

# ANEJO Nº 7. TELECOMUNICACIONES MÓVILES

Título del documento			
DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA Y ANEJOS.			
ANEJO Nº 7. TELECOMUNICACIONES MÓVILES.			
Código	Fecha	Clasificación	
	Diciembre 2014	Restringido cliente	
Edición	Realizado por	Firma	Fecha
	Ana López Yela / Álvaro Manjón Galán Francisco Boyano Peláez		14-12-14
Tipo de documento	Revisado por	Firma	Fecha
ANEJO.	Javier Gutiérrez González		15-12-14
	Aprobado por	Firma	Fecha
	Rafael Gutiérrez Cantarero		16-12-14
Nombre del fichero			
Ruta en archivo			
Estado	Documento final		

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>		
1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA GSM-R .....	2		
1.1.1. GSM-R como medio de aplicación para ERTMS/ETCS .....	4		
1.1.2. GSM-R como medio de comunicación de voz para operaciones.....	5		
1.1.2.1. Direccionamiento funcional .....	6		
1.1.2.2. Direccionamiento basado en la localización.....	6		
1.1.2.3. eMLPP.....	7		
1.1.2.4. Establecimiento rápido de llamada.....	7		
1.1.2.5. Prioridad y vaciado prioritario.....	7		
1.1.2.6. Servicios de llamadas a grupos.....	8		
1.1.2.7. Servicios de llamada de grupo.....	8		
1.1.2.8. Servicios de llamada de difusión .....	8		
1.2. ELEMENTOS DE RED DEL SISTEMA GSM-R .....	9		
1.2.1. Subsistema radio, BSS .....	9		
1.2.1.1. Estación base transceptora, BTS .....	9		
1.2.1.2. Controlador de estaciones base, BSC .....	9		
1.2.1.3. Unidad de transcodificación y adaptación de velocidades, TCU/TRAU .....	9		
1.2.1.4. Subsistema de repetidores de fibra óptica.....	10		
1.2.2. Subsistema de conmutación, NSS.....	10		
1.2.2.1. Central de conmutación de servicios móviles, MSC .....	10		
1.2.2.2. Registro de localización de visitantes, VLR .....	10		
1.2.2.3. Registro de localización de abonados, HLR .....	11		
1.2.2.4. Centro de autenticación, AC.....	11		
1.2.2.5. Registro de identificación de equipos, EIR.....	11		
1.2.2.6. Registro de llamadas a grupos, GCR .....	11		
1.2.2.7. Función de interworking, IWF.....	12		
1.2.3. Red Inteligente, IN.....	12		
1.2.3.1. Direccionamiento funcional, FA.....	12		
1.2.3.2. Direccionamiento en función de la localización, LDA .....	12		
1.2.4. Subsistema de operación y mantenimiento, O&M .....	13		
1.2.4.1. Servidor y terminal de Switch Commander .....	13		
1.2.4.2. Servidor y terminal de OMC-R.....	13		
1.2.4.3. Servidor y terminal de Repetidores.....	13		
1.2.4.4. Terminales de operación y mantenimiento locales .....	14		
1.3. TERMINALES MÓVILES.....	14		
1.3.1. Terminal móvil de cabina CabRadio .....	14		
1.3.1.1. Radio de voz .....	14		
1.3.1.2. Radio de datos .....	15		
1.3.1.3. Funciones y servicios.....	16		
1.3.2. Terminales móviles de mano.....	16		
1.3.2.1. Terminal de propósito general, GPH .....	16		

1.3.2.2.	Terminal de operación, OPH.....	16	3.4.2.	<b>Sistema de Comunicaciones Móviles .....</b>	<b>27</b>
1.3.2.3.	Terminal de maniobras, OPS.....	17	3.4.2.1.	Actuaciones .....	27
<b>2.</b>	<b>OBJETO DEL PROYECTO. SOLUCIÓN ADOPTADA.....</b>	<b>17</b>	3.4.2.1.1.	Subfase I: Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: BSS.....	27
2.1.	OBJETO DEL PROYECTO.....	17	3.4.2.1.2.	Subfase II: Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: NSS .....	27
2.2.	SOLUCIÓN ADOPTADA.....	18	3.4.2.2.	Arquitectura general del sistema.....	28
2.2.1.	<i>Fase I San Telmo – Playa del Inglés.....</i>	<i>18</i>	3.4.2.2.1.	Descripción de Equipos de Comunicaciones móviles .....	34
2.2.1.1.	Fase I Subfase I Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: BSS.....	18	3.4.2.2.1.1	Sistema Radiante .....	34
2.2.1.2.	Fase I Subfase II Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: NSS .....	19	3.4.2.3.	Elementos no radiantes .....	34
2.2.2.	<i>Fase II Santa Catalina- Meloneras .....</i>	<i>19</i>	3.4.2.3.1.1	Estaciones Base y Repetidores.....	35
2.2.2.1.	Fase II Subfase I Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: BSS.....	19	3.4.2.3.1.2	Controlador de estaciones base.....	35
2.2.2.2.	Fase II Subfase II. Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: NSS .....	20	3.4.2.3.1.3	Unidad Transcodificadora.....	35
<b>3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES A REALIZAR.....</b>	<b>21</b>	3.4.2.3.1.4	MSC.....	36
3.1.	CODIFICACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS. ....	21	3.4.2.3.1.5	OMC-R .....	36
3.2.	UBICACIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES. ....	21	3.4.2.3.1.6	Consola de llamadas .....	36
3.2.1.	<i>Fase I San Telmo – Playa del Inglés.....</i>	<i>21</i>	3.4.2.4.	Sistema de Energía .....	36
3.2.1.1.	SubFase I. Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R.....	21	3.4.2.4.1.	Acometida eléctrica .....	36
3.2.2.	<i>Fase II Santa Catalina - Meloneras .....</i>	<i>23</i>	3.4.2.4.2.	Protección y distribución .....	36
3.2.2.1.	SubFase I. Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R.....	23	3.4.2.4.3.	Sistema de rectificadores/baterías.....	37
3.3.	DATOS BÁSICOS.....	25	3.4.2.4.4.	Puesta a tierra de Emplazamientos .....	37
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES A REALIZAR.....	26	3.4.2.5.	Infraestructuras de Obra Civil.....	38
3.4.1.	<i>Red de Acceso.....</i>	<i>26</i>	3.4.2.5.1.	Emplazamientos .....	38
			3.4.2.5.2.	Sismicidad del Terreno.....	39

3.4.2.5.3. Caseta prefabricada GSM-R.....	40	4.3.3.1. Transceptor de reserva .....	48
3.4.2.5.4. Caseta prefabricada de Operadores (emplazamiento estándar) .....	40	4.3.3.2. Funcionamiento en doble capa.....	48
3.4.2.5.4.1 Repetidor .....	41	4.4. CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE .....	49
3.4.2.5.5. Torres de telecomunicaciones .....	41	4.4.1. Estación base.....	49
3.4.3. Equipamiento de Red de Conmutación GSM-R (NSS).....	41	4.4.2. Sistema radiante .....	49
<b>4. COBERTURA RADIOELÉCTRICA.....</b>	<b>42</b>	4.4.2.1. Antenas .....	49
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	42	4.4.2.2. Elementos no radiantes .....	50
4.1.1. Requerimientos EIRENE.....	42	4.5. BALANCE DE ENLACE ESTACIÓN BASE .....	50
4.1.2. Requerimientos aplicables al Plan de Cobertura.....	43	4.5.1. Requisitos de cobertura.....	50
4.2. METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE PLANIFICACIÓN.....	44	4.5.2. Estación base.....	51
4.2.1. Metodología de planificación.....	44	4.5.3. Terminal.....	51
4.2.1.1. Chequeo de la línea de vista .....	44	4.5.4. Diversidad en recepción .....	51
4.2.1.2. Realización de medidas de cobertura radioeléctrica.....	44	4.5.5. Sensibilidad en recepción estación base.....	51
4.2.1.3. Medidas de espectro .....	45	4.5.6. Márgenes .....	51
4.2.2. Criterios de planificación .....	45	4.5.6.1. Desvanecimientos .....	51
4.3. DISEÑO DE CELDAS .....	46	4.5.6.2. Margen de seguridad.....	52
4.3.1. Concepto de celda compuesta.....	46	4.5.7. Cálculo de balance de enlace.....	52
4.3.2. Handover .....	46	4.5.7.1. Enlace Descendente.....	52
4.3.2.1. Tipos de handover .....	46	4.5.7.2. Enlace Ascendente.....	53
4.3.2.2. Solapamiento de la cobertura .....	47	4.6. RESULTADO DE LA PLANIFICACIÓN RADIOELÉCTRICA .....	55
4.3.3. Concepto de redundancia .....	47		

4.6.1. Fase I: San Telmo – Playa del Inglés.....	55
4.6.2. Fase I: Santa Catalina– Meloneras .....	60

## 1. INTRODUCCIÓN

El servicio ferroviario precisa de un estándar de radio digital con vistas al futuro que soporte las funcionalidades presentes y satisfaga las nuevas exigencias impuestas por las conexiones ferroviarias transfronterizas y sus requerimientos de interoperabilidad, mejorando la rentabilidad y la calidad del servicio. Dichos requisitos son:

- Una norma internacional europea con unas modificaciones que recoja las aplicaciones relacionadas con el ferrocarril.
- Eficacia demostrada por su funcionamiento en redes públicas de comunicaciones móviles.
- Rentabilidad y viabilidad económica, en su realización y operación.
- Componentes del sistema de comunicaciones tipo estándar, idénticos a los destinados al mercado público, sin implementación totalmente específica para el ferrocarril con objeto de minimizar la inversión necesaria al beneficiarse de la economía de escala.
- Servicios específicos para el ferrocarril y soporte a los sistemas de transmisión por radio usados en la actualidad.
- Integración de todos los servicios ferroviarios en una única red de comunicaciones.
- Alto nivel de fiabilidad y disponibilidad, calidad en las comunicaciones a velocidades de hasta 500 km/h, para voz y datos.
- Capacidad para integrar sin problemas nuevos servicios que se definan en el futuro.

Desde un primer momento, la UIC, Union International des Chemins de Fer, identificó la necesidad de disponer de una banda de frecuencias común como el factor clave para la operación internacional transfronteriza efectiva de un sistema de comunicaciones ferroviarias. En la banda de los 450/460 MHz, asignada a los ferrocarriles y usada por la mayoría de los sistemas ferroviarios actuales, no quedan ya más frecuencias disponibles para dar cabida a las aplicaciones de radio previstas para el futuro.

De forma paralela, la banda de servicios móviles a 900 MHz había sido elegida por el ETSI, European Telecommunication Standardization Institute, para las primeras redes GSM demostrando ser una banda de frecuencias adecuada. El sistema GSM, la red celular de mayor éxito desde el comienzo, marcó un nuevo estándar. Debido a su estabilidad y disponibilidad, se decidió utilizar la tecnología básica de la misma y adaptarla a las nuevas bandas de frecuencias públicas, 1800 y 1900 MHz, con un alto grado de economías de escala. La UIC estableció un grupo de trabajo para su especificación, denominado EIRENE, European Integrated Railway Radio Enhanced Network. Este grupo de trabajo evaluó la funcionalidad de sistemas como el GSM y TETRA. En 1995, la UIC eligió el sistema GSM como la tecnología más adecuada para las necesidades del ferrocarril. Desde entonces, tanto GSM como otros sistemas han progresado de forma notoria hacia la funcionalidad requerida. En 1995, el ETSI reservó, a nivel internacional, las dos bandas de frecuencias 876 – 880 MHz para la conexión desde el tren a tierra, y 921 – 925 MHz para la conexión desde tierra al tren, para los sistemas EIRENE, denominadas posteriormente banda GSM-R. En 1999, la Comunidad Europea publicó una directiva por la que declaraba dichas frecuencias disponibles para los sistemas de comunicaciones de las redes ferroviarias. De este modo, se resolvía un requisito clave para el tráfico transfronterizo.

El grupo EIRENE de la UIC también estableció nuevas peticiones de servicios para los sistemas GSM como elementos de trabajo, para que el SMG del ETSI cumpliera con los requisitos exigidos por el ferrocarril al sistema de radio móvil. Dichas peticiones de servicios han sido normalizadas en la especificación GSM Fase 2+. En la siguiente tabla se recogen las funcionalidades adicionales definidas por EIRENE/MORANE para cumplir los requerimientos de un sistema de comunicación ferroviario.

FUNCIÓN	FUNCIONALIDAD	APLICACIÓN	IMPLEMENTADO EN
Banda de frecuencias GSM-R	Numeración de los canales de acuerdo a la especificación GSM 2+	Operación de la banda de frecuencias EIRENE 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 del mismo	MSC/VLR, IN
Direccionamiento funcional	Funcionalidad de tipo seguimiento	Números funcionales para cada función del tren de acuerdo al plan de numeración EIRENE	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 a las especificaciones GSM Fase 2+	Comunicación radio punto-multipunto, 1 emisor y varios receptores (MOC ó MTC). Será utilizada principalmente para llamadas de emergencia ferroviarias	MSC/VLR/ HLR/AC, BSC y BTS Registro SW GCR en la MSC

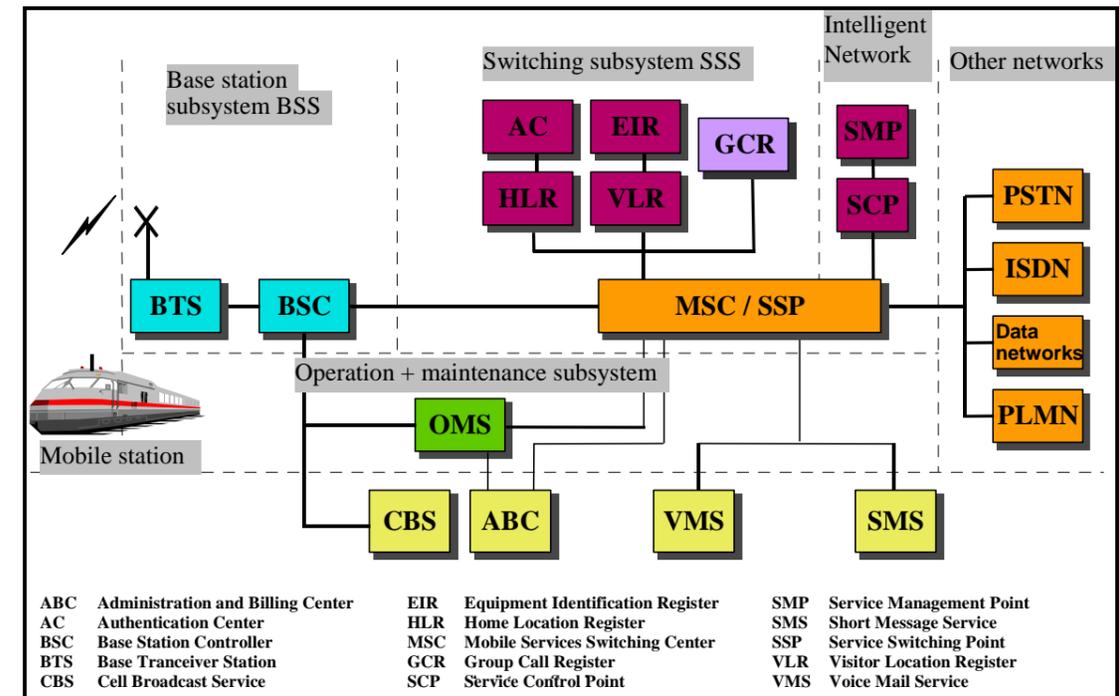
Llamadas de grupo	Función ASCI de acuerdo a las especificaciones GSM Fase 2+	Comunicación radio punto-multipunto, 1 emisor y varios receptores (MOC ó MTC) que posteriormente pueden intervenir como emisores en una comunicación bidireccional con el primero. Será utilizada principalmente para llamadas de emergencia ferroviarias, equipos de maniobras, equipos encargados de mantenimiento, etc	MSC/VLR/ HLR/AC, BSC y BTS Nuevo registro SW GCR en la MSC
Establecimiento rápido de llamada	Establecimiento rápido de llamada en función de la prioridad	Establecimiento rápido de llamadas como especifica EIRENE	MSC/VLR/ HLR/AC
Prioridad en los servicios	eMLPP de acuerdo a GSM Fase 2+	Gestión de los niveles de prioridad de acuerdo a EIRENE	MSC/VLR/ HLR/AC, BSC y BTS Nuevo registro SW GCR en la MSC
	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 (e.j. PABX)

### 1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA GSM-R

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

ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN	
MSC	Mobile Services Switching Center	Centro de conmutación de servicios móviles
IN	Intelligent Network	Soporte de inteligencia de red para las funcionalidades LDA y FN
HLR	Home Location Register	Registro de localización de abonados
VLR	Visitor Location Register	Registro de localización de visitantes
AC	Authentication Centre	Centro de autenticación
EIR	Equipment Identification Registration	Registro de identificación de equipos

cabina que se comunican con las aplicaciones ERTMS/ETCS y con soporte para comunicaciones de voz entre el conductor y el centro de control. El personal de mantenimiento, el personal encargado de cambios de vías, maniobras, etc., soportarán las comunicaciones operacionales mediante los correspondientes terminales de operación. En la figura siguiente se muestra la arquitectura típica de una red GSM-R en la que se pueden apreciar los principales componentes.

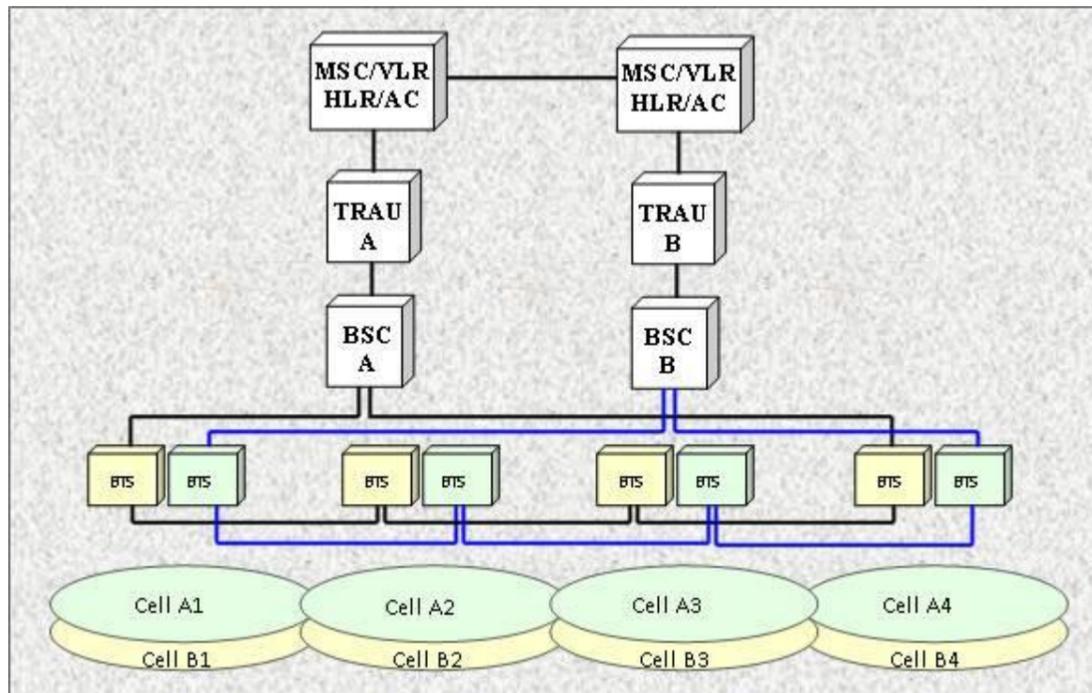


La red GSM-R está constituida por celdas elípticas dispuestas a lo largo del trazado, con antenas direccionales en la dirección de la vía. Para garantizar la cobertura, la disponibilidad y el tipo de acceso necesario para los sistemas de protección y control automático del tren, ATC, dentro de los usos nacionales previstos, y conforme a las especificaciones de Nivel 2 ETCS, se implantará una red de radio especial, con una cobertura de radio optimizada para cada celda, a lo largo del trazado, utilizando dos capas independientes y redundantes. Se ha prestado especial atención a las condiciones de la cobertura en túneles, solucionando su cobertura mediante repetidores. Se han considerado también las ubicaciones de las estaciones y diferentes edificios técnicos situados a lo largo de la vía. El diseño de una red completamente redundante sin ningún punto sencillo de fallo, que tenga un solapamiento total de todas las células de ambas redes, es la solución óptima

Todos los elementos de la red se administran a través de un Subsistema de Operación y Mantenimiento. Las aplicaciones específicas para servicios ferroviarios están basadas en un registro de llamadas a grupo, GCR, Group Call Register, y una plataforma de Red Inteligente, IN, Intelligent Network.

La comunicación de datos entre diferentes grupos puede ser realizada mediante el servicio de mensajes cortos, SMS, Short Messages Service. A bordo de los trenes se dispondrá de radios de

que se desarrolla. De esta forma, la selección de localizaciones alternas de los emplazamientos de las estaciones base es como se muestra en la figura siguiente.



El concepto de redundancia garantiza la máxima fiabilidad del sistema gracias a dos capas de red totalmente independiente, acompañada de dos sistemas redundantes y totalmente independientes para la red fija. El término Red Inteligente, IN, hace referencia a un concepto de arquitectura de red que es válido para todas las redes de telecomunicaciones. Su utilización habilita una capa de control que contiene la lógica de servicio o los datos de servicio en una localización central, y regular así, de un modo efectivo, la administración de los servicios existentes y de los nuevos servicios. En el marco de los esfuerzos realizados por las empresas ferroviarias para desarrollar una red de telefonía móvil normalizada en toda Europa, se definen los servicios específicos para uso ferroviario. Dado que la operación de las plataformas de IN es muy flexible, se desarrolla la implementación de estos servicios sobre IN. Para la red GSM-R, se han definido dos servicios específicos que ya están listos para el uso ferroviario, concretamente el direccionamiento funcional, Functional Addressing, FA, y el direccionamiento en función de la localización, Location

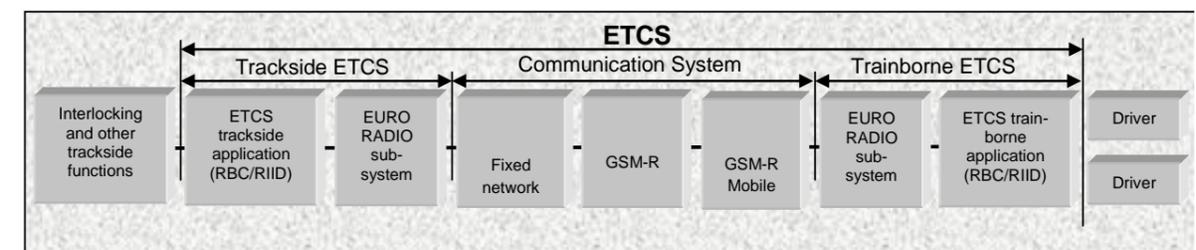
Dependent Addressing, LDA. La solución basada en IN para estos servicios a implementar es totalmente interoperable con otras redes GSM-R, conforme a lo exigido por EIRENE/MORANE.

Desarrollados sobre esta red de telefonía móvil y el plan de numeración definido por EIRENE, estos servicios hacen posible un sistema efectivo y flexible para disponer de una red de telefonía móvil operacional.

### 1.1.1. GSM-R como medio de aplicación para ERTMS/ETCS

La red GSM-R está configurada y dimensionada para permitir la transmisión de los datos ERTMS/ETCS desde un terminal fijo hacia los terminales móviles ATC, Automatic Train Control. Para ello se utilizará un servicio portador de datos GSM estándar. Por otra parte, la red GSM-R será utilizada como sistema privado de telecomunicaciones móviles para aplicaciones de voz para todo tipo de abonados.

La figura siguiente muestra la red GSM-R y la red fija de telecomunicaciones como entornos de transmisión para aplicaciones ERTMS/ETCS.



Desde el punto de vista funcional, y de las especificaciones técnicas, se deben cumplir todos los requerimientos marcados por las normas de estandarización de EIRENE y MORANE, así como del GSM Fase 2+, e incluso cumple requisitos aún considerados como opcionales. La red estará preparada para su interoperabilidad con otras redes de trenes de alta velocidad, en el momento en que dichas redes se conecten entre sí. Los requisitos para la interoperabilidad se encuentran de igual forma definidos por EIRENE y el EEIG. Dado que se utilizará el sistema GSM-R como modo de transmisión de las aplicaciones vitales en Nivel 2 de ERTMS/ETCS, todos los aspectos de planificación tienen en consideración una estructura de red dotada de una gran seguridad, para poder garantizar la máxima disponibilidad en todo el trazado. La arquitectura elegida, modular y

redundante, es fácilmente ampliable para ofrecer más capacidad y cubrir otros trazados o secciones del trazado, en cualquier fase de la implementación.

**1.1.2. GSM-R como medio de comunicación de voz para operaciones**

Las comunicaciones de voz para operaciones ferroviarias se realizan fundamentalmente con servicios suplementarios o teleservicios disponible ya en las redes GSM. En la siguiente tabla se recoge la relación entre las comunicaciones de voz para operaciones y las funciones GSM-R necesarias para realizarlas.

Comunicaciones de voz para operaciones	Funciones GSM-R necesarias
Comunicaciones para operaciones entre el controlador y el conductor del tren	Direccionamiento funcional Direccionamiento en función de la localización eMLPP

Difusión de llamadas de emergencia	eMLPP Establecimiento rápido de llamada Servicio de llamadas de difusión
Comunicaciones de maniobras	eMLPP Servicio de llamadas de grupo
Comunicaciones para operaciones entre conductores	Servicio multiparty Grupo cerrado de usuarios Direccionamiento de sistemas DECT Direccionamiento dependiendo de la localización eMLPP (entre controlador y conductor) Servicio de llamadas de grupo

Comunicaciones para mantenimiento	Direccionamiento funcional Direccionamiento en función de la localización Grupo cerrado de usuarios Servicio de llamadas de grupo
Comunicaciones de soporte a los trenes	Direccionamiento funcional Direccionamiento en función de la localización eMLPP

A continuación se realiza una breve descripción de las funciones necesarias para soportar el servicio que permite ese tipo de comunicaciones. eMLPP es un servicio suplementario de GSM., mientras que el servicio de llamadas de difusión y el servicio de llamadas en grupo, son teleservicios GSM (TS91 y TS92).

1.1.2.1. Direccionamiento funcional

Este servicio 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, mediante el uso de números funcionales definidos con carácter permanente. Los números funcionales se definen en un plan de numeración. El plan de numeración es el resultado de los esfuerzos realizados por EIRENE, cuyo objetivo es establecer normas para una red común de comunicaciones de telefonía móvil para las compañías ferroviarias europeas. Cada número funcional identifica a una persona concreta de acuerdo con su función o actividad. El servicio evalúa estos números funcionales y, posteriormente, traduce al MSISDN del usuario que está ejecutando la actividad designada por el número funcional en el momento de la llamada. Cada empleado puede asignar números funcionales a su MSISDN personal, eliminar asignaciones existentes o visualizar información sobre las asignaciones existentes, mediante el uso de los códigos de acceso USSD (Datos de servicio suplementarios no estructurados). Una característica especial la constituye la radio de cabina. La radio de cabina es un terminal inteligente que se instala con carácter permanente en la cabina del conductor del tren. Este terminal controla otros terminales, p. ej., un dispositivo de fax o el terminal del conductor. La funcionalidad concreta de la radio de cabina depende de dichos terminales. El abonado al servicio dispone de la posibilidad de adaptar el servicio a sus necesidades.

1.1.2.2. Direccionamiento basado en la localización

Esta característica permite establecer, con rapidez y sin problemas, contacto entre el personal del tren y los controlador o jefe de estación responsables del trazado o estación. En lugar de tener que marcar un número largo, el conductor del tren sólo necesita marcar un breve código de marcado para ponerse en contacto con el controlador asignado a la zona en la que circula en cada momento. El servicio consulta la localización del tren en ese momento en una base de datos, convierte el código de marcado en el número del controlador o controladores responsables y establece la conexión.

### 1.1.2.3. eMLPP

Algunas comunicaciones ferroviarias requieren de un alto rendimiento y fiabilidad. Las aplicaciones ERTMS/ETCS necesitan disponer de un canal de datos dedicado y establecido de forma continua. Para este tipo de aplicaciones, si en un handover hacia una celda vecina no hay canales disponibles por problemas de congestión, debe aplicarse el servicio de preemption para permitir un acceso inmediato a un canal de tráfico que esté ocupado por una aplicación de prioridad inferior. Las llamadas de emergencia ferroviaria necesitan un establecimiento de llamada inmediato dentro del área de emergencia, independientemente de que existan o no canales radio disponibles. De nuevo, en este caso, se debe aplicar el servicio de preemption para liberar las llamadas de baja prioridad y asignar los canales de tráfico correspondientes a la llamada de emergencia. En estos casos el tiempo de establecimiento de llamada es menor que el resto de llamadas. Las comunicaciones de maniobra y de soporte a trenes necesitan diferentes niveles de prioridad en función del tipo de comunicación. Las redes GSM actuales sólo permiten definir determinadas clases de bloqueo de forma estática y queuing y prioridades a una llamada a la que se aplique la función de llamada con establecimiento con prioridad. Estas funciones son muy limitadas porque dar prioridad sólo se puede realizar por estación base o por usuario y no puede ser modificada dependiendo de la situación de la red o de la prioridad requerida. Para proporcionar todos los servicios descritos anteriormente se introdujo en las especificaciones GSM Fase 2+ y dentro de las funciones denominadas ASCI, Advanced Speech Call Item, esta funcionalidad.

### 1.1.2.4. Establecimiento rápido de llamada

En las redes GSM actuales el tiempo de establecimiento de llamada está entre 3.5 y 10 segundos dependiendo de la estructura de la red y de la interacción entre el terminal móvil y la red. La funcionalidad de establecimiento rápido de llamada permite reducir al máximo el tiempo de establecimiento de una llamada. El tiempo de establecimiento de una llamada depende, fundamentalmente, del procesamiento de la misma en los subsistemas HLR/AC y MSC/VLR. Estos tiempos de procesamiento se reducen con la funcionalidad de establecimiento rápido de llamada y

adicionalmente los procedimientos de autenticación y cifrado se eliminan para las llamadas que requieren este tipo de establecimiento rápido.

### 1.1.2.5. Prioridad y vaciado prioritario

Con la funcionalidad eMLPP se pueden definir hasta siete niveles de prioridad, 2 niveles de prioridad de red y 5 niveles de prioridad de usuario. A un mismo usuario móvil se le pueden asignar uno o más niveles de prioridad. Cumpliendo las especificaciones MORANE el nivel 1 de prioridad de red está reservado para las llamadas de emergencia ferroviaria y el nivel 2 de prioridad de red está reservado para ETCS. La prioridad máxima y la prioridad por defecto que un usuario móvil tiene asignada se define en el HLR. Cuando una llamada con prioridad llega a la MSC/VLR, está inserta dicha prioridad en el mensaje de call setup hacia la BSC. La BSC evalúa la prioridad y asigna el canal apropiado. Las llamadas con alta prioridad pueden llegar a ocupar recursos que en ese momento estén asignados a llamadas con prioridades más bajas. Esto es especialmente importante en situaciones de emergencia donde los usuarios deben recibir inmediatamente la información y las llamadas no pueden esperar en una cola de espera hasta que haya recursos radio disponibles. La funcionalidad de prioridad y vaciado prioritario es aplicable a VBS y VGCS. Las llamadas establecidas con terminales móviles de Fase 2+ pueden pasar automáticamente a estado de espera si una llamada de prioridad mayor necesita el canal que en ese momento está siendo ocupado por ella. Para llamadas punto a punto el servicio eMLPP se asigna al usuario en el HLR, y si este servicio se va a aplicar a VBS o VGCS las prioridades eMLPP deben estar asignadas a los grupos en los registros del GCR. Las especificaciones GSM del ETSI sólo describen esta función dentro del ámbito de la red GSM. Para red fija, PSTN/ISDN, con señalización ISUP, se define una función similar al eMLPP en GSM denominada MLPP. Con eMLPP se definen dos niveles de prioridad de red, A y B, y cinco niveles de prioridad específicos de llamada, 0 a 4. MLPP tiene cinco niveles de prioridad.

Una funcionalidad adicional proporciona un mecanismo de mapeo entre las prioridades eMLPP y MLPP y viceversa para soportar llamadas con prioridad en las que participen usuarios fijos y móviles. Los niveles de prioridad de red eMLPP A y B se mapean al nivel 0 de prioridad ISUP MLPP. El nivel 0 de prioridad ISUP MLPP se mapea al nivel 0 de prioridad GSM eMLPP. Este

mecanismo permite la transferencia de niveles de prioridad asociados a llamadas entre diferentes redes.

#### 1.1.2.6. Servicios de llamadas a grupos

Existen dos servicios de llamadas a grupos:

- Servicio de llamadas de grupo. (VGCS)
- Servicio de llamadas de difusión (VBS)

Ambos servicios permiten establecer conexiones punto-multipunto para difusión de voz. Esta facilidad permite definir grupos de usuarios identificados con una referencia de llamada de grupo. Un usuario de servicio o dispatcher en un área geográfica predefinida denominada área de llamada de grupo. El área de llamada de grupo puede extenderse a más de una MSC. Todos los participantes de una llamada en grupo se conectan automáticamente y en paralelo. La principal diferencia entre los dos servicios es que el interlocutor que habla puede cambiar en el transcurso de una llamada de grupo pero no puede cambiar en el transcurso de una llamada de difusión.

A continuación se describen los principales conceptos que intervienen en una llamada a grupos:

- Usuario de servicio: un usuario de servicio es miembro de una llamada de grupo (VGCS/VBS) y es un usuario móvil GSM normal.
- Dispatcher: además de los miembros de una llamada de grupo (VGCS/VBS) hasta 6 dispatchers pueden participar en una llamada de grupo. Un dispatcher puede ser un usuario fijo que puede hablar o escuchar en cualquier momento como cualquier otro interlocutor y no necesita estar localizado en el área de llamada de grupo para poder participar en la llamada
- Área de llamada de grupo: los servicios VGCS y VBS pueden proveerse sobre áreas de llamada de grupos que pueden ser áreas de servicio cubiertas por hasta 9 MSCs distintas. Cada MSC puede tener hasta 50 celdas radio. Para un determinado grupo, identificado por su referencia, una de las MSCs actúa como MSC controladora del grupo, anchor-MSC, las otras

MSCs involucradas en la llamada de grupo, relay-MSCs, son controladas por la anchor-MSC. Cada MSC puede actuar como anchor-MSC o como relay-MSC, pero no de forma dinámica sino de una forma estática. Esto quiere decir que en una llamada VGCS/VBS hacia una referencia de grupo, una MSC actúa como anchor-MSC mientras que si la llamada es hacia otra referencia de grupo la misma MSC puede actuar como relay-MSC.

- El registro de llamadas de grupo, GCR, Group Call Register, está integrado en cada MSC como una función SW y contiene los datos relativos a una llamada de grupo como identificador de grupo, prioridad, tipo de establecimiento de llamada y datos de celda radio para cada grupo VGCS, direcciones de dispatcher y las direcciones de anchor-MSC y relay-MSC. Si un dispatcher inicia una llamada en una relay-MSC sólo el GCR de la anchor-MSC está involucrado. Si un usuario de servicio inicia una llamada en una relay-MSC el GCR definido en esta MSC estará involucrado.

#### 1.1.2.7. Servicios de llamada de grupo

Este servicio se puede aplicar a muchos tipos de comunicaciones dentro de la red ferroviaria, especialmente para comunicaciones con equipos de maniobra o comunicaciones de emergencia. Tanto usuarios fijos como móviles pueden necesitar en un determinado momento realizar una llamada de grupo. En una llamada de grupo se asignan a todos los usuarios que escuchan el mismo canal de forma que se optimiza la utilización de los recursos. Sólo si uno de los usuarios que escucha desea hablar, lo indica usando la función PTT-Press To Talk, se establecerá una conexión doble durante el tiempo que sea necesaria.

#### 1.1.2.8. Servicios de llamada de difusión

Este servicio se utiliza para difundir llamadas de emergencia ferroviaria. El servicio debe ser accesible tanto desde usuarios fijos como móviles y se establece una conexión de tipo half-dúplex, un usuario que habla y muchos que escuchan.

## **1.2. ELEMENTOS DE RED DEL SISTEMA GSM-R**

### **1.2.1. Subsistema radio, BSS**

Se compone de la unidad de transcodificación y adaptación de velocidad de transmisión, TCU/TRAU, los controladores de estación base, BSC, y las estaciones base transceptoras, BTS.

El concepto, que incluye el controlador central inteligente y varias estaciones base transceptoras es apto para uso de redes de pequeñas celdas en áreas urbanas y redes de grandes celdas en áreas rurales. La ventaja de las redes compuestas por celdas de pequeño radio es que ofrecen la posibilidad de manejar un tráfico mayor en áreas densamente pobladas. La ventaja de las redes compuestas por celdas de gran tamaño es la posibilidad de ofrecer cobertura en áreas extensas con estaciones base. Todos los elementos de red BSS deben ser compatibles con las especificaciones GSM Fase 2/2+.

#### **1.2.1.1. Estación base transceptora, BTS**

Estas se encuentran distribuidas a lo largo del trazado de las vías sobre la totalidad del área GSM-R. El área de servicio de las mismas puede estar compuesta por una o varias celdas. Se trata de estaciones de radio que proporcionan todas las funciones necesarias en el emplazamiento de la antena. Soportan la interfaz de radio GSM-R  $U_m$ , es decir, el camino radio entre la red GSM-R y las estaciones móviles. Operan en las bandas de frecuencias del sistema GSM-R. La configuración exacta de cada estación base se detalla en el documento de planificación radioeléctrica.

Para permitir la comunicación con terminales móviles que se desplazan a gran velocidad, hasta 500 km/h, se han desarrollado algoritmos especiales de ecualización que permiten mantener dicha comunicación con buenos niveles de calidad. Dichos algoritmos se implementan por medio de software en las estaciones base que proporcionan la cobertura radioeléctrica.

#### **1.2.1.2. Controlador de estaciones base, BSC**

Estos constituyen la parte inteligente del BSS y se encargan de manejar las funciones de control más importantes del BSS. También realizan las funciones de procesamiento de radio, tales como la administración de los recursos de radio, la administración de los canales de radio, la administración de las conexiones locales y las funciones de seguridad. Uno o más controladores de estaciones base pueden conectarse a una misma central de conmutación. Se pueden agrupar físicamente en un punto central, en los emplazamientos de la central de conmutación, o de forma remota en una caseta o espacio cerrado acondicionado para tal efecto.

Debido a los requisitos de disponibilidad, todas las estaciones base a lo largo del trazado van configuradas en bucle cerrado. Adicionalmente, se contempla una estructura de doble capa de cobertura, formada por dos capas de estaciones base que son totalmente independientes una de otra. En caso de producirse un fallo en una de las capas, la segunda puede asumir todo el tráfico de forma inmediata, sin que haya disminución alguna de la capacidad.

#### **1.2.1.3. Unidad de transcodificación y adaptación de velocidades, TCU/TRAU**

Se trata de una unidad físicamente separada de la controladora de estaciones base, cuya función es adaptar las diferentes velocidades de transmisión entre el BSS y el SSS en cada canal de tráfico, según lo especificado en las normas GSM. Los canales de voz y datos con 16 kbit/s en la parte radio se adaptan a la red normalizada de 64 kbit/s del subsistema de conmutación. Para permitir la transmisión de voz con un alto nivel de calidad comparable se utiliza la codificación predictiva conforme a las especificaciones GSM.

Desde el punto de vista lógico, la unidad de transcodificación y adaptación de velocidad forma parte del BSS. Sin embargo, son equipos físicamente diferenciados y, por lo tanto, se pueden ubicar en emplazamientos distintos. En los Operadores públicos de telefonía móvil este equipo se suele ubicar en el mismo emplazamiento que la central de conmutación, con el objeto de aprovechar mejor las capacidades de las líneas de transmisión entre ambos equipos. La ubicación de las mismas se llevará a cabo en las salas o en las proximidades de las centrales de conmutación existentes.

#### 1.2.1.4. Subsistema de repetidores de fibra óptica

Este subsistema consiste en repetidores conectados por medio de fibra óptica y está destinado a proporcionar cobertura radioeléctrica en túneles y otros entornos en los que existen dificultades para garantizar esa cobertura por diferentes razones.

El sistema de repetidores de fibra óptica consiste básicamente en:

- Unidad Maestra Repetidora, es el equipo conectado y ubicado junto a la estación base utilizado para convertir la señal RF de esta en señal óptica y transmitirla por el sistema de distribución de fibra óptica
- Sistema de distribución de fibra óptica, consta de la red de cables de fibra óptica que unen la unidad maestra repetidora con cada uno de los repetidores dependientes
- Repetidor, es el equipo que recibe la señal óptica de la estación base y la convierte en señal RF con un nivel adecuado para transmitirla hacia las estaciones móviles, y viceversa. Se ha optado por la utilización de repetidores de canal selectivo en la banda GSM-R equipados con dos o cuatro canales

Se utilizará una única fibra que sirve tanto para transmisión como recepción, mientras que los distintos repetidores pertenecientes a la misma cadena van multiplexados en la misma fibra. En cada repetidor, antes de entregar la señal óptica de la fibra, se inserta un divisor óptico simétrico o asimétrico que deja pasar parte de la señal al repetidor y deja pasar el resto a los repetidores siguientes en la cadena. De esta manera, es independiente el funcionamiento de un repetidor con el del resto de la cadena, por lo que si uno intermedio dejara de funcionar no afectaría al resto de la cadena.

#### 1.2.2. **Subsistema de conmutación, NSS**

##### 1.2.2.1. Central de conmutación de servicios móviles, MSC

Se encarga de los servicios de control de llamadas en la plataforma GSM-R. Conmuta las 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, red pública GSM o red GSM-R
- dos estaciones móviles dentro de la plataforma GSM-R

También realiza la conmutación de llamadas dirigidas a los abonados y efectuadas por los 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.

##### 1.2.2.2. Registro de localización de visitantes, VLR

La central de conmutación se integra junto con el VLR en un mismo nodo de red físico.

El VLR es, básicamente, una base de datos que contiene información sobre todos los abonados GSM que, en ese momento, son itinerantes en su área de servicio.

Si un abonado GSM se registra en el área de servicio de un VLR, esta información se envía a su registro de localización de abonado, HLR. Este hecho puede ir precedido por un procedimiento de autenticación. Entonces, el HLR envía al VLR información sobre las autorizaciones o perfil de servicio de este abonado GSM y almacena el enlace correspondiente con el VLR. De este modo, el sistema es capaz de conocer en que VLR se encuentra registrado todo abonado y cómo acceder a él. Cuando se produce una llamada terminada en un móvil, la petición de llamada llega al HLR, que reenvía esta petición al VLR donde se encuentra registrado el abonado. Durante el establecimiento de llamada, el VLR expide un número de abonado móvil GSM itinerante, MSNR, que se utiliza para establecer la conexión desde el MSC llamante al MSC/VLR donde se

encuentra el abonado. Otra información importante que almacena el VLR es el área de localización donde se encuentra el abonado. Un área de localización se define como un conjunto de celdas. El área de servicio del VLR comprende una o más áreas de localización de abonado. Por su parte, un área de localización puede incluir todas las estaciones base servidas por uno o por varios controladores de estaciones base. Siempre que un terminal móvil permanezca dentro de la misma área de localización, no será necesario actualizar la información del VLR o del HLR.

#### 1.2.2.3. Registro de localización de abonados, HLR

Es la base de datos principal con la información relevante de los abonados GSM registrados. Los registros de la base de datos pueden ser creados, eliminados o leídos por el operador, emitidos desde el OMS por la autoridad de administración de abonados usando el OMS o el terminal O&M local. También el propio abonado puede modificar registros del HLR si está permitido para ello. La entrada de información controlada por el abonado permite al propio abonado GSM incluir datos del mismo y definirlos en modo remoto, por ejemplo, para el reenvío de llamadas. Los datos relevantes incluyen también información sobre el área de servicio VLR en la que se encuentra en ese momento el abonado. Dicha información es necesaria para el establecimiento de llamadas terminadas en móviles. El HLR se integra físicamente junto con el AC en un único nodo de red. En la configuración de red actual el HLR/AC se encuentra integrado en el mismo nodo que la MSC/VLR/EIR/GCR.

#### 1.2.2.4. Centro de autenticación, AC

Este se encuentra equipado con una serie de cajas de seguridad que almacenan los códigos de autenticación y los algoritmos de cualquier abonado GSM, necesarios para la creación de los parámetros de autenticación. En el AC se crean una serie de parámetros de autenticación para cada abonado GSM antes de permitir su acceso a la red GSM-R. El VLR usa los parámetros de autenticación para efectuar comprobaciones de autenticación que permitan determinar si un abonado GSM está autorizado para acceder a la red y cursar llamadas. Para verificar esto se

envían conjuntos de parámetros de autenticación al VLR y se generan nuevos conjuntos de parámetros para ser guardados en la base de datos del AC.

#### 1.2.2.5. Registro de identificación de equipos, EIR

Se trata de una base de datos con información sobre los tipos de equipos y las identidades de equipos móviles internacionales, IMEI, de todos los equipos de radio móviles autorizados en su área de servicio. La función del EIR es la de realizar la identificación de los equipos. El EIR puede organizarse en función de las áreas de la red, por ejemplo, para una o más MSC. El EIR puede verificar la autorización de equipos móviles específicos, si se lo pide la MSC. La MSC restringe las comunicaciones de aquellos equipos móviles no autorizados.

#### 1.2.2.6. Registro de llamadas a grupos, GCR

Se trata de una 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. La función GCR se encuentra integrada junto con la MSC, al igual que el VLR. Almacena los atributos relacionados con VGCS y VBS, tales como identificaciones del grupo, dirección del remitente, identificadores de la celda de downlink perteneciente al área de la propia MSC y la prioridad eMLPP relacionada con el grupo. Cada identificador de grupo se almacena con la lista de celdas correspondientes que forman el área de llamada a grupo específica. El GCR está introducido en todas las MSCs con el objeto de proporcionar servicios ASCI. La función del GCR es principalmente la de una base de datos que contiene información sobre las llamadas a grupo de voz. Los datos del GCR para una llamada a grupo de voz específica se definen durante la creación de los atributos de la llamada a grupo y pueden modificarse con posterioridad. En nuestra red todas las llamadas de voz VGCS y VBS serán tratadas por el GCR de la MSC donde se origina la llamada.

#### 1.2.2.7. Función de interworking, IWF

Esenciales para los servicios de datos conmutados por circuitos, el nodo MSC proporciona funciones de interworking que realizan la conversión de los protocolos de fax y de datos y/o funciones de módem hacia las redes PSTN/PSPDN. Además, realiza las funciones de señalización necesarias para el establecimiento y terminación de llamada con servicios de telecomunicaciones de datos autorizados en el sistema D900, servicio portador y teleservicio de datos.

#### 1.2.3. **Red Inteligente, IN**

Este término hace referencia a un concepto de arquitectura de red que es válido para todas las redes de telecomunicaciones. La idea básica es introducir una capa de control que contenga la lógica de servicio y los datos de servicio en una localización central, y regular así, de un modo efectivo y flexible, la administración de los servicios existentes y de los nuevos servicios.

##### 1.2.3.1. Direccionamiento funcional, FA

Este servicio 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, mediante el uso de números funcionales definidos con carácter permanente. Los números funcionales se definen en un plan de numeración, y este es el resultado de los esfuerzos realizados por EIRENE, cuyo objetivo es establecer normas para una red común de comunicaciones de telefonía móvil para las compañías ferroviarias europeas.

Cada número funcional identifica a una persona concreta de acuerdo con su función o actividad. El servicio evalúa estos números funcionales y, posteriormente, traduce al MSISDN del usuario que está ejecutando la actividad designada por el número funcional en el momento de la llamada. Cada empleado puede asignar números funcionales a su MSISDN personal, eliminar asignaciones existentes o visualizar información sobre las asignaciones existentes, mediante el uso de los códigos de acceso USSD, Datos de Servicio Suplementarios no Estructurados. De este modo, cada empleado puede asignar a su MSISDN hasta un máximo de cinco números funcionales al

mismo tiempo. Una característica especial la constituye la radio de cabina. La radio de cabina es un terminal inteligente que se instala con carácter permanente en la cabina del conductor del tren. Este terminal controla otros terminales, como un dispositivo de fax o el terminal del conductor. La funcionalidad concreta de la radio de cabina depende de dichos terminales. Se pueden asignar hasta un máximo de 50 números funcionales al MSISDN de una radio de cabina. El abonado al servicio dispone de la posibilidad de adaptar el servicio a sus necesidades.

##### 1.2.3.2. Direccionamiento en función de la localización, LDA

Esta característica permite establecer, con rapidez y sin problemas, contacto entre el personal del tren y los controladores o jefe de estación responsables del trazado. En lugar de tener que marcar un número largo, el conductor del tren sólo necesita marcar un breve código de marcado para ponerse en contacto con el controlador asignado a la zona en la que circula en cada momento.

El servicio consulta la localización del tren en ese momento en una base de datos, convierte el código de marcado en el número del controlador o controladores responsables y establece la conexión. El servicio utiliza el identificador de la celda dentro de la red GSM-R para la localización del usuario llamante. En caso de que en un futuro existiese un sistema externo que proporcionase información más detallada sobre la localización de los trenes, dicha información podría ser utilizada por el servicio con unos costes de adaptación mínimos.

#### **1.2.4. Subsistema de operación y mantenimiento, O&M**

La arquitectura de estos sistemas está basada en la estructura cliente/servidor.

El sistema encargado de la operación y mantenimiento del subsistema de conmutación se denomina Switch Commander, SC, cuya funcionalidad se distribuye entre uno o varios servidores dependiendo de las configuraciones, y clientes, CT, desde los que los operadores pueden acceder a las funciones del sistema. De igual forma, para la operación y mantenimiento del subsistema radio se utiliza el OMC-R, con una estructura similar con servidores y clientes. Los servidores pueden tener conectadas las correspondientes impresoras de alarmas a través de la red de área local.

En ambos casos, tanto para los elementos del subsistema de conmutación como para los del subsistema de radio se puede disponer de terminales para su utilización en local en los emplazamientos de los equipos, sin necesidad de conexiones remotas a servidores centralizados.

##### 1.2.4.1. Servidor y terminal de Switch Commander

Los distintos servidores que pueden conformar la configuración concreta del Switch Commander están basados en PC con sistema operativo Windows y el concepto de red disponible en este entorno. Desde el correspondiente servidor se realizan las funciones de mediación para la gestión de las alarmas en un sistema de TMN. Este interfaz hacia TMN cumple el estándar Q3.

Los terminales, CT, son estaciones de trabajo también basadas en la plataforma Windows, donde se instala el software que permite la conexión con los servidores y el acceso a las funciones de gestión de los elementos de la red de conmutación. El interfaz de usuario dispone de varias funcionalidades, modo comandos, MML, o modo gráfico, GUI.

##### 1.2.4.2. Servidor y terminal de OMC-R

El sistema de operación y mantenimiento del subsistema radio tiene como funciones la operación, administración y el mantenimiento de los elementos de la red GSM-R. El centro de operaciones y mantenimiento es la entidad funcional a través de la cual el operador puede supervisar y controlar el sistema.

Además de sus funciones de operación y mantenimiento radio, es decir, gestión central de los elementos de red del BSS, se encarga de las comunicaciones hacia las controladoras de estaciones base a través de una conexión IP, o a través de una conexión NUC en un canal dedicado entre la controladora de estaciones base y la unidad de transcodificación y adaptación de velocidades.

Los terminales, son estaciones de trabajo que proporcionan la interfaz de usuario entre el operador y el terminal, y con los elementos de red del BSS. Esta interfaz se implementa con las funciones de una interfaz gráfica de usuario, GUI, y con una interfaz de comandos de línea, CLI.

##### 1.2.4.3. Servidor y terminal de Repetidores

El servidor está basado en PC con sistema operativo Windows, y además de sus funciones de operación y mantenimiento chequeando y revisando el sistema de repetidores para garantizar su perfecto de estado de funcionamiento, se encarga de las comunicaciones hacia las unidades maestras repetidoras permitiendo configurar remotamente sus parámetros radio, monitorizar su tráfico, etc.

Para que la comunicación entre la unidad maestra repetidora y los repetidores sea posible se debe dotar a la primera de una tarjeta adicional que, gracias a un protocolo predefinido, permita la comunicación con el segundo. De esta forma se pueden realizar peticiones desde el servidor central a la unidad maestra repetidora para que reporte el estado de todos los repetidores, o en caso de que exista un fallo, automáticamente la unidad maestra repetidora reportaría al servidor principal la información.

La conexión se realizará vía IP a través de la red multiservicio.

El interfaz de usuario dispone de varias funcionalidades, modo comandos, MML, o modo gráfico, GUI.

#### 1.2.4.4. Terminales de operación y mantenimiento locales

- Terminales locales para el SSS. Cada nodo de red del SSS, como por ejemplo, MSC/VLR o HLR/AC, se gestiona con un terminal básico de trabajo directamente conectado al mismo. Estos permiten la instalación y recuperación del sistema, así como cualquier tarea de operación y mantenimiento necesaria. Estos nodos se encuentran ya disponibles en las actuales centrales de conmutación del tramo Madrid-Lleida.
- Terminales locales para el BSS. Se pueden conectar terminales portátiles a los elementos de red del BSS in situ como terminales de mantenimiento locales. En concreto, se puede iniciar una sesión remota a una BSC desde cualquier BTS o VATU. Esto significa que la red del BSS puede ser administrada desde todos los elementos de red del BSS. También puede restringirse dicho acceso remoto desde el OMC-R

### 1.3. TERMINALES MÓVILES

Existen distintos tipos de terminales móviles a disposición de todas las personas que participan en la explotación de una red ferroviaria, para que todas las comunicaciones puedan ser llevadas a cabo de una forma segura. Existen distintos tipos de comunicaciones:

- Conductor del tren-despachador
- Comunicaciones entre usuarios de un mismo grupo
- Llamadas de difusión
- Llamadas entre equipos de maniobras
- Conductor del tren con distintos grupos

Para cada una de las comunicaciones anteriores, existen terminales específicos que los hacen más adecuados para unas que para otras. Se especifican a continuación los distintos terminales móviles.

#### 1.3.1. **Terminal móvil de cabina CabRadio**

El terminal de cabina o CabRadio, es el equipo móvil que va embarcado en los diferentes trenes; este terminal debe contemplar los siguientes puntos:

- Ser compatible con las especificaciones de EIRENE, es decir, estar compuesto por una radio de datos, una radio de voz y contar esta última parte con un interfaz hombre-máquina DMI, MMI o consola flexible, que permita al conductor realizar todas las acciones necesarias para una correcta comunicación
- Proporcionar todos los datos necesarios a bordo para la marcha del tren
- Contar con varios interfaces disponibles para distintos tipos de información
- Ser versátil en cuanto a su posible ubicación

##### 1.3.1.1. Radio de voz

La radio de voz permite la comunicación de voz entre el conductor del tren y el personal del ámbito ferroviario. Asimismo, proporciona interfaces de datos a otros equipamientos no vitales que se encuentran en el tren para hacer posible una posible comunicación de datos entre el tren y los equipos de control asociados para esa aplicación específica.

El equipo móvil de Voz incluye los siguientes componentes:

- Radio de voz
- Antena de radio de voz

- Conexión a la alimentación del tren
- Panel de control de la radio de voz del conductor; que incluye los siguientes componentes:
  - DMI del conductor
  - Aparato telefónico del conductor
  - Altavoz del conductor

Además, puede tener otros interfaces como la indicación de Hombre Muerto, que envía una señal en caso de no recibir la señal de Hombre Muerto, o el control de la llave del conductor, que chequea qué cabina está activa en el caso de que existiese más de una.

En esta parte de la radio de voz, el conductor dispone de su interfaz DMI con un teclado apropiado para poder efectuar las llamadas, escogiendo las mismas con el teclado numérico, a través de la agenda que se puede definir en el propio terminal, o con un acceso directo predeterminado para las llamadas más importantes.

Además existen otros tipos de llamadas que se pueden realizar con el terminal de voz:

- Realizar llamadas de emergencia con un acceso directo a través de un tecla dedicada
- Realizar llamadas a controladores primarios/secundarios
- Enviar/recibir mensajes de texto
- Hacer llamadas de grupo
- Participar en llamadas de difusión

Modos de funcionamiento del CabRadio:

- Modo tren. En este modo se dispone de un terminal con todas la funcionalidades antes especificadas
- Modo maniobras. Este modo es específico para el caso de que se cursen llamadas de grupo para un equipo de maniobras. El primer paso es definir desde el terminal que se desea hacer un tipo de llamadas de este tipo. Posteriormente se entra a formar parte de un grupo genérico desde el que ya se hace la petición para entrar dentro del grupo definido para esta maniobra en particular. Este terminal de cabina se deberá registrar dentro del grupo con el papel de conductor

#### 1.3.1.2. Radio de datos

La principal función de la radio de datos vitales es permitir que el tren se mueva de forma segura recibiendo mensajes de Autorización de Movimiento. Esta radio proporciona comunicaciones de datos específicamente para aplicaciones del sistema de control de trenes ETCS y está controlada directamente por el EVC del tren, de modo que se establezcan las conexiones y se transmitan los datos de forma transparente. El equipamiento de la radio de datos vitales incluye los siguientes elementos:

- Radios de datos vitales (Dos)
- Antenas de radio de datos vitales (Dos)
- Conexión a la alimentación del tren

Como antes se ha comentado, este terminal se conectará directamente al EVC o equipo de señalización de forma redundante, pues se disponen de dos módems independientes en el interior del CabRadio de datos y las conexiones, por tanto, también son redundantes.

### 1.3.1.3. Funciones y servicios

Este terminal ofrece todas las funcionalidades específicas para el entorno ferroviario recogidas en EIRENE, además de otras muchas:

- Gestión de prioridades
- Presentación-utilización de números funcionales
- Llamadas de grupo, de difusión...
- Teleservicios, como SMS, llamadas de emergencia, llamadas de grupo, de difusión ...
- Servicios complementarios: desvío de llamada, mantenimiento de llamada, restricción de llamadas, ...
- Servicios portadores: BS24, BS25 y BS26

### 1.3.2. **Terminales móviles de mano**

Estos terminales son como los que se utilizan en las redes públicas, pero adecuados para trabajar en la banda de GSM-R. Se pueden citar tres tipos: los de propósito general, los de propósito operacional y los de maniobras para estos equipos específicos.

#### 1.3.2.1. Terminal de propósito general, GPH

Es muy similar en apariencia al teléfono móvil GSM estándar, pero proporciona la posibilidad de utilizar las bandas de frecuencia GSM-R, GSM 900, E-GSM, además de la banda de frecuencias DCS. Con este terminal el personal implicado en la explotación del sistema puede comunicarse desde cualquier lugar con otros trabajadores o controladores de la red en las frecuencias GSM-R, e incluso con los usuarios utilizando la red pública.

El terminal de propósito general es ligero y fácilmente transportable y cuenta con una considerable autonomía y resistencia gracias a su batería interna. La batería puede recargarse con el cargador que se proporciona junto con la unidad.

Estos terminales ofrecen teleservicios como transmisión vocal, transmisión de SMSs, fax, llamadas de grupo, de difusión y servicios complementarios como restricción de llamadas, desvíos y mantenimiento de las mismas.

Dentro de los servicios portadores, también permiten la transmisión de datos a 2.4kbps, 4.8kbps y 9.6kps y para los servicios adicionales se presentan las llamadas funcionales y la confirmación de llamadas prioritarias. Asimismo, se pueden realizar llamadas con números funcionales, se enrutan las llamadas en función de la localización y se soportan llamadas de emergencia ferroviaria.

Para las funcionalidades descritas anteriormente, existen botones dedicados: uno de ellos es el de Push To Talk, PTT, para participar en las llamadas de grupo, y otros dos están dedicados a incrementar o bajar el volumen. Para este terminal las llamadas de emergencia son accesibles vía menú. Además, tiene un led indicador de fallo en la parte frontal en el caso de que falte cobertura.

#### 1.3.2.2. Terminal de operación, OPH

Este tipo de terminal es muy similar en apariencia al teléfono móvil GPH de GSM-R, pero es más robusto, en el sentido de que se puede caer o le puede entrar agua sin que su funcionamiento se vea degradado. Al igual que en el caso de los anteriores puede utilizar las bandas de frecuencia GSM-R, GSM 900, E-GSM, además de la banda de frecuencias DCS. Con este terminal el personal implicado en la explotación del sistema puede comunicarse desde cualquier lugar con otros trabajadores o controladores de la red en las frecuencias GSM-R, e incluso con los usuarios utilizando la red pública, aunque está indicado especialmente para personal que tenga que realizar algún tipo de trabajo de mantenimiento en la línea.

Los servicios ofrecidos por este tipo de terminales son exactamente iguales a los que se han citado para los terminales GPH.

En el caso del OPH, existen teclas de acceso directo con varias funcionalidades. En particular, existen 4 teclas de función en la parte frontal, junto con el resto del teclado numérico, que

permiten iniciar llamadas de grupo o de difusión, o incrementar y bajar el volumen del micrófono. Además, existe una tecla de acceso directo para efectuar la llamada de emergencia ferroviaria y unas teclas laterales que permiten modificar el volumen cómodamente sin necesidad de cambiarlo con las teclas de función en la parte frontal. Este terminal tiene dos leds que marcan la operativa del mismo. Uno de ellos está en la parte frontal del teléfono y tiene la misma función que en el caso del GPH, por lo que si está rojo es indicativo de que existe mala cobertura. Tiene otro led sólo se activa en el caso de que se esté usando el terminal en modo manos libre, parpadeando cuando se está en este modo de operación.

### 1.3.2.3. Terminal de maniobras, OPS

Existe un terminal específico para los equipos de maniobras que permite un fácil acceso a las funcionalidades de las redes GSM-R, con un chasis muy resistente y con la posibilidad de utilizar un interfaz hombre-máquina remoto que se puede ajustar al cuerpo del operario, con el que sea posible acceder a teclas específicas. Así, por ejemplo, se dispondría de un botón Push To Talk, PTT, para las llamadas de grupo, dos leds que indican el estado de la llamada de grupo, un botón dedicado para las llamadas de emergencia y una tecla de Enlace Seguro para avisar al conductor que participa en el grupo de maniobras de que el enlace radio dentro de este grupo está activo, así como para indicar al responsable del mismo que los movimientos que se están llevando a cabo se realizan de una forma segura. Este tipo de terminales se pueden ofrecer con accesorios múltiples que permitan fijar tanto el teléfono como el manos libres con unas pinzas adecuadas a unos cinturones que se puede colocar el operario en torno a la cintura o el hombro, de modo que no necesite tener físicamente el terminal sujeto con una mano.

## 2. OBJETO DEL PROYECTO. SOLUCIÓN ADOPTADA

### 2.1. OBJETO DEL PROYECTO

Es objeto del presente Proyecto la descripción de las instalaciones con un grado de definición suficiente que posibilite la ejecución de las obras de instalación del Sistema de Comunicaciones Móviles GSM-R con las garantías de seguridad y de explotación establecidas en la Directiva 2008/57/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de junio de 2008, relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad, y en el Real Decreto 1434/2010, de 5 de noviembre sobre interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad, así como las normas EIRENE/MORANE vigentes, para la puesta en servicio y explotación de la línea ferroviaria Santa Catalina – Meloneras, exigiendo un nivel de señal a lo largo de toda la traza suficiente que garantice la transmisión de Voz y Datos ERTMS para trenes circulando con velocidades inferiores a 160 km/h.

Con el objetivo de garantizar una completa funcionalidad del sistema GSM-R, tanto para satisfacer los requerimientos de calidad y fiabilidad de las comunicaciones como para facilitar las tareas de mantenimiento, se ha adoptado la solución que a continuación se describe y que reúne todas las condiciones de capacidad, explotación y flexibilidad de configuración a medio y largo plazo.

El Proyecto desarrolla una solución de altas prestaciones cuya finalidad del conjunto es la siguiente:

- Implementar un sistema de comunicaciones móviles, basado en el sistema GSM-R que, entre otras funcionalidades, garantice las comunicaciones de una forma fiable.
- Ofrecer una cobertura de radio que garantice los niveles de potencia exigidos mayor que el 95% (tanto en tiempo como en espacio) en todos los tramos ferroviarios dentro del presente Proyecto.
- Ofrecer una arquitectura que garantice una fiabilidad y disponibilidad avanzada acordes con el nivel de prestaciones requerido en el entorno ferroviario.

- Implantar sistemas que cumplen los estándares internacionales e interfaces abiertos permitiendo el uso de equipos de otros suministradores a la red GSM-R.
- Implantar un sistema de gestión fácil de manejar y de nuevas prestaciones.

La red GSM-R se ha desarrollado con el fin de satisfacer todos los requerimientos exigidos y muy especialmente los de funcionalidad y disponibilidad.

Los sistemas desarrollados en el presente Proyecto, destinados a obtener los objetivos conjuntos de la Línea indicados en el párrafo anterior son los correspondientes a las instalaciones siguientes:

- Sistemas de comunicaciones móviles.
- Sistemas de acceso.
- Suministro de energía.
- Obra civil asociada.

## **2.2. SOLUCIÓN ADOPTADA**

### ***2.2.1. Fase I San Telmo – Playa del Inglés***

#### **2.2.1.1. Fase I Subfase I Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: BSS**

La Subfase I se corresponderá con las Instalaciones de Telecomunicaciones móviles GSM-R: BSS.

De acuerdo con el objeto del proyecto y después del análisis de las distintas posibilidades técnicas susceptibles de aplicación, se ha adoptado como solución idónea para las necesidades requeridas, realizar las siguientes actuaciones:

- Instalación de 13 Estaciones Base Transceptoras (BTS), 6 para Capa A y 7 para Capa B, ubicadas en casetas prefabricadas/cuartos de comunicaciones.

- Instalación de 26 Repetidores (FOR), 15 para Capa A y 11 para la Capa B ubicados en Túnel.
- Instalación 2 Controladoras de Estaciones Base (BSC), una por capa e instalación de 2 Unidades Transcodificadores y Adaptadoras de Velocidad (TCU/TRAU), una por capa, ubicadas en:
  - El edificio de Gerencia de Talleres y cocheras.
  - Estación de Vecindario

En el caso de que (por ejemplo, por evolución de producto) en lugar de las ampliaciones de equipos existentes previstas, se oferten nuevos equipos, se habrán de integrar en estos todos los servicios que estuvieran siendo proporcionados por los equipos en los que estuviese previsto realizar ampliaciones. El precio ofertado para los nuevos equipos y las labores de integración de servicios serán como máximo el del presupuesto previsto para la realización de ampliaciones

- Se instalarán un (1) cliente de OMC-R, que se ubicarán bajo el criterio de la Dirección de Obra.
- Instalación/Integración, a criterio de la dirección de Obra, de un (1) servidor para la gestión/supervisión de la red de repetidores. Adicionalmente, se instalarán un (1) cliente para la supervisión de la red de repetidores que se ubicarán bajo el criterio de la dirección de Obra.
- Instalación/Integración, a criterio de la Dirección de Obra, de un (1) servidor para la gestión/supervisión de la red de rectificadores, o ampliación/integración en servidor existente. Adicionalmente, se instalarán un (1) cliente para la supervisión de la red de rectificadores, que se ubicarán bajo el criterio de la dirección de Obra.
- Instalación/Integración, a criterio de la dirección de Obra, de un (1) servidor para el sistema de supervisión de alarmas, o ampliación/integración en servidor existente. Adicionalmente, se

instalarán un (1) cliente para la supervisión de la red de alarmas, ubicarán bajo el criterio de la dirección de Obra.

- Instalación/Integración, a criterio de la dirección de Obra, de un (1) servidor para el sistema de OMC-S, o ampliación/integración en servidor existente. Adicionalmente, se instalarán un (1) cliente para la supervisión de la red de OMC-S, ubicarán bajo el criterio de la dirección de Obra.
- Tendido de cables eléctricos para la alimentación de las estaciones base desde armarios de vía de línea de 20 KV.
- Obra civil para la construcción de 39 emplazamientos, incluyendo la instalación de torre/mástil/ hastial, según proceda (13 BTS y 26 FOR).
- Construcción de una red de canalizaciones y/o zanjas, ya sean subterráneas o superficiales, en cada uno de los emplazamientos que aseguren una ruta segura para el suministro de energía/fibra desde el transformador/empalme más próximo de la vía hasta el emplazamiento GSM-R.
- Desmonte, explanaciones, extendido de grava, cimentación y preparación del terreno para los puntos donde se ubican los emplazamientos que así lo requieran.
- Construcción y/o adecuación del vallado e instalaciones de cerramiento conjunto.

#### 2.2.1.2. Fase I Subfase II Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: NSS

La subfase II se corresponderá con la instalación completa del subsistema NSS en el edificio de Gerencia de Talleres y cocheras. Estas actuaciones se detallan como sigue:

- Instalación e integración NSS.
  - Integración MSC- PABX.
  - Integración RBC-MSC.
  - Integración sistemas telecomunicaciones en IN.

- Ampliación de conectividad y capacidad en MSC (Datos o fax, E1, SPOTS, llamadas de grupo, etc.).
- Actualización de bases de datos en NSS.

#### 2.2.2. **Fase II Santa Catalina- Meloneras**

##### 2.2.2.1. Fase II Subfase I Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: BSS

La subfase I se corresponderá con las Instalaciones de Telecomunicaciones móviles GSM-R: BSS

De acuerdo con el objeto del proyecto y después del análisis de las distintas posibilidades técnicas susceptibles de aplicación, se ha adoptado como solución idónea para las necesidades requeridas, realizar las siguientes actuaciones:

- Instalación de 3 Estaciones Base Transceptoras (BTS), 1 para la capa A y 2 para la capa B, ubicadas en casetas prefabricadas/cuartos de comunicaciones.
- Instalación de 13 Repetidores (FOR), 7 para la capa A y 6 para la capa B, ubicados en Túnel.
- Ampliación de capacidad para BSC y TRAU si fuese necesario.

En el caso de que (por ejemplo, por evolución de producto) en lugar de las ampliaciones de equipos existentes previstas, se oferten nuevos equipos, se habrán de integrar en estos todos los servicios que estuvieran siendo proporcionados por los equipos en los que estuviese previsto realizar ampliaciones. El precio ofertado para los nuevos equipos y las labores de integración de servicios serán como máximo el del presupuesto previsto para la realización de ampliaciones.

- Se instalarán un (1) cliente de OMC-R, que se ubicarán bajo el criterio de la Dirección de Obra.
- Instalación/Integración, a criterio de la dirección de Obra, de un (1) servidor para la gestión/supervisión de la red de repetidores. Adicionalmente, se instalarán un (1) cliente para la supervisión de la red de repetidores que se ubicarán bajo el criterio de la dirección de Obra.

- Instalación/Integración, a criterio de la Dirección de Obra, de un (1) servidor para la gestión/supervisión de la red de rectificadores, o ampliación/integración en servidor existente. Adicionalmente, se instalarán un (1) cliente para la supervisión de la red de rectificadores, que se ubicarán bajo el criterio de la dirección de Obra.
- Instalación/Integración, a criterio de la dirección de Obra, de un (1) servidor para el sistema de supervisión de alarmas, o ampliación/integración en servidor existente. Adicionalmente, se instalarán un (1) cliente para la supervisión de la red de alarmas, ubicarán bajo el criterio de la dirección de Obra.
- Instalación/Integración, a criterio de la dirección de Obra, de un (1) servidor para el sistema de OMC-S, o ampliación/integración en servidor existente. Adicionalmente, se instalarán un (1) cliente para la supervisión de la red de OMC-S, ubicarán bajo el criterio de la dirección de Obra.
- Tendido de cables eléctricos para la alimentación de las estaciones base desde armarios de vía de línea de 20 KV.
- Obra civil para la construcción de (16) emplazamientos, incluyendo la instalación de torre/mástil/hastial, según proceda (3 BTS y 13 FOR).
- Construcción de una red de canalizaciones y/o zanjas, ya sean subterráneas o superficiales, en cada uno de los emplazamientos que aseguren una ruta segura para el suministro de energía/fibra desde el transformador/empalme más próximo de la vía hasta el emplazamiento GSM-R.
- Desmonte, explanaciones, extendido de grava, cimentación y preparación del terreno para los puntos donde se ubican los emplazamientos que así lo requieran.
- Construcción y/o adecuación del vallado e instalaciones de cerramiento conjunto.

#### 2.2.2.2. Fase II Subfase II. Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: NSS

La subfase II se corresponderá con las actuaciones sobre el subsistema NSS. Estas actuaciones se detallan como sigue:

- Integración y ampliación NSS.
  - Integración MSC- PABX.
  - Integración RBC-MSC.
  - Integración sistemas telecomunicaciones en IN.
  - Ampliación de conectividad y capacidad en MSC (Datos o fax, E1, SPOTS, llamadas de grupo, etc.).
  - Actualización de bases de datos en NSS.

**3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES A REALIZAR**

**3.1. CODIFICACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS.**

Durante la redacción del presente Proyecto se ha considerado la siguiente codificación de emplazamientos.

Codificación para BTS

A	GCAN	B	XXX	Y	Z
---	------	---	-----	---	---

- **A: Alta Velocidad**
- **GCAN: Santa catalina– Meloneras**
- **B: BTS**
- **XXX:** Número de BTS
- **Y:** Dígito no utilizado (siempre cero)
- **Z:** Capa

Codificación para Repetidor

A	GCAN	R	XXX	Y	Z
---	------	---	-----	---	---

- **A: Alta Velocidad**
- **GCAN: Santa catalina– Meloneras**
- **R: Repetidor**
- **XXX:** Número de BTS al que pertenece el repetidor
- **Y:** Número de repetidor
- **Z:** Capa

**3.2. UBICACIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES.**

De acuerdo con el objeto del Proyecto y después del análisis de las distintas posibilidades técnicas susceptibles de aplicación, hay que diferenciar las actuaciones o trabajos a realizar en cada una de las fases que conforman el Proyecto.

**3.2.1. Fase I San Telmo – Playa del Inglés**

**3.2.1.1. SubFase I. Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R.**

Las obras que se proyectan corresponden a la instalación de la red de comunicaciones móviles ferroviaria GSM-R en el tramo San Telmo – Playa del Inglés de la línea de Gran Canaria.

Se presenta seguidamente un listado de BTS, perteneciendo todas a la isla de Gran Canaria, en el trazado que discurre desde el noreste al sureste de la isla.

BTS	CAPA	CÓDIGO EMPLAZAMIENTO
BTS01A	A	AGCANB0010A
BTS02B	B	AGCANB0020B
BTS02A	A	AGCANB0020A
BTS03B	B	AGCANB0030B
BTS03A	A	AGCANB0030A
BTS04B	B	AGCANB0040B

BTS05B	B	AGCANB0050B
BTS04A	A	AGCANB0040A
BTS06B	B	AGCANB0060B
BTS05A	A	AGCANB0050A
BTS07B	B	AGCANB0070B
BTS06A	A	AGCANB0060A
BTS08B	B	AGCANB0080B

FOR21B	5+900	AGCANR0021B	túnel 1
FOR15A	6+750	AGCANR0015A	túnel 1
FOR23A	8+200	AGCANR0023A	túnel 1
FOR23B	8+550	AGCANR0023B	túnel 1
FOR22A	9+700	AGCANR0022A	túnel 1
FOR24B	10+350	AGCANR0024B	túnel 1
FOR21A	11+050	AGCANR0021A	túnel 1
FOR33B	12+150	AGCANR0033B	túnel 1
FOR32B	14+000	AGCANR0032B	túnel 1

Se presenta seguidamente un listado de FOR.

FOR	PK (km)	Código Emplazamiento	Tramo Túnel
FOR22B	4+050	AGCANR0022B	túnel 1
FOR14A	4+900	AGCANR0014A	túnel 1

FOR24A	14+000	AGCANR0024A	túnel 1
FOR31B	15+750	AGCANR0031B	túnel 2
FOR25A	15+900	AGCANR0025A	túnel 2
FOR26A	17+350	AGCANR0026A	túnel 2
FOR41B	20+700	AGCANR0041B	túnel 3
FOR31A	21+850	AGCANR0031A	túnel 3
FOR32A	23+750	AGCANR0032A	túnel 3
FOR33A	25+200	AGCANR0033A	túnel 3
FOR51B	26+150	AGCANR0051B	túnel 3

FOR34A	26+700	AGCANR0034A	túnel 3
FOR35A	28+000	AGCANR0035A	túnel 3
FOR81B	46+900	AGCANR0081B	túnel 4
FOR61A	47+500	AGCANR0061A	túnel 4
FOR62A	50+180	AGCANR0062A	túnel 6
FOR82B	50+180	AGCANR0082B	túnel 6

### 3.2.2. Fase II Santa Catalina - Meloneras

#### 3.2.2.1. SubFase I. Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R.

Las obras que se proyectan corresponden a la instalación de la red de comunicaciones móviles ferroviaria GSM-R en el tramo Santa Catalina– Meloneras de la línea de Gran Canaria.

Se presenta seguidamente un listado de BTS, perteneciendo todas a la isla de Gran Canaria, en el trazado que discurre desde el noreste al sureste de la isla.

BTS	CAPA	CÓDIGO EMPLAZAMIENTO
BTS01B	B	AGCANB0010B
BTS09B	B	AGCANB0090B
BTS07A	A	AGCANB0070A

Se presenta seguidamente un listado de FOR.

FOR	PK (km)	Código Emplazamiento	Tramo Túnel
FOR13A	0+050	AGCANR0013A	túnel 1
FOR12A	0+750	AGCANR0012A	túnel 1
FOR11B	1+350	AGCANR0011B	túnel 1
FOR11A	2+500	AGCANR0011A	túnel 1

FOR12B	2+650	AGCANR0013A	túnel 1
FOR74A	51+950	AGCANR0074A	túnel 7
FOR94B	51+950	AGCANR0094B	túnel 7
FOR73A	53+400	AGCANR0073A	túnel 7
FOR93B	53+400	AGCANR0093B	túnel 7
FOR72A	54+600	AGCANR0072A	túnel 7
FOR92B	54+600	AGCANR0092B	túnel 7
FOR71A	56+150	AGCANR0071A	túnel 7
FOR91B	56+150	AGCANR0091B	túnel 7

### **3.3. DATOS BÁSICOS.**

Para la redacción del presente Proyecto, se han tomado como base los siguientes datos y documentos:

- Datos de partida sobre las instalaciones a efectuar aportados por Ferrocarriles de Gran Canaria.
- Cartografía del trazado del Proyecto.
- Especificaciones Técnicas ADIF de elementos y equipos, que han de cumplir todos los equipos y elementos a instalar.
- Normas ADIF de suministro, montaje de elementos y equipos, que han de cumplimentarse en la ejecución de las Obras e instalaciones proyectadas
- Normas de Internacionales:

Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, anteriormente CCITT).

Recomendaciones del Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR).

Proyectos de normas emitidos por el Comité Europeo de Normalización Electrónica (CENELEC).

- Normas de EIRENE/MORANE.

Una vez estudiadas las normas y datos recogidos se ha procedido a realizar las siguientes operaciones:

#### **Comunicaciones Móviles. Red GSM-R**

- Diseño del plan de cobertura radioeléctrica, mediante herramientas de simulación.
- Definición de los parámetros de red necesarios y servicios ofrecidos.

- Definición de la arquitectura de red del sistema.
- Requerimientos del plan de frecuencias y plan de numeración.
- Dimensionamiento de la red y estudios de tráfico.
- Definición de las relaciones de vecindad más apropiadas para cada una de las celdas.

#### **Comunicaciones Fijas. Red de acceso IP**

- Planificación de la red de acceso necesaria para el conexionado y transporte de datos, mediante enlaces IP, entre las estaciones base y la estación base controladora.
- Definición de la topología de Red. Requerimientos del sistema.

#### **Energía**

- Cálculo de consumos de potencia previstos. En este punto se han tenido en consideración el consumo de las estaciones base así como el consumo requerido por operadores. También se ha tenido en cuenta el consumo de MSC, TRAU y BSC.
- Identificación de los puntos de alimentación de las estaciones base a utilizar tanto en GSM-R como por los Operadores.

#### **Obra civil y equipamiento auxiliar**

- Definición e identificación de la obra civil necesaria en estaciones base (explanaciones, cimentaciones, zanjas, vallado...).
- Definición y requerimientos de las torres/ mástiles/ hastiales de estaciones base y repetidores.
- Definición de las casetas de GSM-R y Operadores para la ubicación de las estaciones base.

### **3.4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES A REALIZAR.**

El objeto de este apartado es definir todas las obras implicadas en la construcción e instalación del Sistema de Comunicaciones Móviles GSM-R en el tramo objeto del Proyecto, describiéndose los sistemas siguientes:

- Red de Acceso.
- Sistema de Comunicaciones Móviles.
- Sistema de Energía.
- Infraestructura de Obra Civil.

#### **3.4.1. Red de Acceso**

La solución de Red de Acceso, proyectada para el presente Proyecto, permite disponer de los servicios de telecomunicaciones necesarios a los emplazamientos de las Estaciones Base Transceptoras (BTS) y así asegurar los servicios de voz y datos proporcionados por el sistema GSM-R a lo largo del tramo objeto del Proyecto.

La solución de Red de Acceso, proyectada para el presente Proyecto, permite disponer de los servicios de telecomunicaciones necesarios a los emplazamientos de las Estaciones Base Transceptoras (BTS) y así asegurar los servicios de voz y datos proporcionados por el sistema GSM-R a lo largo del tramo objeto del Proyecto.

Los principales servicios proporcionados por esta Red de Acceso son los enlaces tipo IP establecidos de forma redundante entre las BTS de un mismo anillo y la Controladora de Estaciones Base (BSC) de su capa. Se instalarán las controladoras en el Edificio de Gerencia de Talleres y Cocheras y en la estación de Vecindario. La disposición de los enlaces E1 protegidos serán proporcionados desde un DDF existente en la caseta de GSM-R proporcionado por Comunicaciones Fijas. La configuración de los anillos lógicos en cada uno de los enlaces E1 será de 6 canales de 64 kbps por BTS, de esta forma por cada anillo físico serán mapeados los anillos lógicos correspondientes con la agrupación de hasta 4 BTS del sistema o red de acceso radio.

El subsistema BSS será conectado a la red de acceso por medio de un repartidor digital de flujos. Este acceso utilizará como medio de transmisión los cables de fibra óptica a planificar en proyecto paralelo y concretamente sobre el cable de 96 FO dispuesto a cada lado de la vía para cada una de las capas. Además, se requerirán servicios IP proporcionando capacidad para 5 puertos Ethernet 10/100 Base T para comunicaciones (gestión de repetidores, supervisión de armarios de energía y panel de alarmas GSM-R y disponibilidad de 2 puertos adicionales para futuras ampliaciones para supervisión de equipos de energía y panel de alarmas de Caseta Operadores) con la red de servicios de propósito general y de esta forma enrutar las distintas alarmas hacia los sistemas de supervisión correspondientes.

El transporte proporcionado por la red estará protegido, de forma que en caso de un fallo en un punto cualquiera de la red de fibra óptica, los servicios sean reencaminados con incidencia mínima sobre dichos servicios.

La topología en anillo proporcionará la redundancia de caminos independientes que se precisa por parte de la Red de Transmisión.

Los anillos físicos se conseguirán empleando fibras de los distintos cables de la infraestructura de fibra óptica que discurren a ambos lados de las vías del tramo de la línea, y cuyo tendido está previsto en el presente Proyecto.

La Red de Acceso se detalla en el anejo de Telecomunicaciones Fijas dentro del presente Proyecto.

### 3.4.2. Sistema de Comunicaciones Móviles

En el presente Proyecto, se plasma la solución de un sistema de comunicaciones para voz y datos, apto para ERTMS/ETCS nivel 2, basado en tecnología GSM-R. La red GSM-R será diseñada como una red de radiotelefonía móvil privada para uso ferroviario. Estará preparada además para ofrecer servicios de voz y datos hasta 9600 bps, aparte de las comunicaciones de ERTMS/ETCS nivel 2, con envío de mensajes cortos (SMS) entre terminales y fácilmente escalable para soportar servicios GPRS.

La red GSM-R cumplirá las últimas especificaciones técnicas y funcionales obligatorias correspondientes a las normas europeas de EIRENE/MORANE así como las elaboradas por UNISIG, instalando los equipos correspondientes a la versión vigente de la citada norma EIRENE/MORANE o cualquier otra a aplicar, en el momento en el que se vayan a poner en servicio. Del mismo modo se especificarán las funcionalidades opcionales que fueran necesarias para uso nacional. Además se soportarán el resto de servicios previstos que corresponden a una red pública celular (PLMN) basada en el estándar GSM fase 2+.

A nivel general, el sistema se integrará en un modelo funcional que distinguirá las especificaciones técnicas básicas que tendrá que cumplir:

- El estándar GSM-R, según las especificaciones de la ETSI.
- Las redes europeas, según las especificaciones de EIRENE y MORANE.
- Las redes europeas, según las especificaciones de UNISIG.
- La red nacional, según las especificaciones Nacionales.

#### 3.4.2.1. Actuaciones

De forma general se realizarán las siguientes actuaciones:

##### 3.4.2.1.1. Subfase I: Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: BSS

- Ejecución de la obra civil necesaria para la implantación del sistema: casetas, repetidores, torres de comunicaciones, etc.
- Suministro e instalación del sistema de antenas radiantes.
- Suministro, instalación y puesta en servicio del equipamiento de red GSM-R correspondiente al subsistema de estaciones base (BSS), compuesto por: estaciones base (BTS), repetidores, unidad controladora de estaciones base (BSC), unidad transcodificadora y sistemas de operación y mantenimiento radio.
- Suministro, instalación y puesta en marcha del equipamiento de casetas, incluyendo aire acondicionado, caja de alarmas, conexionado de alarmas a la BTS, etc.
- Optimización de red y medidas de comprobación de Calidad de Servicio de la red.
- Puesta en servicio del sistema privado de radiotelefonía proporcionado por la red GSM-R, incluyendo replanteo y las pruebas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.
- Sistema de gestión/supervisión de red BSS incluidos la supervisión y gestión de los equipos de alimentación, repetidores y de los paneles de alarmas.

##### 3.4.2.1.2. Subfase II: Instalaciones de Telecomunicaciones Móviles GSM-R: NSS

Estas actuaciones se basan principalmente en las actualizaciones a realizar en los sistemas NSS.

- Integración y ampliación NSS.
- Integración MSC- PABX.
- Integración RBC-MSC.
- Integración sistemas telecomunicaciones en IN.

- Ampliación de conectividad y capacidad en MSC (Datos o fax, E1, SPOTS, llamadas de grupo, etc).

#### 3.4.2.2. Arquitectura general del sistema

La solución que se adoptará ascenderá a un total de 13 estaciones base transceptoras (BTS) y 26 Repetidores (FOR) para Fase I y 3 estaciones base transceptoras (BTS) y 13 Repetidores (FOR) para Fase II que proporcionarán la cobertura radioeléctrica necesaria para el correcto funcionamiento de los servicios requeridos.

En el Edificio Gerencia de Talleres y Cocheras de Gran Canaria se realizará la instalación de la controladora de estaciones base (BSC) de la capa A con su correspondiente repartidor de flujos de alta capacidad (DDF) a la cual se conectarán, vía IP, todas las estaciones base de la capa con múltiples configuraciones en anillo. También se instalará una unidad transceptora y adaptadora de velocidad (TCU/TRAU) junto a la MSC ubicada en el mismo Edificio de Gerencia que enlazará con dicha BSC.

En la estación de Vecindario se realizará la instalación de la controladora de estaciones base (BSC) de la capa B con su correspondiente repartidor de flujos de alta capacidad (DDF) a la cual se conectarán, vía IP, todas las estaciones base de la capa con múltiples configuraciones en anillo. También se instalará una unidad transceptora y adaptadora de velocidad (TCU/TRAU).

Las estaciones base para GSM-R se ubicarán como sigue la siguiente tabla:

BTS	PK (km)	CÓDIGO EMPLAZAMIENTO	CAPA	LADO DE VÍA	LONGITUD	LATITUD	TRAMO	ACIMUT	TIPO DE ANTENA	INSTALACIÓN	ALTURA	TILT
BTS01B	0+050	AGCANB0010B	B	Derecha	-15.429215°	28.138822°	Estación Santa Catalina	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS01B	0+050	AGCANB0010B	B	Derecha	-15.429215°	28.138822°	Estación Santa Catalina	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS01A	3+750	AGCANB0010A	A	Izquierda	-15.415183°	28.109626°	Estación San Telmo	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS01A	3+750	AGCANB0010A	A	Izquierda	-15.415183°	28.109626°	Estación San Telmo	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS02B	7+150	AGCANB0020B	B	Derecha	-15.418723°	28.081253°	Estación Hospitales	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS02B	7+150	AGCANB0020B	B	Derecha	-15.418723°	28.081253°	Estación Hospitales	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS02A	12+900	AGCANB0020A	A	Izquierda	-15.413669°	28.032890°	Estación Jinámar	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS02A	12+900	AGCANB0020A	A	Izquierda	-15.413669°	28.032890°	Estación Jinámar	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS03B	17+600	AGCANB0030B	B	Derecha	-15.406469°	27.992593°	Boca fin túnel 2	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS03B	17+600	AGCANB0030B	B	Derecha	-15.406469°	27.992593°	Boca fin túnel 2	175	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS03A	20+150	AGCANB0030A	A	Izquierda	-15.395634°	27.971868°	Boca inicio túnel 3	335	Crosspolar 65	Torre	20	-2

BTS03A	20+150	AGCANB0030A	A	Izquierda	-15.395634°	27.971868°	Boca inicio túnel 3	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS04B	23+750	AGCANB0040B	B	Derecha	-15.390000°	27.940412°	Estación Aeropuerto	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS04B	23+750	AGCANB0040B	B	Derecha	-15.390000°	27.940412°	Estación Aeropuerto	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS05B	28+000	AGCANB0050B	B	Derecha	-15.400534°	27.904166°	Boca fin túnel 3	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS05B	28+000	AGCANB0050B	B	Derecha	-15.400534°	27.904166°	Boca fin túnel 3	200	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS04A	32+100	AGCANB0040A	A	Izquierda	-15.417747°	27.870492°	Estación Arinaga	30	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS04A	32+100	AGCANB0040A	A	Izquierda	-15.417747°	27.870492°	Estación Arinaga	220	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS06B	36+250	AGCANB0060B	B	Derecha	-15.438837°	27.839026°	Estación Vecindario	30	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS06B	36+250	AGCANB0060B	B	Derecha	-15.438837°	27.839026°	Estación Vecindario	230	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS05A	40+050	AGCANB0050A	A	Izquierda	-15.468083°	27.819659°	Talleres y Cocheras	65	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS05A	40+050	AGCANB0050A	A	Izquierda	-15.468083°	27.819659°	Talleres y Cocheras	240	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS07B	44+400	AGCANB0070B	B	Derecha	-15.498590°	27.791316°	Talleres y cocheras- Playa del Inglés	30	Crosspolar 65	Torre	20	-2

BTS07B	44+400	AGCANB0070B	B	Derecha	-15.498590°	27.791316°	Talleres y cocheras- Playa del Inglés	255	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS06A	48+900	AGCANB0060A	A	Izquierda	-15.539230°	27.777620°	Boca fin túnel 5	65	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS06A	48+900	AGCANB0060A	A	Izquierda	-15.539230°	27.777620°	Boca fin túnel 5	230	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS08B	48+900	AGCANB0080B	B	Derecha	-15.547941°	27.774725°	Boca fin túnel 5	65	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS08B	48+900	AGCANB0080B	B	Derecha	-15.547941°	27.774725°	Boca fin túnel 5	230	Crosspolar 65	Torre	20	-2
BTS09B	57+600	AGCANB0090B	B	Derecha	-15.598288°	27.739513°	Meloneras	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS09B	57+600	AGCANB0090B	B	Derecha	-15.598288°	27.739513°	Meloneras	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS07A	57+600	AGCANB0070A	A	Izquierda	-15.598288°	27.739513°	Meloneras	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2
BTS07A	57+600	AGCANB0070A	A	Izquierda	-15.598288°	27.739513°	Meloneras	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2

FOR	PK (km)	Código Emplazamiento	Tramo Túnel
FOR13A	0+050	AGCANR0013A	túnel 1
FOR12A	0+750	AGCANR0012A	túnel 1
FOR11B	1+350	AGCANR0011B	túnel 1
FOR11A	2+500	AGCANR0011A	túnel 1
FOR12B	2+650	AGCANR0013A	túnel 1
FOR22B	4+050	AGCANR0022B	túnel 1
FOR14A	4+900	AGCANR0014A	túnel 1
FOR21B	5+900	AGCANR0021BA	túnel 1
FOR15A	6+750	AGCANR0015A	túnel 1
FOR23A	8+200	AGCANR0023A	túnel 1
FOR23B	8+550	AGCANR0023B	túnel 1
FOR22A	9+700	AGCANR0022A	túnel 1

FOR24B	10+350	AGCANR0024B	túnel 1
FOR21A	11+050	AGCANR0021A	túnel 1
FOR33B	12+150	AGCANR0033B	túnel 1
FOR32B	14+000	AGCANR0032B	túnel 1
FOR24A	14+000	AGCANR0024A	túnel 1
FOR31B	15+750	AGCANR0031B	túnel 2
FOR25A	15+900	AGCANR0025A	túnel 2
FOR26A	17+350	AGCANR0026A	túnel 2
FOR41B	20+700	AGCANR0041B	túnel 3
FOR31A	21+850	AGCANR0031A	túnel 3
FOR32A	23+750	AGCANR0032A	túnel 3
FOR33A	25+200	AGCANR0033A	túnel 3
FOR51B	26+150	AGCANR0051B	túnel 3

FOR34A	26+700	AGCANR0034A	túnel 3
FOR35A	28+000	AGCANR0035A	túnel 3
FOR81B	46+900	AGCANR0081B	túnel 4
FOR61A	47+500	AGCANR0061A	túnel 4
FOR62A	50+180	AGCANR0062A	túnel 6
FOR82B	50+180	AGCANR0082B	túnel 6
FOR74A	51+950	AGCANR0074A	túnel 7
FOR94B	51+950	AGCANR0094B	túnel 7
FOR73A	53+400	AGCANR0073A	túnel 7
FOR93B	53+400	AGCANR0093B	túnel 7
FOR72A	54+600	AGCANR0072A	túnel 7
FOR92B	54+600	AGCANR0092B	túnel 7
FOR71A	56+150	AGCANR0071A	túnel 7

FOR91B	56+150	AGCANR0091B	túnel 7
--------	--------	-------------	---------

Estas ubicaciones han sido determinadas con cálculos radioeléctricos. Los emplazamientos podrán variar su ubicación y configuración en los replanteos definitivos en función de las características técnicas de los equipos a instalar, siempre y cuando quedara justificada dicha actuación.

### 3.4.2.2.1. Descripción de Equipos de Comunicaciones móviles

#### 3.4.2.2.1.1 Sistema Radiante

Las antenas direccionales que, por lo general, se utilizarán en el presente Proyecto deberán trabajar en la banda de frecuencias comprendida entre los 870 y 960 MHz e incluirán diversidad de polarización, a  $+45^\circ$  y a  $-45^\circ$ , en una sola estructura. Este tipo de antenas proporcionan una protección adicional, en el enlace ascendente, frente a desvanecimientos rápidos provocados por la propagación multitrayecto, efecto Rayleigh, consiguiendo una ganancia media por diversidad de entre 2 y 5 dB. Por otro lado, el otro tipo de antenas consideradas serán de polarización circular que favorece la propagación en el interior de los túneles.

Los modelos de antena son los siguientes:

- Antena de polarización cruzada con ancho de haz de  $65^\circ$  horizontal y  $10^\circ$  vertical, con una ganancia de 17 dBi y una ratio Front – Back mayor de 30 dB.
- Antena de polarización cruzada con ancho de haz de  $30^\circ$  horizontal y  $7^\circ$  vertical con una ganancia de 21 dB y una ratio Front – Back mayor de 30 dB.
- Antenas helicoidales de polarización circular con un ancho de haz de  $32^\circ$ , con una ganancia de 8 dBi.
- Antenas de polarización vertical cónica para túnel con un ancho de haz de  $51^\circ$ , con una ganancia de 12 dBi.
- Antenas de bajo impacto visual con un ancho de haz de  $65^\circ$ , con una ganancia de 9 dBi.

- Antenas de polarización vertical con un ancho de haz de  $65^\circ$ , con una ganancia de 18,5 dBi y una ratio Front – Back mayor de 25 dB.
- Antenas Yagi polarización vertical con un ancho de haz de  $52^\circ$ , con una ganancia de 12 dBi y una ratio Front – Back mayor de 20 dB.

#### 3.4.2.3. Elementos no radiantes

Dependiendo de la altura a la que se coloquen las antenas, el cable coaxial a utilizar será de diferente tipo. De esta forma, para torres de hasta 25 m en las que la longitud del cable será de aproximadamente 30 m, el cable coaxial será de 1/2", con atenuación de 6,78 dB/100 m, mientras que para torres de hasta 40 m en las que la longitud del cable será de aproximadamente 45 m, el cable coaxial será de 7/8", con atenuación de 3,81 dB/100 m. Además, en los casos que se presente, habrá que considerar aquella tirada de cable necesaria para alcanzar un túnel al que se pretenda dar cobertura desde la propia estación base, considerando, según la distancia, un cable coaxial de 1- 5/8" con atenuación de 2,33 dB/100 m. En cualquiera de los casos se instalarán los latiguillos superflexibles, conectores, kits de tierra y descargadores correspondientes.

En cuanto a los divisores de potencia utilizados, deberán trabajar en la banda de frecuencias indicada, y tener las siguientes características:

- Divisor simétrico de dos vías con relación de reparto 1/2 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.
- Divisor simétrico de tres vías con relación de reparto 1/3 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.
- Divisor asimétrico con relación de reparto 1/3 - 2/3 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.
- Divisor asimétrico con relación de reparto 1/10 - 9/10 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.

- Divisor asimétrico con relación de reparto 24/25 - 1/25 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.

#### 3.4.2.3.1.1 Estaciones Base y Repetidores

Para el despliegue de la red GSM-R se incluirá un tipo de estación base que pueda configurarse con un máximo de ocho portadoras. Éstas, por lo general, se encontrarán configuradas por defecto con un transmisor activo y con otro de reserva, en 'standby', lo que supone una configuración 1+1, excepto en aquellas estaciones base en las que el estudio de tráfico determine la utilización de más transmisores, lo que supondrá una configuración n+1.

Los combinadores deberán tener un filtro dúplex que combine en un mismo camino las señales de transmisión y de recepción para alimentar una única antena y capacidad para un máximo de cuatro portadoras.

Tras la realización del replanteo radioeléctrico final y en función de las características de los equipos finalmente instalados, se realizarán las actuaciones necesarias para reforzar dicha cobertura en caso de ser necesario. En tal caso, se deberá aportar, por parte del adjudicatario de la instalación, la justificación correspondiente.

Las estaciones base incorporarán algoritmos especiales de ecualización que permitirán mantener la comunicación a buenos niveles de calidad cuando los terminales se desplacen a alta velocidad.

Las estaciones base serán modulares dando facilidad de implantación y expansión en la red. Esta capacidad de expansión se podrá realizar a nivel de hardware como de software sin necesidad de interrumpir el funcionamiento de la estación base y sus repetidores.

#### 3.4.2.3.1.2 Controlador de estaciones base

Se procederá a la instalación de un controlador de estaciones base (BSC) por capa, los cuales darán servicio a todas las estaciones base de la Red de Ferrocarriles de Gran Canaria en su respectiva capa y en un futuro a las estaciones base a incluir de nuevos ramales, líneas o redes.

Las BSC están situadas en el Edificio de Gerencia de Talleres y cocheras y en la estación de Vecindario, junto a un repartidor DDF (Distribuidor Digital de Flujos) de alta capacidad y realizará las siguientes funciones de procesamiento de radio:

- Administración de recursos de radio.
- Administración de canales de radio.
- Administración de las conexiones locales.
- Funciones de seguridad.

La conexión entre la BSC y las BTS que controla, se realizará mediante la red de acceso y transporte realizando las configuraciones en anillo correspondientes.

#### 3.4.2.3.1.3 Unidad Transcodificadora

Se utilizarán dos unidades de transcodificación y adaptación de velocidades de transmisión (una por cada capa) las cuales darán servicio a todas las estaciones base de la Red de Ferrocarriles de Gran Canaria, y en un futuro a las estaciones base a incluir de nuevos ramales, líneas o redes. Estas unidades se ubicarán en el Edificio de Gerencia de Talleres y cocheras y en la estación de Vecindario, junto a sus respectivas MSC y se encargarán de adaptar las velocidades de transmisión entre BSC y MSC.

#### 3.4.2.3.1.4 MSC

Se procederá a la instalación de una MSC y sus equipos complementarios en el Edificio de Gerencia de Talleres y cocheras. La unión entre la Unidad Transcodificadora y la MSC y sus equipos se realizará mediante canales E1.

#### 3.4.2.3.1.5 OMC-R

Se procederá a la instalación de un servidor y un cliente OMC-R en el Edificio de Gerencia de Talleres y Cocheras, que monitorizará el funcionamiento del sistema GSM-R de toda la Red GSM-R.

#### 3.4.2.3.1.6 Consola de llamadas

Se instalarán una (1) consola o dispatchers, uno por cada Operador, que a su vez podrá gestionar una o varias Bandas de Regulación.

Todos estos puestos estarán conectados a una centralita digital con funcionalidad GSM-R, y el operador deberá ser capaz de gestionar las comunicaciones GSM-R de una forma sencilla con un único terminal en el que se pueda además visualizar el tipo de llamada entrante.

#### 3.4.2.4. Sistema de Energía

##### 3.4.2.4.1. Acometida eléctrica

Los equipos de suministro de energía proyectados se encargan de alimentar los equipos de Telecomunicación con la energía eléctrica requerida para su correcto funcionamiento dentro del tipo, tolerancia y permisividad a interrupciones que se necesite en cada caso. Estos equipos también se encargan de la protección frente a elevaciones bruscas de tensión y perturbaciones que puedan proceder de la acometida de red pública o grupo electrógeno de emergencia.

De forma general los emplazamientos, tanto de estaciones base GSM-R como Operadores se alimentarán mediante acometida simple, a 230 V<sub>AC</sub>, mediante la instalación de transformadores

reductores alimentados desde segregaciones de las líneas de 20 KV<sub>AC</sub>. Estas acometidas se realizarán utilizando la canalización, arquetas y canaleta próximas al emplazamiento, y cruce de vía en el caso que sea necesario.

La previsión de potencia consumida por cada emplazamiento se ha realizado respecto al máximo consumo que podría darse con la configuración de equipamiento proyectado, de modo que los emplazamientos asuman la configuración más crítica en cuanto a consumo se refiere. De esta manera, se calcula que para el caso peor:

- El consumo de un emplazamiento GSM-R no será superior a 12 kW para la línea de 20 KV.
- El consumo de un emplazamiento Compartido de Operadores, no será superior a 12 kW para la línea de 20 KV.

El consumo considerado para los repetidores de GSM-R es de 160 W, mientras que para los repetidores de Operadores es de 500 W.

Por tanto, para el suministro de energía se realizará una segregación del cable de 20 KV<sub>AC</sub>, concretamente desde el centro de transformación más próximo.

Por otro lado, la alimentación de los repetidores de GSM - R se realizará desde la caseta de GSM-R. La alimentación de los repetidores de Operadores se realizará desde el cuadro eléctrico de alimentación segura procedente de la línea de 20 KV<sub>AC</sub> de la caseta de Operadores o caseta de túnel más próxima y situada de manera general en boca de túnel.

La sección correspondiente a la línea de suministro en 230 V<sub>AC</sub>, desde el centro de transformación de reducción hasta la estación base o repetidor, se adoptará teniendo en cuenta no sobrepasar por un lado un 5% de caída de tensión, y por el otro la intensidad máxima reglamentaria.

##### 3.4.2.4.2. Protección y distribución

En el interior de la caseta de cada emplazamiento de estación base GSM-R, se instalará un bastidor general de alimentación, que incluirá los siguientes módulos:

- Módulo de protección de sobretensiones.
- Módulo de distribución de 230 VAC.
- Módulo de distribución –48 VDC.
- Módulo de control del sistema de –48 VDC y sistema de rectificadores-cargadores.
- Módulo de protección de baterías.
- 2 Strings de Baterías tipo AGM de 92 Ah cada uno.

#### 3.4.2.4.3. Sistema de rectificadores/baterías

El equipo de alimentación de corriente continua para estaciones base en sistemas de telecomunicaciones se basa en un único bastidor, siendo capaz de suministrar una potencia máxima de 3,5 kW ampliable a 7 kW a -48 V<sub>DC</sub> para el equipo instalado en la caseta GSM-R. El sistema se compone básicamente de los siguientes elementos:

- Armario.
- Rectificadores.
- Sistema de distribución de corriente continua.
- Sistema de control.

En ausencia de tensión alterna de entrada, ausencia de Red, las baterías son las encargadas de proporcionar la alimentación en corriente continua a las cargas alimentadas en – 48 V<sub>DC</sub>, equipos de telecomunicación.

En la caseta de GSM-R se instalarán dos strings de baterías AGM de 92 Ah cada uno, instaladas en el armario de energía.

Se implementará un sistema de supervisión de los equipos de energía instalados en todos los emplazamientos vía IP, que comprenderá la integración del nuevo equipamiento instalado en las casetas en el servidor existente o, a criterio de la Dirección de Obra, la instalación de uno nuevo en redundancia con aquel. Además se instalará un (1) cliente de este sistema de supervisión, en el Edificio de Gerencia de Talleres y cocheras.

#### 3.4.2.4.4. Puesta a tierra de Emplazamientos

Debido a que en las inmediaciones de los emplazamientos existen zonas de alta tensión (catenaria) y que las torres de los emplazamientos pueden actuar como captadores del impacto de rayos, con el objeto de obtener un buen valor de tierras, todos los emplazamientos dispondrán de un sistema de tierras compuesto, en el caso general, por un anillo de tierras de la torre y un anillo de tierras para la caseta GSM-R.

Los sistemas de tierra de los emplazamientos comprenderán los siguientes elementos:

- Electrodo: estará constituido por cuatro tomas de profundidad de 3.000 mm por anillo.
- Anillos de tierra: conforman los anillos perimetrales de tierra de mástil y caseta GSM-R y estarán realizados en cable de cobre de 50 mm<sup>2</sup> de sección.
- Arqueta registrable de tierra: consta de una arqueta exterior de tierra donde se encuentra una toma de profundidad y una barra equipotencial que garantice un punto de conexión con la puesta a tierra.
- Líneas principales de tierra: es la línea formada por los conductores que partirán de la arqueta registrable y a las cuales se conectarán las derivaciones necesarias para la puesta a tierra de las masas generalmente a través de los conductores de protección. Se utilizará conductor de cobre desnudo de 50 mm<sup>2</sup> de sección.
- Derivaciones de tierra: conductores que unirán la línea principal de tierra con las masas de cada uno de los elementos a través de barras equipotenciales.

- Barras equipotenciales: pletina que servirá de punto de unión entre los anillos de tierra, líneas principales de tierra y derivaciones de tierra.

En todos los casos el valor máximo exigible de tierra será de 10  $\Omega$ , según la Norma de instalación de toma de tierra NAT 102.

Se estudiará en obra la posibilidad de mimetizar los cables de cobre utilizados (pintándolos de color aluminio) para los latiguillos que sobresalgan a la superficie. También se estudiará la posibilidad de cambiar todos o parte de los cables de cobre utilizados por cables de aluminio con transiciones bimetálicas (si procediera). Todo ello con objeto de minimizar los riesgos de robo de cobre durante el desarrollo de la obra y el posterior mantenimiento.

#### 3.4.2.5. Infraestructuras de Obra Civil

##### 3.4.2.5.1. **Emplazamientos**

En función del tipo de instalación a realizar se distinguen para este proyecto los siguientes tipos de emplazamientos:

###### 1) Estación base interior en caseta prefabricada.

Este tipo de emplazamiento requiere la instalación de una caseta prefabricada de hormigón con aire acondicionado y demás elementos auxiliares en la que se integrará todo el equipamiento necesario (BTS, equipo de transmisión de Comunicaciones Fijas, bastidor AC, bastidor DC, etc.) y una torre de celosía autosoportada para alturas no inferiores a 20 metros, o mástiles tubulares para alturas inferiores a 20 metros. Los emplazamientos de este tipo contarán con vallado perimetral, zócalo o bordillo cuando proceda, puerta de acceso de malla galvanizada y extendido de grava en la superficie ocupada, formándose así un emplazamiento tipo de estación base, que se ejecutará en cada uno de los puntos indicados en el apartado de cobertura radioeléctrica.

###### 2) Estación base interior en cuarto de comunicaciones.

Este tipo de emplazamiento requiere una reserva de espacio en cuarto de comunicaciones existente. El cuarto deberá estar dotado de aire acondicionado, acometidas eléctricas seguras y canalizaciones o rejiband por techo o suelo técnico.

En cualquier caso, todas estas instalaciones se ubicarán dentro de los terrenos de Ferrocarriles de Gran Canaria, guardando los márgenes de seguridad exigibles a la línea ferroviaria.

Para la preparación de los emplazamientos se realizará, de forma general, los siguientes trabajos:

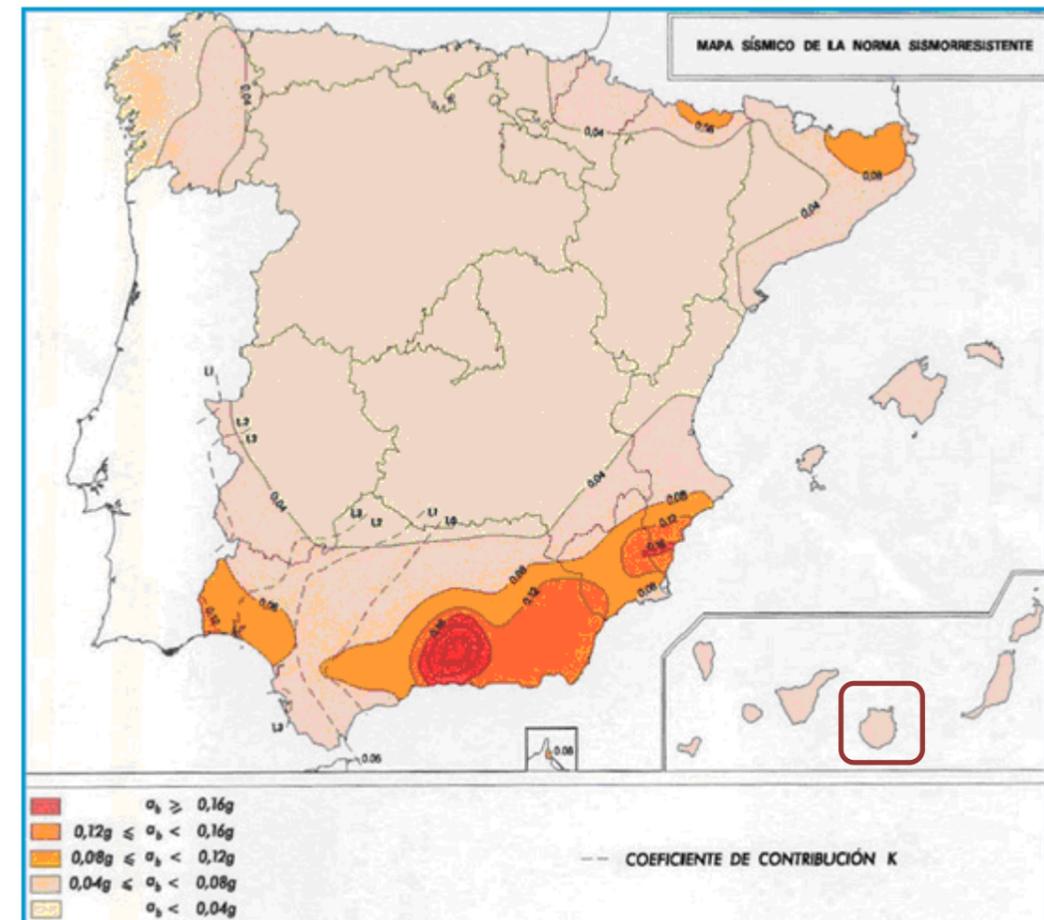
- Replanteo preliminar del emplazamiento
- Estudio geotécnico
- Cálculo de cimentación, visado por el colegio de ingenieros que proceda
- Anteproyecto constructivo del emplazamiento
- Desbroce y limpieza del terreno.
- Explanación de la superficie donde se ubicará el emplazamiento (casetas, torre o mástil y vallado).
- Cimentación de torre o mástil.
- Cimentación del lugar de ubicación de las casetas GSM-R y Operadores.
- Realización de las canalizaciones, zanjas y arquetas necesarias; en este sentido se unirá cada emplazamiento con la arqueta de derivación a pie de vía mediante tubos de polietileno de alta densidad en canalización hormigonada o aérea, por donde se conducirán los cables de fibra óptica y energía.

A continuación se adjunta listado de emplazamientos en los cuales hay que realizar un estudio geotécnico.

BTS	Código Emplazamiento	Torre/hastial	Altura
BTS03B	AGCANB0030B	Torre	20
BTS03A	AGCANB0030A	Torre	20
BTS05B	AGCANB0050B	Torre	20
BTS04A	AGCANB0040A	Torre	20
BTS06B	AGCANB0060B	Torre	20
BTS05A	AGCANB0050A	Torre	20
BTS07B	AGCANB0070B	Torre	20
BTS06A	AGCANB0060A	Torre	20
BTS08B	AGCANB0080B	Torre	20

### 3.4.2.5.2. Sismicidad del Terreno

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica de la figura adjunta, incluido en el apartado 2.1 de la Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02). Dicho mapa suministra, expresada en relación al valor de la gravedad, g, la aceleración sísmica básica,  $a_b$  -un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno- y el coeficiente de contribución K, que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.



En el mapa se ha incluido la zona de actuación mediante un círculo rojo. La zona objeto de este proyecto el valor  $a_b$  se encuentra por debajo de 0,04g.

### 3.4.2.5.3. Caseta prefabricada GSM-R

Se instalará una caseta situada al lado de la torre o mástil para todos los emplazamientos de acuerdo a lo especificado en el capítulo de Cobertura Radioeléctrica, la cual contendrá, entre otros, los equipos de radio y transmisión. Las casetas constituyen la primera barrera física de protección del equipamiento, proporcionando las condiciones de entorno necesarias para el correcto funcionamiento de los equipos instalados.

Las casetas serán edificios prefabricados de hormigón armado de una planta que por su robustez y protección presentan mayores garantías que las que pudieran presentar otro tipo de materiales como chapa o fibra de vidrio. Además reunirán las condiciones de impermeabilidad, aislamiento térmico, aislamiento acústico y amortiguación de vibraciones producidas por el paso del tren, recogidas en los siguientes puntos del presente documento, e incluirá arqueta de entrada de cables correspondiente.

Estarán previstas para soportar:

- Sobrecarga en cubierta: 350 kg/m<sup>2</sup> (150 kg/m<sup>2</sup> de uso y 200 kg/m<sup>2</sup> de nieve).
- Sobrecarga en solera: de uso 3.200 kg/m<sup>2</sup>.
- Flecha máxima admisible 1/250 de la luz.
- Acción del viento: Es la correspondiente a una velocidad de 144 km/h que produce una presión dinámica de 125 kg/m<sup>2</sup>.
- Acción de seísmos: La estructura de la caseta estará proyectada para resistir seísmos según NCSE-02.

Estas casetas vendrán equipadas con aire acondicionado, cuadro de alterna con protección contra rayos y sobretensiones, armario AC y DC, caja de alarmas y demás elementos auxiliares necesarios para la instalación y correcta operatividad de los equipos de comunicaciones, como son iluminación interior y exterior, red de tierras, bandejas tipo Rejiband, detectores de incendio e intrusión, pasamuros, linterna, perfil omega para sujeción de equipos, etc.

El Contratista deberá verificar que, toda construcción a realizar, cumple el Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02). Con el dato de partida de la aceleración básica en el trayecto de ubicación de las obras, ésta puede llegar a alcanzar 0,09 g.

### 3.4.2.5.4. Caseta prefabricada de Operadores (emplazamiento estándar)

Para cada emplazamiento de Operadores se instalará una caseta situada al lado de la torre que contendrá, entre otros, aire acondicionado, cuadro de alterna con protección contra rayos y sobretensiones, armario AC/DC, caja de alarmas y demás elementos auxiliares necesarios para la instalación y correcta operatividad de los equipos de comunicaciones, como son iluminación interior y exterior, red de tierras, bandejas tipo Rejiband, detectores de incendio e intrusión, pasamuros, linterna, perfiles omega para sujeción de equipos, etc.

Las casetas constituyen la primera barrera física de protección del equipamiento, proporcionando las condiciones de entorno necesarias para el correcto funcionamiento de los equipos instalados.

Las casetas serán edificios prefabricados de hormigón armado de una planta, que por su robustez y protección presentan mayores garantías que las que pudieran presentar otro tipo de materiales como chapa o fibra de vidrio. Además reunirán las condiciones de impermeabilidad, aislamiento térmico, aislamiento acústico y amortiguación de vibraciones producidas por el paso del tren.

Estarán previstas para soportar:

- Sobrecarga en cubierta: 350 kg/m<sup>2</sup> (150 kg/m<sup>2</sup> de uso y 200 kg/m<sup>2</sup> de nieve).
- Sobrecarga en solera: de uso 2.500 kg/m<sup>2</sup>.
- Flecha máxima admisible 1/250 de la luz.
- Acción del viento: correspondiente a una velocidad de 170 km/h que produce una presión dinámica de 140 kg/m<sup>2</sup>.
- Acción de seísmos: La estructura de la caseta estará proyectada para resistir seísmos según NCSE-02.

#### 3.4.2.5.4.1 Repetidor

Se instalarán repetidores base en los emplazamientos que así vengan especificados en el anejo de Cobertura Radioeléctrica. Las características de dicho equipo se encuentran definidas en el Pliego.

El equipamiento que se instalará en hastial será el siguiente:

- Equipo repetidor con todos sus elementos.
- Caja de derivación para distribución de energía.
- Toma de tierras.
- Caja con repartidor de fibra óptica.
- Sistema radiante.
- Equipamiento auxiliar.

#### 3.4.2.5.5. Torres de telecomunicaciones

En los emplazamientos que así lo requieran se instalarán torres de comunicaciones de celosía de 20/25/30. Las torres incluirán, de forma general, los siguientes elementos:

- Balizamiento nocturno únicamente cuando sea requerido.
- Pararrayos con punto del tipo Franklin.
- Plataformas de descanso y trabajo en los diferentes niveles de antenas
- Sistema de seguridad.

- Líneas principales de tierra (con los descargadores correspondientes).

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

El Contratista deberá verificar que, toda construcción a realizar, cumple el Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02). Con el dato de partida de la aceleración básica en el trayecto de ubicación de las obras, ésta puede llegar a alcanzar 0,09g.

#### 3.4.3. Equipamiento de Red de Conmutación GSM-R (NSS).

Se instalará un subsistema NSS completo en el Edificio de Gerencia de Talleres y cocheras. Dicho subsistema estará formado entre otros por los siguientes equipos:

- MSC
- HLR
- VLR
- AuC
- IN
- EIR

Para la correcta ejecución del Proyecto, se ha previsto una serie de actuaciones en el Subsistema NSS a nivel HW y SW por las cuales se dota de nuevas capacidades y prestaciones al subsistema.

- Integración MSC-PABX.
- Integración RBC-MSC.
- Integración sistemas telecomunicaciones en IN.
- Ampliación conectividad con BSS.
- Ampliación conectividad 1 E1 otros sistemas.
- Ampliación conectividad datos o fax.

- Aumento capacidad MSC llamadas grupo.
- Actualización de base de datos de MSC e IN.

#### **4. COBERTURA RADIOELÉCTRICA**

En este apartado se describe la planificación de la red radio en los tramos objeto del presente Proyecto.

El diseño incluye dos redes radio independientes que cumplirán el concepto requerido de redundancia, obteniendo de esta forma un número determinado de estaciones base por capa.

Para determinar el diseño final de ambas redes radio se describen las reglas y fundamentos de diseño que se han tenido presentes, prestando especial atención a las características propias de una red GSM-R ya que parte de las estaciones móviles son trenes que pueden alcanzar velocidades de hasta 160 km/h.

Por último, se incluyen las diferentes configuraciones de las estaciones base, según el tipo de emplazamiento, el objetivo de cobertura, etcétera, y se analizará en detalle los enlaces ascendente y descendente.

##### **4.1. CONSIDERACIONES GENERALES**

###### **4.1.1. Requerimientos EIRENE**

Para hacer compatible la red GSM - R con el estándar europeo EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) proyectado por la UIC (International Union of Railways), se deberán cumplir una serie de requisitos. Los más relevantes para un estudio de cobertura radioeléctrica son los que se detallan a continuación:

- Valor exigido del nivel de cobertura:
  - Nivel de cobertura de -98 dBm con una probabilidad de 95% para voz y datos no críticos.
  - Nivel de cobertura de -95 dBm con una probabilidad de 95% en líneas con ETCS de nivel 2/3 y para velocidades inferiores o iguales a 220 km/h.

- Valor recomendado del nivel de cobertura:
  - 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  $-95$  dBm y  $-92$  dBm con una probabilidad de 95% en líneas con ETCS de nivel 2/3 y para velocidades superiores a 220 km/h e inferiores a 280 km/h.
- Se recomienda que el requerimiento de cobertura se cumpla al menos en el 95% del tiempo sobre el 95% del área de cobertura.
- El nivel de cobertura se define como la potencia medida en el puerto de una antena isotrópica de ganancia 0 dBi situada a 4 m por encima de la vía.
- Probabilidad de pérdida de llamada al realizar el proceso de handover inferior al 0,05 %.
- Tiempo máximo de corte temporal de la comunicación de 300 ms.
- Terminal de Cabina (Cab Radio) para uso del conductor u otro tipo de personal, con potencia máxima de transmisión de 8 W.
- Terminal de Operaciones (Operational Radio) para uso de personal de vía durante operaciones de mantenimiento, con potencia máxima de transmisión de 2 W.
- Terminal de Propósito General (General Purpose Radio) para uso de personal de vía, con potencia máxima de transmisión de 2 W.

De acuerdo con EIRENE [“Functional Requirements Specification”, version 7.3.0, ref. MDA029D009], debe asegurarse la cobertura durante el 95% del tiempo en el 95% del área objetivo. Por otra parte, la norma indica también que con una probabilidad del 95% el nivel recibido debe superar el valor umbral en cualquier intervalo de localización de longitud 100 m. Estos requisitos se traducen en la necesidad de incluir un margen por desvanecimiento en la planificación, calculado de forma que se cumplan los objetivos de cobertura en espacio y tiempo.

La banda de frecuencias para GSM - R es, de acuerdo con la UIC, 876 - 880 MHz para el enlace ascendente y 921 - 925 MHz para el descendente. Dado que la cobertura se define para el enlace descendente, para los cálculos de atenuación se utiliza la frecuencia central de la banda superior, es decir, 923 MHz. En cualquier caso, las estimaciones de cobertura son aplicables, con error despreciable, a toda la banda en la que el móvil GSM - R debe ser capaz de trabajar de acuerdo con EIRENE, esto es, 876 – 915 MHz para el enlace ascendente y 921 - 960 MHz para el descendente.

#### **4.1.2. Requerimientos aplicables al Plan de Cobertura**

Los terminales portátiles tienen antenas de ganancia 0 dB, y, por lo tanto, se supondrá una ganancia nula en todos los terminales. Los terminales que se considerarán para el estudio serán capaces de proporcionar como mínimo 8 W de potencia de emisión y tendrán una sensibilidad en recepción menor o igual a  $-104$  dBm. Como se puede comprobar, esta sensibilidad se encuentra incluso por debajo del umbral de potencia definido por EIRENE.

El concepto de cobertura de capa y media es el que determinará la ubicación de los emplazamientos de acuerdo a dicha arquitectura de red. De esta forma, y como aspecto fundamental para afrontar la planificación radio considerando el concepto de cobertura de capa y media, se ha estimado oportuna la necesidad de escalonar los emplazamientos.

La planificación radio se llevará a cabo para el terminal de cabina cuya antena isotrópica de ganancia 0 dBi se considera ubicada a 4 m de altura sobre la vía, instalada sobre la estructura del tren.

En la planificación radioeléctrica se tiene en cuenta la necesidad de una zona de solapamiento entre celdas suficiente para llevar a cabo el traspaso de llamada. El tiempo total para realizar un handover, incluyendo el periodo en el que el móvil se encuentra realizando y promediando medidas, es inferior a 6 s, dependiendo de las circunstancias particulares de cada handover. Por lo tanto, considerando este tiempo para realizar un handover, supone que para velocidades máximas de 160 km/h la zona de solapamiento será de 300 m aproximadamente. De esta forma, se determinará la configuración del sistema radiante con sectores combinados por medio de un

divisor de potencia que se conectarán a los mismos transceptores dentro de la estación base, para de esta forma minimizar el número de handovers a realizar a lo largo del trayecto.

El área de cobertura radioeléctrica comprenderá, además del trazado de la línea, un área de 300 m alrededor de instalaciones fijas, como apartaderos y puestos de banalización, edificios técnicos, bases de mantenimiento, caminos de servicio, etc.

## **4.2. METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE PLANIFICACIÓN**

### ***4.2.1. Metodología de planificación***

La metodología seguida en la planificación de este tramo ha consistido principalmente en la utilización de la herramienta de planificación interna. Concretamente se han seguido los siguientes pasos:

- Localización de posibles emplazamientos o en su defecto de posibles áreas para la ubicación de un emplazamiento GSM - R.
- Comprobación de la exactitud de los mapas digitales del terreno disponibles en la herramienta de planificación.
- Introducción de los emplazamientos en la herramienta de planificación.
- Ajuste de los parámetros necesarios para realizar las simulaciones, tales como PIRE, tipo de antena, azimut, altura, etc.
- Realización de simulaciones con la herramienta de planificación.
- Análisis de los resultados obtenidos y ajuste de los parámetros.

#### **4.2.1.1. Chequeo de la línea de vista**

Según los métodos de planificación considerados, cuando se alcanza línea de vista con la antena se consiguen los niveles de potencia requeridos, siempre y cuando estemos dentro del radio máximo de celda.

Para completar la planificación realizada en algunos emplazamientos puede interesar revisar la línea de vista para comprobar que no existen accidentes geográficos ni nuevas construcciones que no vengán reflejadas en los mapas digitales, los cuales podrían dar lugar a zonas de sombra en la cobertura.

#### **4.2.1.2. Realización de medidas de cobertura radioeléctrica**

Consiste en realizar pruebas de cobertura radioeléctrica en puntos singulares del trazado que pueden ser considerados de difícil cobertura para comprobar los resultados de la planificación inicial. 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, con la antena transmisora ubicada a la altura considerada en la planificación inicial por medio de una grúa elevadora.

Los casos que se pueden considerar de difícil cobertura pueden ser aquellos en los que exista una zona de trincheras o una zona en la que exista algún tipo de obstáculo, además de túneles en los que se puede encontrar un cambio en la sección de los mismos o la existencia de un falso túnel.

Con ello se pretende comprobar la planificación inicial con mediciones de campo reales en los emplazamientos previstos, tanto estaciones base como repetidores, con el objeto de verificar si alguno de los emplazamientos o sectores no es necesario, o si por el contrario se necesita algún emplazamiento o sector adicional en algún punto concreto.

#### 4.2.1.3. Medidas de espectro

Estas medidas están destinadas a verificar que a lo largo de la traza no existe ocupación de canales radio reservados a la banda GSM - R.

#### 4.2.2. **Criterios de planificación**

Aunque existen modelos teóricos que permiten evaluar las pérdidas de propagación, en la práctica su caracterización exacta se ve dificultada por la insuficiencia de los datos relativos a las características morfológicas y electromagnéticas del terreno y a la complejidad que presentan algunos de los modelos teóricos. Aunque los avances de la informática permiten la aplicación de modelos cada vez más complejos, las limitaciones en cuanto a la caracterización del terreno son inevitables. La cartografía digital se basa en un muestreo en el que inevitablemente se pierden detalles. Por otra parte, la información de clutter es necesariamente reducida y de baja resolución. La utilización de mapas de alta resolución sólo resulta práctica en superficies poco extensas, como pueden ser las ciudades.

Por todo ello se recurre en la práctica a modelos de propagación que permitan una evaluación aproximada, con suficiente grado de fiabilidad, a partir de los datos disponibles. Esta evaluación incluye una componente estadística que absorbe tanto la propia variabilidad del fenómeno natural como la limitación de los datos utilizados. Estos modelos pueden basarse en medidas realizadas, modelos empíricos, o en modelos teóricos con ajustes posteriores en función de resultados experimentales, modelos semi - empíricos.

En este Proyecto se ha optado por utilizar el método de Okumura - Hata, específicamente destinado a aplicaciones de comunicaciones móviles, y que ha sido comprobado en gran número de redes y de aplicaciones. Al tratarse de un modelo empírico, basado en medidas, ya incluye en sus predicciones las pérdidas típicas que se producen por pequeñas ondulaciones del terreno. Por este motivo no precisa de información detallada del perfil sino que utiliza valores promedios de altura del terreno y de alturas de las estaciones base sobre el mismo.

Este modelo proporciona predicciones de la pérdida de propagación para diferentes tipos de entorno, rural, suburbano o urbano, y en función de las condiciones del enlace, como son frecuencia, alturas de las antenas, etc.

La principal ventaja de este método es que proporciona una estimación realista de la cobertura, al incluir factores que no pueden incluirse fácilmente en los modelos de espacio libre y difracción.

Su principal inconveniente se deriva del escaso uso que hace de los datos del perfil, pues se limita a calcular alturas medias que, en el caso de perfiles accidentados, pueden ser insuficientes. El principal riesgo está en que, en ocasiones, puede perderse la información de zonas de sombra del transmisor, debidas a accidentes del terreno que producen unas pérdidas de difracción importantes que no se consideran en el método de Okumura - Hata. En este sentido, estas zonas de sombra pasarían inadvertidas, cuando en la práctica pueden tener una relevancia considerable.

Para detectar estas zonas de sombra se recurre a la recomendación 526 del UIT - R, que precisamente funciona bien cuando existen obstáculos bien definidos en el trayecto. La utilización de esta recomendación se hace solo a título de inspección adicional a los estudios basados en el modelo de Okumura - Hata, y con la idea de adquirir información suplementaria. En la mayor parte de los casos, esta información tan solo ha servido para confirmar que las posiciones de las estaciones están bien elegidas. En casos puntuales ha servido para ratificar la necesidad de utilización de un cierto emplazamiento para cubrir una zona que quedaba en sombra desde los adyacentes.

Los emplazamientos podrán sufrir alguna variación en los equipos instalados y/o ubicación de los mismos en los replanteos definitivos en función de las características técnicas de los equipos a instalar, siempre y cuando quede justificada dicha actuación.

### 4.3. DISEÑO DE CELDAS

#### 4.3.1. **Concepto de celda compuesta**

En las instalaciones de las estaciones base que se construirán en los tramos objeto del presente Proyecto se utilizará, de forma general, la celda compuesta. De esta forma, se colocarán las antenas direccionales necesarias para cada estación base, estando cada una de ellas orientada en cada dirección de la vía. Estas antenas se combinan por medio de un divisor de potencia, simétrico o asimétrico, y se conectan a los mismos transceptores dentro de la estación base. De esta forma se reduce el número de handovers a lo largo de la línea. Estos divisores de potencia serán los adecuados en cada caso, siendo el divisor de potencia simétrico de dos vías el que se utilice en la mayoría de las instalaciones.

Por lo general, la cobertura queda garantizada con dos sectores empleados para iluminar la vía. Para ello, se utilizarán principalmente dos tipos de antenas de polarización cruzada, una de ancho de haz horizontal de 65° y 17 dB de ganancia, que será la generalmente utilizada, y otra de 30° y 21 dB, para aquellos casos en el que el trazado sea especialmente rectilíneo y pueda ser aconsejable su mayor ganancia. En algunos casos se puede considerar la necesidad de utilizar un sector adicional, como es el caso de bifurcaciones, o sectores dirigidos a la boca de túneles donde se utilizaría otro tipo de antena de ancho de haz horizontal de 28° y 15 dB de ganancia o cable radiante. En casos excepcionales, como puede ser el caso de las estaciones comerciales, se puede considerar el uso de antenas de bajo impacto visual, de 65° de haz horizontal y 12 dBi de ganancia.

#### 4.3.2. **Handover**

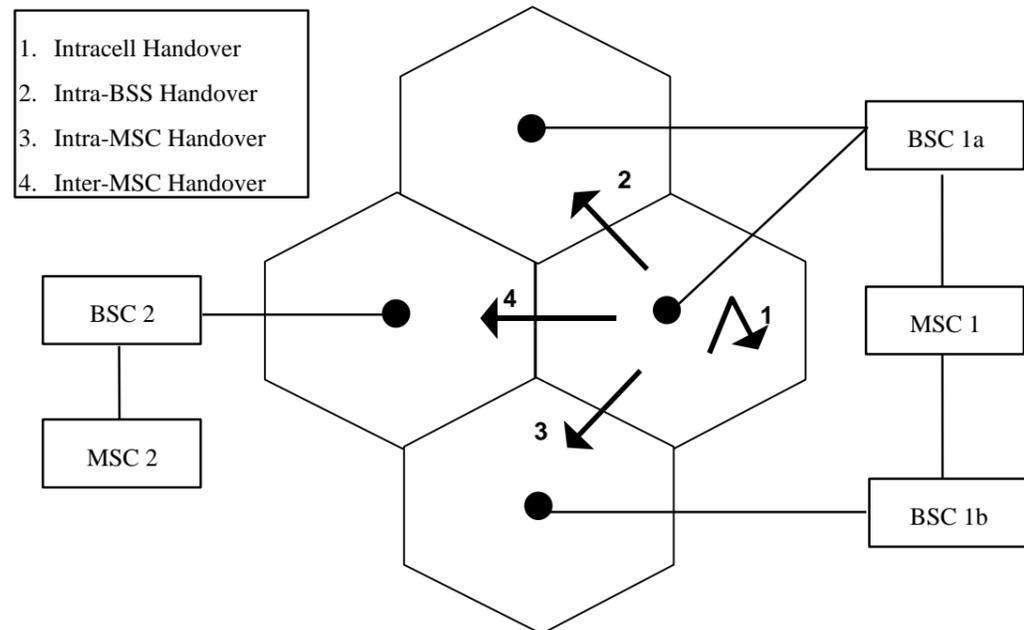
El handover es el proceso mediante el cual una llamada se transfiere desde una celda hasta otra. Gracias a este proceso, es posible transitar por diferentes celdas sin interrupción de la llamada y de forma completamente automática.

##### 4.3.2.1. Tipos de handover

Un handover es el traspaso de una llamada de una celda a otra. Según las causas que pueden provocar el inicio de un handover, estos se podrían clasificar en:

- Obligatorio:
  - Calidad: la calidad del enlace es demasiado baja, es decir el BER es demasiado alto.
  - Nivel de señal: la potencia recibida es demasiado baja.
  - Distancia: la distancia entre la estación base y el móvil es demasiado alta.
  - Celdas extendidas / celdas concéntricas: se superan los límites establecidos.
  
- Opcional:
  - Mejor servidora: le recibe mejor señal de otra celda distinta a la servidora.
  - Tráfico: se superan los niveles de carga establecidos.

En la siguiente figura se representan, de forma gráfica, todos los posibles handovers según los elementos de la red entre los que se produzca el traspaso:



- Intracell Handover, tiene lugar entre canales de la misma estación base.
- Intra BSS Handover, tiene lugar entre, estaciones base, conectadas a la misma controladora de estaciones base.
- Inter BSC Handover, tiene lugar entre, estaciones base, conectadas a diferentes controladoras de estaciones base.
- Inter MSC Handover, tiene lugar entre, estaciones base, conectadas a diferentes centrales de conmutación.

#### 4.3.2.2. Solapamiento de la cobertura

Gracias a los handovers es posible mantener una llamada en curso, por lo que es muy importante una correcta definición de las celdas vecinas. La lista de celdas vecinas consiste en una lista particular para cada estación base, en la que se definen las posibles celdas con las que la primera puede realizar handover, siendo estas celdas vecinas las inmediatamente próximas de ambas capas, las que forman parte de estas listas.

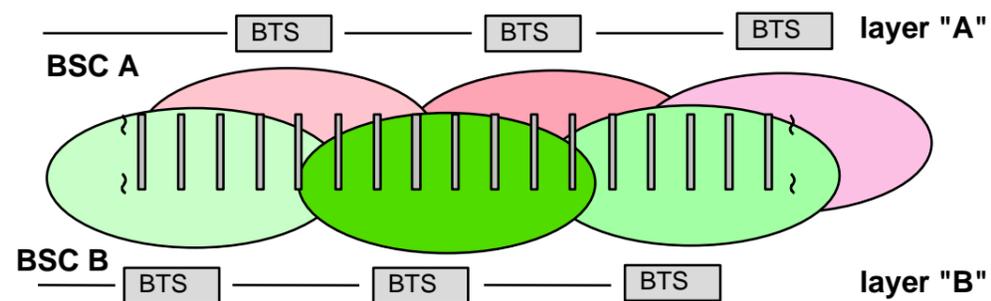
Debe tenerse en cuenta el periodo de medición del móvil para realizar el handover, que dependerá de la longitud de la correspondiente ventana de promediado de medidas, una medida cada 480 ms, el tiempo necesario para dicho promediado, el tiempo de ejecución del handover y un margen adicional de seguridad. El tiempo total para realizar un handover, incluyendo el periodo en el que el móvil está realizando y promediando medidas, es inferior a 6 s, dependiendo de las circunstancias particulares de cada handover. Además, este margen de 6 s permite que exista un margen suficiente para que el sistema realice un handover a una celda de la capa contraria en el caso de que falle el handover dentro de la misma capa. En condiciones normales, el tiempo de ejecución es inferior a medio segundo, ya que la celda servidora no solo habrá monitorizado la vecina fallida, sino el resto de vecinas de ambas capas.

Por lo tanto, se requiere un tamaño suficiente del área de solapamiento entre celdas vecinas para garantizar una ejecución segura del handover en condiciones de alta velocidad del móvil. Los niveles de ambas celdas vecinas dentro del área de solapamiento serán superiores a los niveles mínimos requeridos en una antena ideal sin pérdida. En el apartado de requerimientos aplicables al Plan de Cobertura queda establecida la zona de solapamiento mínima entre celdas para asegurar el mantenimiento de una llamada.

#### 4.3.3. **Concepto de redundancia**

Siguiendo el criterio de redundancia se ha diseñado una red GSM - R tratando de minimizar al máximo el número de puntos singulares de fallo. De esta forma, se trata de garantizar la fiabilidad del sistema gracias a dos capas de red cuyo único elemento común en el subsistema NSS, que incluye, además, dos sistemas redundantes e independientes para la red fija.

El concepto de cobertura de capa y media es el que determinará la ubicación de los emplazamientos de acuerdo a dicha arquitectura de red. Así, es necesario escalonar los emplazamientos de ambas capas de tal forma que un emplazamiento perteneciente a la Capa A se encuentre situado entre dos emplazamientos pertenecientes a la Capa B, y viceversa. Esta alternancia de emplazamientos queda supeditada a la orografía del terreno y a las instalaciones existentes, que también pueden impedir la alternancia del lado de vía en el que deberían construirse emplazamientos adyacentes.



Ambas capas se deben diseñar para proporcionar cobertura a la zona definida en el apartado de requerimientos aplicables al Plan de Cobertura. Como se puede comprobar en la figura anterior, cada capa tiene que cumplir independientemente con todos los requerimientos establecidos para el buen funcionamiento del sistema, tanto de nivel de señal como de calidad. En el caso de fallo de uno de los elementos de una de las capas, la otra capa tiene que asegurar el rendimiento tal y como está establecido.

4.3.3.1. Transceptor de reserva

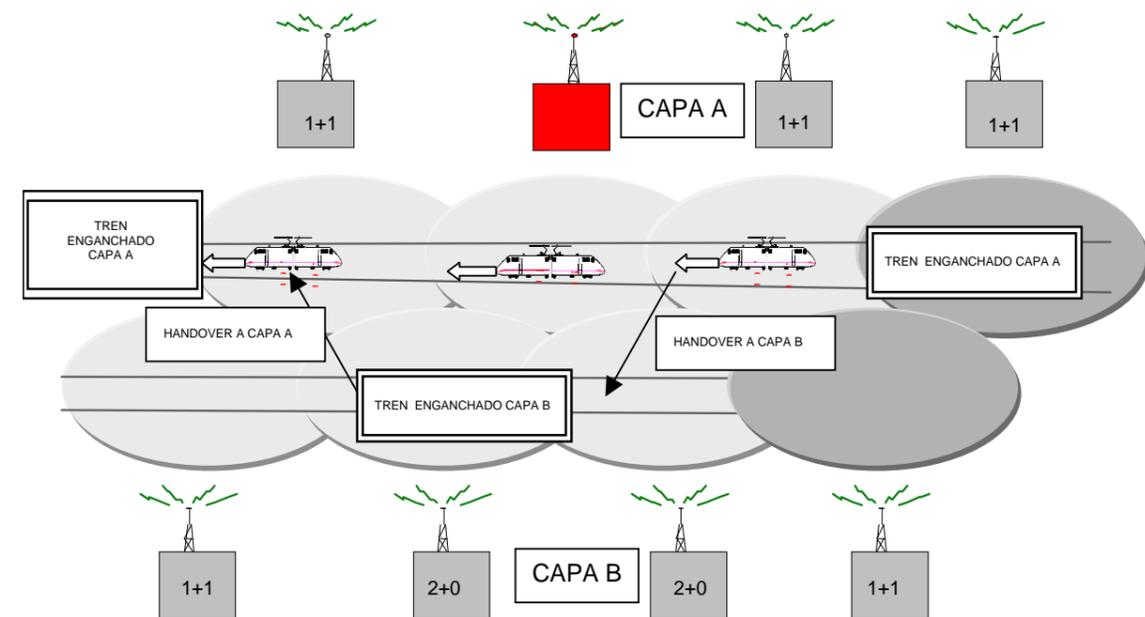
El número de transceptores disponibles en cada estación base ha sido calculado para poder cursar el tráfico generado en la línea en el caso de fallo completo de una de las dos capas. Para ello, las estaciones base a lo largo del trayecto se encuentran equipadas con un número de transceptores activos por celda, resultantes del correspondiente cálculo de tráfico, y con un transceptor de reserva en stand-by. En caso de que falle uno de los transceptores activos de una estación base, se deberá activar automáticamente el transceptor de reserva. Esta configuración de la estación base se denomina n+1.

4.3.3.2. Funcionamiento en doble capa

En el caso de que una estación base de una capa dejara de funcionar por completo, la llamada en curso de un usuario deberá ser mantenida gracias a las BTS contiguas de la capa contraria. Para ello, es necesario tener correctamente definida la lista de celdas vecinas de aquella que ha dejado de funcionar y que los transceptores de reserva de las BTS adyacentes de la capa contraria se

activen automáticamente, pasando a estar todos activos. De esta forma, se consigue mantener el número de transceptores activos en la zona afectada por el fallo de una estación base.

Este funcionamiento se puede apreciar mejor en la siguiente figura en la que la estación base de color rojo deja de funcionar por completo:



En funcionamiento normal del sistema, cada una de las capas gestiona los trenes que circulan en un determinado sentido.

El diseño de cada una de las capas de la red radio se ha realizado de forma que la causa de handover sea la de mejor servidora, es decir, el móvil cambia de celda en el momento que el nivel recibido de una celda vecina es mayor al de la servidora en la cantidad definida en la base de datos del sistema. Sólo en casos excepcionales se inicia un handover obligatorio. Estos casos se corresponden con fallos en estaciones base de la capa o en la totalidad de la misma.

#### **4.4. CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE**

##### **4.4.1. Estación base**

Se considerará un tipo de estación base que pueda configurarse con un mínimo de ocho portadoras. La estación base de una celda tipo se encontrará configurada con un transceptor activo y con otro de reserva, en 'stand – by', lo que supone una configuración de la estación base denominada 1+1, excepto en aquellas estaciones base en las que el estudio de tráfico determine la utilización de más transceptores activos, cuya configuración se denomina n+1.

La estación base debe proporcionar un mínimo de 60 W de potencia de salida por transceptor.

El combinador debe tener un filtro dúplex que combine en un mismo camino las señales de transmisión y de recepción para alimentar una única antena y capacidad para un máximo de cuatro portadoras. Además, permitirán una doble recepción de la señal necesaria para obtener ganancia por diversidad.

La estación base debe ser lo suficientemente modular como para soportar las diferentes configuraciones que se presentan en el presente Proyecto y para soportar futuras ampliaciones.

##### **4.4.2. Sistema radiante**

En las instalaciones de las estaciones base que se construirán en los tramos objeto del presente Proyecto se utilizará, de forma general, la celda compuesta. De esta forma, se colocarán las antenas direccionales necesarias para cada estación base, estando cada una de ellas orientada en cada dirección de la vía. Estas antenas se combinan por medio de un divisor de potencia, simétrico o asimétrico, y se conectan a los mismos transceptores dentro de la estación base. De esta forma se reduce el número de handovers a lo largo de la línea. Estos divisores de potencia serán los adecuados en cada caso, siendo el divisor de potencia simétrico de dos vías el que se utilice en la mayoría de las instalaciones.

La configuración básica de una celda tipo consiste en un transceptor que alimenta a dos antenas de polarización cruzada mediante dos divisores de potencia. Esta configuración se ve levemente modificada, generalmente en el número y tipo de divisores de potencia, en los casos en que es

necesario un sector adicional para cubrir un túnel mediante una antena helicoidal, ya que estas antenas sólo necesitan un latiguillo de alimentación en lugar de dos, o en aquellos casos en los que se precisa un sector adicional, como es el caso de las bifurcaciones que se pueden presentar en el trayecto. En el caso de estaciones con más de un transceptor activo y un solo combinador, la configuración queda exactamente igual.

##### **4.4.2.1. Antenas**

Las antenas direccionales que, por lo general, se utilizarán en el presente Proyecto deberán trabajar en la banda de frecuencias comprendida entre los 870 y 960 MHz e incluirán diversidad de polarización, a +45° y a – 45°, en una sola estructura. Este tipo de antenas proporcionan una protección adicional, en el enlace ascendente, frente a desvanecimientos rápidos provocados por la propagación multitrayecto, efecto Rayleigh, consiguiendo una ganancia media por diversidad de entre 2 y 5 dB. Por otro lado, el otro tipo de antenas consideradas serán de polarización circular que favorece la propagación en el interior de los túneles.

Los modelos de antena son los siguientes:

- Antena de polarización cruzada con ancho de haz de 65 ° horizontal y 10 ° vertical, con una ganancia de 17 dBi y una ratio Front – Back mayor de 30 dB.
- Antena de polarización cruzada con ancho de haz de 30 ° horizontal y 7 ° vertical con una ganancia de 21 dB y una ratio Front – Back mayor de 30 dB.
- Antenas de polarización circular con un ancho de haz de 28°, con una ganancia de 15 dB y una ratio Front – Back mayor de 20 dB.
- Antenas Yagi polarización vertical con un ancho de haz de 52°, con una ganancia de 12 dBi y una ratio Front – Back mayor de 20 dB.

#### 4.4.2.2. Elementos no radiantes

Dependiendo de la altura a la que se coloquen las antenas, el cable coaxial a utilizar será de diferente tipo. De esta forma, para torres de hasta 25 m en las que la longitud del cable será de aproximadamente 30 m, el cable coaxial será de 1/2", con atenuación de 6,78 dB/100 m, mientras que para torres de hasta 40 m en las que la longitud del cable será de aproximadamente 45 m, el cable coaxial será de 7/8", con atenuación de 3,81 dB/100 m. Además, en los casos que se presente, habrá que considerar aquella tirada de cable necesaria para alcanzar un túnel al que se pretenda dar cobertura desde la propia estación base, considerando, según la distancia, un cable coaxial de 1- 5/8" con atenuación de 2,33 dB/100 m. En cualquiera de los casos se instalarán los latiguillos superflexibles, conectores, kits de tierra y descargadores correspondientes.

En cuanto a los divisores de potencia utilizados, deberán trabajar en la banda de frecuencias indicada, y tener las siguientes características:

- Divisor simétrico de dos vías con relación de reparto 1/2 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.
- Divisor simétrico de tres vías con relación de reparto 1/3 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.
- Divisor asimétrico con relación de reparto 1/3 - 2/3 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.
- Divisor asimétrico con relación de reparto 1/10 - 9/10 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.
- Divisor asimétrico con relación de reparto 24/25 - 1/25 y pérdidas de inserción menores o iguales a 0,2 dB.

#### 4.5. BALANCE DE ENLACE ESTACIÓN BASE

Se entiende por balance del enlace el cálculo de las pérdidas de potencia que sufre la señal en su camino desde el emisor hasta el receptor y viceversa.

- Enlace ascendente: que considera a la estación móvil como emisora y a la estación base como receptora.
- Enlace descendente, considerando a la estación móvil como receptora y a la estación base como emisora.

Para asegurar que los radios de cobertura de ambos enlaces sean iguales, es decir, que el usuario quede cubierto por la estación base en todo su radio de cobertura, así como que la estación base pueda recibir señal del usuario en su respectiva área de cobertura, estas pérdidas deben fijarse a un valor similar. Para su cálculo, se listan las suposiciones más relevantes que son la base del estudio del balance de enlace. Para ello, se ha tomado como referencia una estación base tipo compuesta por una torre de 20 m de altura, dos antenas de polarización cruzada y divisores de potencia simétricos que, por otra parte, será la instalación más habitual dentro del presente Proyecto.

##### 4.5.1. *Requisitos de cobertura*

Para la planificación radioeléctrica se establecen unos límites inferiores de cobertura establecidos en los siguientes valores mínimos de nivel de potencia de recepción en una antena ideal sin pérdida:

- En campo abierto: -92 dBm.
- En interior de túnel: -70 dBm.
- Se recomienda que el requerimiento de cobertura se cumpla al menos den el 95% del tiempo sobre el 95% del área de cobertura.

#### 4.5.2. Estación base

Considerando los datos reflejados en el apartado correspondiente a la configuración de la estación base, esta se puede caracterizar de la siguiente forma:

- Potencia mínima de salida del transceptor de la estación base, 47,8 dBm.
- Pérdidas en combinador y duplexor, 5 dB.
- Sensibilidad en recepción, -110 dBm.
- Pérdidas de cable coaxial y conectores, 3 dB.
- Pérdidas en divisor de potencia simétrico, 3,5 dB.
- Ganancia de antena de polarización cruzada, 17 dBi.

#### 4.5.3. Terminal

Considerando el terminal cuya potencia se corresponde con la menor de entre las especificadas en el apartado requerimientos EIRENE, este se puede caracterizar de la siguiente forma:

- Potencia de salida del terminal, 39 dBm.
- Sensibilidad del receptor, -104 dBm.
- Ganancia de antena del terminal, 0 dBi.
- Altura de antena de terminal, 4 m. Esto supone una ganancia de aproximadamente 4 dB que se puede establecer por la siguiente expresión:

$$G_{altura} \approx 10 \log \frac{h_2}{h_1} \quad h_1 = 1,5 \text{ m}; h_2 = 4 \text{ m}$$

#### 4.5.4. Diversidad en recepción

Para el tipo de antenas consideradas, esto es antenas de polarización cruzada, proporcionan una protección adicional, en el enlace ascendente, frente a desvanecimientos rápidos provocados por la propagación multirrayecto, efecto Rayleigh, consiguiendo una ganancia media por diversidad de entre 2 y 5 dB. Para el cálculo del balance de enlace se considerará el valor más restrictivo, 2 dB.

#### 4.5.5. Sensibilidad en recepción estación base

Para establecer el nivel de recepción de la estación base con la consideración de la definición de balance de enlace, se debe aplicar la diferencia existente entre la sensibilidad del receptor, -104 dBm, y el nivel de planificación, -95 dBm, esto es, una diferencia de 9 dB, sobre la sensibilidad de la estación base, -110 dBm, obteniendo que la sensibilidad que debe ser considerada en la estación base es de -101 dBm.

#### 4.5.6. Márgenes

##### 4.5.6.1. Desvanecimientos

Como ha quedado indicado en el apartado requerimientos EIRENE, se especifica que 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 debe superar el valor umbral en cualquier intervalo de localización de longitud 100 m. Para realizar este cálculo se procede de la siguiente forma:

El porcentaje de cobertura objetivo del 95% del área objetivo debe interpretarse como un porcentaje zonal,  $Z$ . Este valor puede traducirse a porcentaje de cobertura perimetral,  $L$ , considerando una ley de propagación potencial con exponente  $n$ , por medio de la fórmula:

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

Donde  $x = k(L) / \sqrt{2}$  e  $y = 3,071 n / \sigma_L$ , siendo  $\sigma_L$  la desviación típica de la variación con ubicaciones,  $\text{erfc}(\cdot)$  la función error complementaria y  $k(\cdot)$  la función de distribución gaussiana normalizada inversa. De acuerdo con la Recomendación P.1546 del UIT - R, la desviación típica respecto a localizaciones es  $\sigma_L = 8,5$  dB. Para la desviación típica respecto a variaciones temporales se toma el valor  $\sigma_T = 2$  dB, obtenido de la Recomendación P.1145 del UIT-R. Tomando  $n = 4$ , correspondiente a un modelo de Tierra plana ideal, el exponente  $n$  del método de Okumura - Hata se sitúa habitualmente en torno a este valor, se obtiene  $L = 85\%$ . Finalmente, el margen para un porcentaje  $L = 85\%$  de cobertura perimetral y  $T = 95\%$  de cobertura temporal se calcula como

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

Teniendo en cuenta que  $k(0,85) = 1,04$  y  $k(0,95) = 1,64$ , resulta un margen log - normal  $M = 9,4$  dB.

El margen log - normal resultante es aproximadamente de 9 dB y determina 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.

#### 4.5.6.2. Margen de seguridad

En este margen se consideran diversas causas como el envejecimiento del equipamiento, cables, antenas o etc., los cambios de la vegetación y una protección adicional frente a interferencias no deseadas. Este margen de seguridad se puede cuantificar en 3 dB.

#### 4.5.7. **Cálculo de balance de enlace**

Se calcula la atenuación compensable tanto en el canal descendente como en el ascendente con los datos presentados anteriormente, lo que permitirá modelar el área de cobertura de las celdas:

##### 4.5.7.1. Enlace Descendente.

El enlace descendente es aquel que va desde la estación base al terminal móvil.

Se calcula en primer lugar la PIRE (Potencia Isótropa Radiada Equivalente) de la estación base, tal y como se indica a continuación:

<b>Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE)</b>	
Potencia del transceptor de la estación base(dBm)	47,8
Pérdidas en combinador y duplexor (dB)	- 5
Pérdidas de cable coaxial y conectores (dB)	- 3
Pérdidas en divisor de potencia simétrico (dB)	- 3,5
Ganancia de antena de polarización cruzada (dBi)	17
<b>TOTAL</b>	<b>53,3</b>

Por otro lado, se puede obtener la potencia en el receptor (terminal móvil), para garantizar el cumplimiento de los requisitos. Para ello se parte del nivel de potencia exigido y de los parámetros del receptor:

Potencia en el receptor	
Nivel de potencia exigido (dBm)	-95
Ganancia de antena del terminal (dBi)	0
Ganancia altura antena del terminal (dB)	4
Margen de desvanecimiento (dB)	- 9,4
Margen de seguridad (dB)	- 3
<b>TOTAL</b>	<b>-103.4</b>

Se obtiene, por tanto, que la máxima atenuación compensable para el canal descendente es:

**Atenuación compensable (dB) = PIRE – Potencia en el receptor = 156.7 dB**

4.5.7.2. Enlace Ascendente.

El enlace ascendente es aquel que va desde el terminal móvil a la estación base.

Se calcula en primer lugar la PIRE (Potencia Isótropa Radiada Equivalente) del terminal móvil, tal y como se indica a continuación:

Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE)	
Potencia de salida del terminal (dBm)	39
Ganancia de antena del terminal (dBi)	0
Ganancia altura antena del terminal (dB)	4
<b>TOTAL</b>	<b>43</b>

Por otro lado, se puede obtener la potencia en el receptor (estación base), para garantizar el cumplimiento de los requisitos. Para ello se parte del nivel de potencia exigido y de los parámetros del receptor:

Potencia en el receptor	
Sensibilidad en recepción estación base (dB)	- 101
Margen de desvanecimiento (dB)	- 9,4

Margen de seguridad (dB)	- 3
Ganancia de antena de polarización cruzada (dBi)	17
Ganancia diversidad en recepción (dB)	2
Pérdidas en divisor de potencia simétrico (dB)	- 3,5
Pérdidas de cable coaxial y conectores (dB)	- 3
Pérdidas de duplexor (dB)	-2
<b>TOTAL</b>	<b>- 102.9</b>

Se obtiene, por tanto, que la máxima atenuación compensable para el canal ascendente es:

$$\text{Atenuación compensable (dB)} = \text{PIRE} - \text{Potencia en el receptor} = 145.9\text{dB}$$

Se comprueba que la máxima atenuación compensable en ambos enlaces es muy similar, ya que 10 dB de diferencia son despreciables cuando tratamos con atenuaciones tan grandes. Esto equivale a decir que los canales están balanceados y por lo tanto los móviles podrán ser escuchados por la estación base en todo el área de cobertura de la misma.

#### 4.6. RESULTADO DE LA PLANIFICACIÓN RADIOELÉCTRICA

La planificación radioeléctrica efectuada para cubrir el tramo de la línea de Alta Velocidad

##### 4.6.1. Fase I: San Telmo – Playa del Inglés

BTS/FOR	PK (km)	CÓDIGO EMPLAZAMIENTO	CAPA	Tramo	Lado de vía	Longitud	Latitud	Acimut	Tipo antena	Instalación	Altura	Tilt	Provincia
BTS01A	3+750	AGCANB0010A	A	Estación San Telmo	Izquierda	-15.415183°	28.109626°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
BTS01A	3+750	AGCANB0010A	A	Estación San Telmo	Izquierda	-15.415183°	28.109626°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
FOR22B	4+050	AGCANR0022B	B	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR14A	4+900	AGCANR0014A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR21B	5+900	AGCANR0021B	B	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR15A	6+750	AGCANR0015A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
BTS02B	7+150	AGCANB0020B	B	Estación Hospitales	Derecha	-15.418723°	28.081253°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
BTS02B	7+150	AGCANB0020B	B	Estación Hospitales	Derecha	-15.418723°	28.081253°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
FOR23A	8+200	AGCANR0023A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas

FOR23B	8+550	AGCANR0023B	B	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR22A	9+700	AGCANR0022A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR24B	10+350	AGCANR0024B	B	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR21A	11+050	AGCANR0021A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR33B	12+150	AGCANR0033B	B	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
BTS02A	12+900	AGCANB0020A	A	Estación Jinámar	Izquierda	-15.413669°	28.032890°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
BTS02A	12+900	AGCANB0020A	A	Estación Jinámar	Izquierda	-15.413669°	28.032890°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
FOR32B	14+000	AGCANR0032B	B	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR24A	14+000	AGCANR0024A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR31B	15+750	AGCANR0031B	B	túnel 2	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR25A	15+900	AGCANR0025A	A	túnel 2	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR26A	17+350	AGCANR0026A	A	túnel 2	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
BTS03B	17+600	AGCANB0030B	B	Boca fin túnel 2	Derecha	-15.406469°	27.992593°	Interior de túnel	Helicoidal	Torre	20	-2	Las Palmas

BTS03B	17+600	AGCANB0030B	B	Boca fin túnel 2	Derecha	-15.406469°	27.992593°	175	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS03A	20+150	AGCANB0030A	A	Boca inicio túnel 3	Izquierda	-15.395634°	27.971868°	335	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS03A	20+150	AGCANB0030A	A	Boca inicio túnel 3	Izquierda	-15.395634°	27.971868°	Interior de túnel	Helicoidal	Torre	20	-2	Las Palmas
FOR41B	20+700	AGCANR0041B	B	túnel 3	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR31A	21+850	AGCANR0031A	A	túnel 3	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR32A	23+750	AGCANR0032A	A	túnel 3	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
BTS04B	23+750	AGCANB0040B	B	Estación Aeropuerto	Derecha	-15.390000°	27.940412°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
BTS04B	23+750	AGCANB0040B	B	Estación Aeropuerto	Derecha	-15.390000°	27.940412°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
FOR33A	25+200	AGCANR0033A	A	túnel 3	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR51B	26+150	AGCANR0051B	B	túnel 3	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR34A	26+700	AGCANR0034A	A	túnel 3	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
BTS05B	28+000	AGCANB0050B	B	Boca fin túnel 3	Derecha	-15.400534°	27.904166°	Interior de túnel	Helicoidal	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS05B	28+000	AGCANB0050B	B	Boca fin túnel 3	Derecha	-15.400534°	27.904166°	200	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas

FOR35A	28+000	AGCANR0035A	A	Boca fin túnel 3	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
BTS04A	32+100	AGCANB0040A	A	Estación Arinaga	Izquierda	-15.417747°	27.870492°	30	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS04A	32+100	AGCANB0040A	A	Estación Arinaga	Izquierda	-15.417747°	27.870492°	220	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS06B	36+250	AGCANB0060B	B	Estación Vecindario	Derecha	-15.438837°	27.839026°	30	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS06B	36+250	AGCANB0060B	B	Estación Vecindario	Derecha	-15.438837°	27.839026°	230	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS05A	40+050	AGCANB0050A	A	Talleres y Cocheras	Izquierda	-15.468083°	27.819659°	65	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS05A	40+050	AGCANB0050A	A	Talleres y Cocheras	Izquierda	-15.468083°	27.819659°	240	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS07B	44+400	AGCANB0070B	B	Talleres y cocheras- Playa del Inglés	Derecha	-15.498590°	27.791316°	30	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS07B	44+400	AGCANB0070B	B	Talleres y cocheras- Playa del Inglés	Derecha	-15.498590°	27.791316°	255	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
FOR81B	46+900	AGCANR0081B	B	Boca inicio túnel 4	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR61A	47+500	AGCANR0061A	A	Boca fin túnel 4	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
BTS06A	48+900	AGCANB0060A	A	Boca fin túnel 5	Izquierda	-15.540324°	27.777326°	65	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas

BTS06A	48+900	AGCANB0060A	A	Boca fin túnel 5	Izquierda	-15.540324°	27.777326°	250	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS08B	48+900	AGCANB0080B	B	Boca fin túnel 5	Derecha	-15.540324°	27.777326°	65	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
BTS08B	48+900	AGCANB0080B	B	Boca fin túnel 5	Derecha	-15.540324°	27.777326°	230	Crosspolar 65	Torre	20	-2	Las Palmas
FOR62A	50+180	AGCANR0062A	A	Boca fin túnel 6	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR82B	50+180	AGCANR0082B	B	Boca fin túnel 6	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas

**4.6.2. Fase I: Santa Catalina– Meloneras**

BTS/FOR	PK (km)	CÓDIGO EMPLAZAMIENTO	CAP A	Tramo	Lado de vía	Longitud	Latitud	Acimut	Tipo antena	Instalació n	Altura	Tilt	Provincia
BTS01B	0+050	AGCANB0010B	B	Estación Santa Catalina	Derecha	-15.429215°	28.138822°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
BTS01B	0+050	AGCANB0010B	B	Estación Santa Catalina	Derecha	-15.429215°	28.138822°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
FOR13A	0+050	AGCANR0013A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR12A	0+750	AGCANR0012A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR11B	1+350	AGCANR0011B	B	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR11A	2+500	AGCANR0011A	A	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR12B	2+650	AGCANR0012A	B	túnel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR74A	51+950	AGCANR0074A	A	túnel 7	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR94B	51+950	AGCANR0094B	B	túnel 7	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR73A	53+400	AGCANR0073A	A	túnel 7	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas

FOR93B	53+400	AGCANR0093B	B	túnel 7	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR72A	54+600	AGCANR0072A	A	túnel 7	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR92B	54+600	AGCANR0092B	B	túnel 7	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR71A	56+150	AGCANR0071A	A	túnel 7	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
FOR91B	56+150	AGCANR0091B	B	túnel 7	N/A	N/A	N/A	N/A	Helicoidal	N/A	N/A	-2	Las Palmas
BTS09B	57+600	AGCANB0090B	B	Meloneras	Derecha	-15.598288°	27.739513°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
BTS09B	57+600	AGCANB0090B	B	Meloneras	Derecha	-15.598288°	27.739513°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
BTS07A	57+600	AGCANB0070A	A	Meloneras	Izquierda	-15.598288°	27.739513°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas
BTS07A	57+600	AGCANB0070A	A	Meloneras	Izquierda	-15.598288°	27.739513°	Interior de túnel	Helicoidal	Hastial	5	-2	Las Palmas