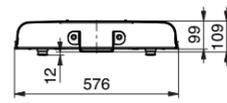
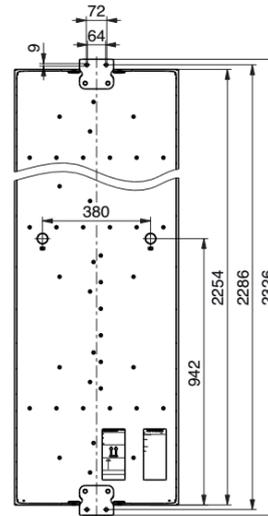
The antennas exceed this standard with regard to the following items:

- Low temperature: –55 °C
- High temperature (dry): +60 °C

Ice protection: Due to the very sturdy antenna construction and the protection of the radiating system by the radome, the antenna remains operational even under icy conditions.

Environmental tests:

Kathrein antennas fulfil the stated specifications after completion of the environmental tests as defined in ETS 300 019-2-4. The homogenous design of Kathrein's antenna families uses identical modules and materials. Extensive tests have been performed on typical samples and modules.



Bottom view

Please note:

As a result of more stringent legal regulations and judgements regarding product liability, we are obliged to point out certain risks that may arise when products are used under extraordinary operating conditions.

The mechanical design is based on the environmental conditions as stipulated in ETS 300 019-1-4 and thereby respects the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. Wind loads are calculated according to DIN 1055-4. Extraordinary operating conditions, such as heavy icing or exceptional dynamic stress (e.g. strain caused by oscillating support structures), may result in the breakage of an antenna or even cause it to fall to the ground. These facts must be considered during the site planning process.

The installation team must be properly qualified and also be familiar with the relevant national safety regulations.

The details given in our data sheets have to be followed carefully when installing the antennas and accessories.

The limits for the coupling torque of RF-connectors, recommended by the connector manufacturers must be obeyed.

Any previous datasheet issues have now become invalid.



800-970 MHz Yagis



DESCRIPTION



- High strength welded aluminium elements.
- Optimun performance at all band.
- High front to back ratio.
- Heavy duty construction for long life operation.
- All weather EPOXY black painted.
- PVC radome dipole.
- Standard femal connector N.
- U-Bolts and clamps included in price.

SPECIFICATIONS

- Impedance 50 Ohms
- Max. Power 150 W
- S.W.R. < 1,5
- Mounting 30-58 mm pipe diameter .
- Polarization Vertical or Horizontal
- Front to back 20 dB

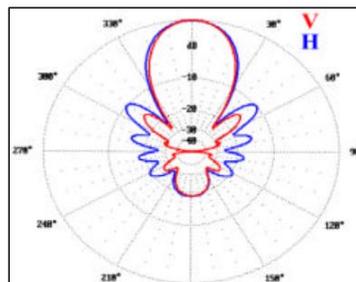
DESCRIPCIÓN



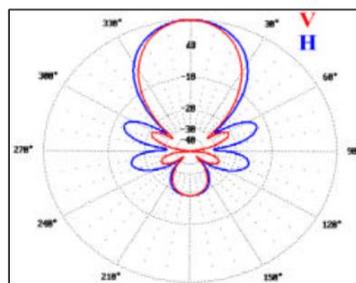
- Fabricadas en aluminio electrosoldado.
- Optimo rendimiento en gran ancho de banda.
- Optima relación Frente-Espalda.
- Antena de gran robustez y durabilidad.
- Pintados con EPOXY negra para evitar el hielo.
- Elemento radiante protegido con PVC según modelo.
- Conector standard N hembra.
- Herrajes incluidos en P.V.P.

ESPECIFICACIONES

- Polarización Vertical u Horizontal
- Impedancia 50 Ohms
- Potencia Máx. 150 W
- S.W.R. < 1,5
- Montaje sobre mástil de 30-58 mm de diámetro
- Relación Frente-Espalda: 20 dB



BY90-10G



BY90-12G

Models	Frequency (MHz)	Gain (dBd)	Length (m)	Bandwidth (MHz)	Wind load 150 km/h (N)	Weight (kg)	Elements Nº.	Price (Euros)
BY80 - 12G	800-900	12	1,3	100	50	1,8	14	Price list
BY90 - 10G	870-960	10	0,8	90	50	1,5	7	
BY90 - 12G	870-960	12	1,3	90	50	1,8	14	
BY90 - 15 G	870-960	15	1,4	90	52	2,3	15	

**Logarithmic Periodic
Vertical Polarization
Half-power Beam Width**

690–2690

V

67°

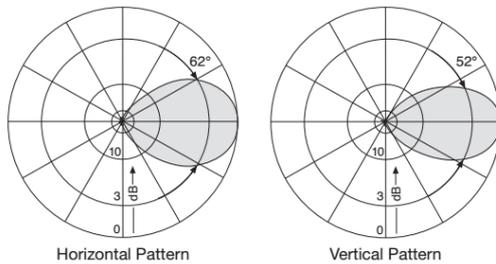
KATHREIN

VPol LogPer 690–2690 67° 11dBi

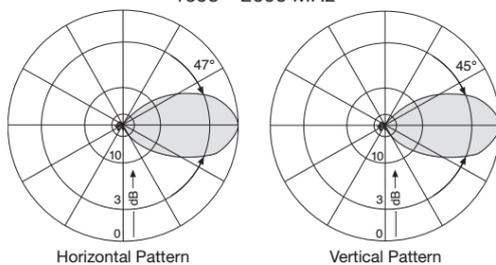
Type No.		742192v02					
Frequency range	MHz	690 – 880	880 – 960	960 – 1695	1695 – 2200	2200 – 2490	2490 – 2690
VSWR		< 1.6	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Gain	dBi	10.1	10.6	11.0	11.0	11.0	11.0
Impedance	Ω	50	50	50	50	50	50
Polarization		Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Front-to-back ratio	db	> 25	> 25	> 25	> 25	> 22	> 25
Half-power beam width	horizontal	69	64	57	53	47	45
	vertical	54	53	50	48	46	44
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	dBc	< -150	< -150	< -150	< -150	< -150	< -150
Max. power	W	300	300	250	200	170	150
Total power	W	500 (at 50 °C ambient temperature)					



690 – 1695 MHz



1695 – 2690 MHz



Mechanical specifications			
Input	1 x 7-16 female		
Connector position	Bottom		
Wind load (at Rated Wind Speed: 150 km/h)	N lbf	Frontal	20 4
		Lateral	210 47
Max. wind velocity	km/h mph	Frontal	241
		Lateral	150
Height / width / depth	mm inches	Height	300 / 155 / 785
		Width / Depth	11.8 / 6.1 / 30.9
Weight	kg lb	Weight	5.5
		Weight	12.1
Packing size	mm inches	Packing size	360 x 175 x 1000
		Packing size	14.2 x 6.9 x 39.4

936.5038/a Subject to alteration.

All specifications are subject to change without notice.
The latest specifications are available at www.kathreinusa.com

742192v02 Page 1 of 2

Kathrein USA Greenway Plaza II, 2400 Lakeside Blvd., Suite 650, Richardson TX 75082
Phone: 214.238.8800 Fax: 214.238.8801 Email: info@kathrein.com

Accessories

General Information

KATHREIN

Material: **Radiator:** Tin-plated copper. **Reflector screen:** Weather-proof aluminum. **Radome:** Fiberglass, color: Grey.
All screws and nuts: Stainless steel

Mounting: The antenna can be mounted on tubular mast with supplied clamps:

Mast diameter mm inches		Wind load km/h mph
30-70	1.2-2.8	< 200 124
48-70	1.9-2.8	< 241 150

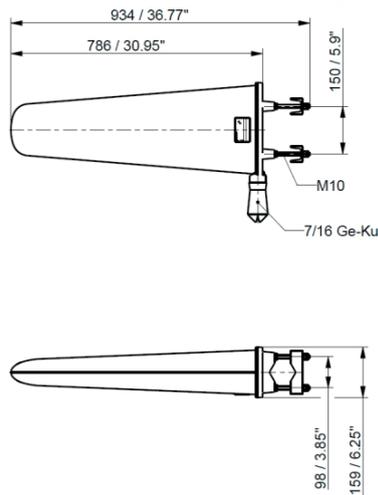
Recommended Torque: $M_A = 25 \text{ Nm}$.

Please note: Kathrein does not recommend to use counter nuts.

Grounding: All metal parts of the antenna as well as the inner conductor are DC grounded.

Environmental tests: Kathrein antennas have passed environmental tests as recommended in ETS 300 019-2-4. The homogenous design of Kathrein's antenna families use identical modules and materials. Extensive tests have been performed on typical samples and modules.

Pressure test: The antenna has passed a pressure test according to Official Journal of the European Communities L245/171 from 12.09.2002 for the use of the antenna in train tunnels for high speed railways. During test the antenna was subject to alternating pressure with a number of 1×10^6 alternations of load. The antenna exceeds the standard as follows:
Pressure difference according to L245/171: 10 kPa
Pressure difference during test: 20 kPa



All dimensions in mm / inches

836.5038/a Subject to alteration.

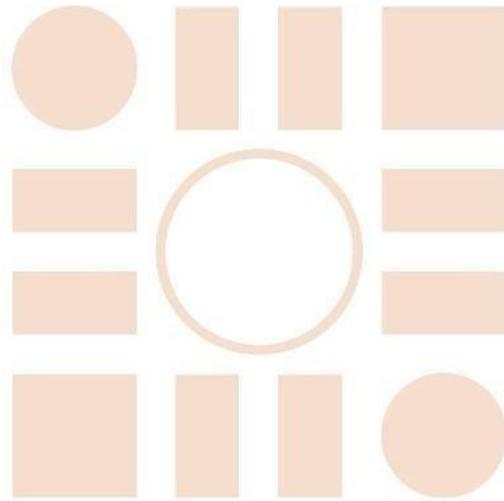
Any previous data sheet issues have now become invalid.

Page 2 of 2 742192v02

All specifications are subject to change without notice.
The latest specifications are available at www.kathreinusa.com

Kathrein USA Greenway Plaza II, 2400 Lakeside Blvd., Suite 650, Richardson TX 75082
Phone: 214.238.8800 Fax: 214.238.8801 Email: info@kathrein.com

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá