

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**DESPLIEGUE EGSM EN ZONAS ESPECÍFICAS**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**  
**INGENIERÍA TÉCNICA: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN**

Autora: Lorena Garrido Pérez

Fecha defensa: 30 de julio de 2009



A todos aquellos compañeros que nunca han dudado  
en ayudarme cuando lo he necesitado.

## INDICE

<b>ACRONIMOS .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1. OBJETIVOS .....	9
1.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	11
<b>2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVILES.....</b>	<b>13</b>
2.1. LAS COMUNICACIONES MÓVILES ANALÓGICAS .....	13
2.1.1. GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA TACS .....	13
2.1.2. <i>SERVICIOS DEL TACS</i> .....	15
2.1.3 <i>ESPECIFICACIONES RADIOELÉCTRICAS DEL TACS</i> .....	15
2.1.3.1 BANDAS DE FRECUENCIA .....	15
2.1.3.2 POTENCIA DE TRANSMISIÓN.....	16
2.1.3.3 MODULACIÓN .....	17
2.1.3.4 SEÑALIZACIÓN .....	18
2.1.3.5 EQUIPO RADIO .....	18
2.1.4. <i>ARQUITECTURA DE LA RED TACS</i> .....	18
2.1.5 <i>PLANIFICACIÓN E INGENIERIA DEL SISTEMA TACS</i> .....	21
2.1.5.1 INFLUENCIA DEL RUIDO Y SU CONTROL.....	21
2.1.5.2 DESVANECIMIENTO LENTO .....	22
2.1.5.3 INTERFERENCIAS .....	23
2.1.5.4 DIMENSIONAMIENTO.....	24
2.1.5.5 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS .....	25
2.2. ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA.....	26
2.2.1 <i>PANORAMA GENERAL DE GSM</i> .....	26
2.2.1.1 UN POCO DE HISTORIA.....	26
2.2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES.....	28
2.2.1.2.1 TIPOS DE CELULAS .....	29
2.2.1.2.2 ARQUITECTURA DE UNA RED GSM.....	29
2.2.1.2.3 ROADMING Y HAND-OVER .....	31
2.2.1.2.4 GSM Y LOS RADIO ENLACES.....	32
2.2.1.2.5 MODULACIÓN GSM.....	33
2.2.2 <i>GPRS</i> .....	35
2.2.3 <i>UMTS</i> .....	36
2.2.3.1 SERVICIOS DE UMTS .....	36
2.2.3.2 FRECUENCIAS .....	38
2.2.3.3 CDMA .....	42
2.3. EL FUTURO DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES.....	47
2.3.1 <i>HSDPA</i> .....	47
<b>3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL.....</b>	<b>51</b>
3.1 CANALES DE PROPAGACIÓN RADIO.....	51
3.1.1 <i>MECANISMOS DE PROPAGACIÓN</i> .....	51

3.1.2	MULTITRAYECTO Y DESVANECIMIENTO.....	52
3.1.2.1	DESVANECIMIENTO.....	54
3.1.3	ATENUACIÓN POR PROPAGACIÓN Y DIFERENTES ENTORNOS.....	56
3.1.3.1	PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN.....	58
3.1.3.1.1	MODELO DE TIERRA PLANA Y DISTANCIA AL PUNTO DE INFLEXIÓN.....	59
3.2	ANTENAS Y OTROS COMPONENTES DE LA BTS.....	61
3.2.1	ANTENAS.....	61
3.2.1.1	TIPOS DE ANTENAS.....	61
3.2.1.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS.....	62
3.2.1.3	EJEMPLO DE CONFIGURACIONES DE ANTENAS.....	65
3.2.1.4	REQUISITOS DE OBSTÁCULOS CERCANOS.....	66
2.1.3	TÉCNICA DE DIVERSIDAD.....	68
3.3.2	CABLES COAXIALES.....	70
3.3	PLANIFICACIÓN DE RED.....	71
3.3.1	ASPECTOS DE LA PLANIFICACION DE RED.....	71
3.3.5	EL PROCESO DE LA PLANIFICACIÓN CELULAR.....	72
6.3.3.	DATOS PREVIOS AL PROCESO DE PLANIFICACIÓN.....	73
3.3.4	REQUISITOS DE COBERTURA.....	74
3.3.5	SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	76
3.3.5.2	LOCALIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	76
3.3.5.1.1	LOCALIZACIÓN ERRÓNEA DEL EMPLAZAMIENTO.....	76
3.3.5.1.2	LOCALIZACIÓN CORRECTA DEL EMPLAZAMIENTO.....	76
3.3.5.1.3	CRITERIO DE SELECCIÓN DE UN EMPLAZAMIENTO.....	77
3.3.5.2	INFORMACIÓN SOBRE UN FUTURO EMPLAZAMIENTO.....	78
3.4	PLANIFICACION RADIO.....	79
3.4.1	EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS CELDAS.....	79
3.4.2	AREA DE COBERTURA.....	81
3.4.3.2	EVALUACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA.....	82
3.4.3	TRÁFICO.....	84
3.4.3.1	ESTIMACIONES DE TRÁFICO.....	84
3.4.3.2	PLANIFICACIÓN DEL TRÁFICO.....	84
3.4.3.3	PATRONES DE TRÁFICO.....	85
3.4.4	PLANIFICACIÓN DE PARÁMETROS Y FUNCIONALIDADES DE LA RED RADIO.....	86
3.5	PLANIFICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN.....	88
3.5.1	TOPOLOGÍAS BÁSICAS DE RED Y TRANSMISIÓN.....	89
3.5.2	LA PLANIFICACIÓN DE LOS RADIOENLACES.....	90
3.5.2.1	MODULACIÓN.....	91
3.5.3.1	DISPONIBILIDAD DEL RADIOENLACE.....	92
3.5.2.3	CONSEJOS PARA EVITAR INTERFERENCIAS.....	94
3.5.3.1	EXTREMO ALTO Y EXTREME BAJO.....	94
3.5.2.5	ZONA DE FRESNEL.....	94
3.5.3	LÍNEAS ALQUILADAS.....	96
3.5.3.1	MEDIOS DE TRANSMISIÓN.....	98
3.5.3.1.1	TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN.....	98
<b>4.</b>	<b>ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR.....</b>	<b>102</b>
4.1.	NORMA DE COBERTURA DE ZONAS ESPECÍFICAS EGSM.....	102
4.1.1.	OBJETO.....	102
4.1.2.	COMPROBACIÓN INICIAL DE COBERTURA Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA ADOPTADA.....	103
4.1.3.	CRITERIO PARA SELECCIÓN DE MODELO DE BASTIDOR.....	104
4.1.3.1.	TIPO DE BASTIDOR: INTERIOR Ó EXTERIOR.....	104
4.1.3.2.	CAPACIDAD MÁXIMA DEL BASTIDOR.....	105

4.1.3.2.1. EMPLAZAMIENTOS EN POBLACIÓN .....	105
4.1.3.2.2. EMPLAZAMIENTOS PARA VÍAS DE COMUNICACIÓN .....	105
4.1.4. CRITERIOS SELECCIÓN DE ANTENAS Y ALTURA DE TORRE .....	106
4.1.4.1. EMPLAZAMIENTOS CON ESTACIONES BASE MACRO .....	107
4.1.4.1.1. ESTACIÓN BASE EN POBLACIÓN .....	107
4.1.4.1.2. ESTACIÓN BASE PARA VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	108
4.1.4.2. EMPLAZAMIENTO CON MICROCÉLULA .....	108
4.1.5. PROYECTO TÉCNICO Y CERTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	108
4.1.6. PRUEBAS DE COMPROBACIÓN DE COBERTURA y DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR.....	111
4.1.6.1. MEDIDAS .....	111
4.1.6.1.1. EQUIPAMIENTO NECESARIO.....	111
4.1.6.1.2. DATOS DE MEDIDAS .....	112
4.1.6.2. MAPAS DE COBERTURA.....	113
<b>5. DEFINICIÓN DE LA ZONA CONCRETA DONDE REALIZAR LA IMPLANTACIÓN .....</b>	<b>116</b>
<b>6. PLANIFICACION .....</b>	<b>121</b>
6.1. ANALISIS MEDIDAS DE COBERTURA .....	121
6.1.1. MÉTODOS DE MEDIDA .....	121
6.1.2. ELECCIÓN DE RUTAS.....	121
6.1.3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	122
6.1.4. ANÁLISIS DE DRIVE TEST.....	122
6.1.4.1. ANÁLISIS DE MEDIDAS SIN ESTACIÓN BASE .....	123
6.1.4.2. ANÁLISIS DE MEDIDAS POST-INTEGRACIÓN.....	124
6.2. ANÁLISIS SAR (SITE ADQUISITION REPORT) .....	127
6.3. ANALISIS DE LOS (LINE OF SIGHT) .....	138
6.4. DISEÑO RADIO Y TRANSMISIÓN .....	145
6.4.1. NUEVOS EMPLAZAMIENTOS .....	145
6.4.2. CONFIGURACION DE LOS EMPLAZAMIENTOS.....	145
6.4.2.1. TOBED .....	148
6.4.2.2. SANTA CRUZ DEL GRIO .....	150
6.4.2.3. COSUENDA .....	152
6.4.2.4. BADULES.....	154
6.4.2.5. VILLAHERMOSA DEL CAMPO.....	157
6.4.2.6. HERRERA DE LOS NAVARROS .....	159
6.4.2.7. ANENTO.....	161
6.4.2.8. VAL DE SAN MARTIN .....	164
6.4.2.9. VILLARROYA DEL CAMPO .....	166
6.4.2.10. ATEA .....	168
6.4.2.11. LANGA DEL CASTILLO .....	170
<b>7. IMPLEMENTACIÓN E INGENIERÍA CIVIL .....</b>	<b>173</b>
7.1. REPLANTEO DE LA PLANIFICACIÓN .....	173
7.2. CALIDAD DEL RADIOENLACE .....	184
<b>8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS .....</b>	<b>189</b>
8.1. CONCLUSIONES .....	189
8.2. TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS.....	191
<b>ANEXO A: ANTENAS PARA ESTACION BASE .....</b>	<b>194</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>200</b>

**ACRONIMOS**

16QAM: Quadrature Amplitude Modulation

**A**

AMPS: American Mobile Phone System

**B**

BIP-N: Bit Interleaved Parity

BER: Block Error Rate

BSS: Base Station Subsystem

BSIC: Base Station Identity Code

BCC: Base Station Colour Code

**C**

CCH: Control Channel

CCCH: Common Control Channel

CDMA: Code Division Multiple Access

CEPT: Conference of European Posts and Telecommunications

CRC: Cyclic Redundancy Checking

**D****E**

EB: Estación base también puede aparecer como BS (Base Station).

EB: Error Block

EDGE: Enhanced Data rates for GSM of Evolution

ETSI: European Telecommunications Standards Institute

**F**

FDD: Frequency Duplex Division

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FET: Fixed Electrical Tilt

FSK: Frequency-Shift keying

FM: Frequency Modulation

**G**

GMSC: Gateway Mobile Services Switching Center

GMSK: Gaussian Minimum shift Keying

GPRS: General Packet Radio Service

GR: Gerencia de Radio

GSM: Groupe Special Mobile

**H**

HLR: Home Location Register

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access

HSDSCH: High Speed - Downlink Shared Channels

**I**

*IMSI: International Mobile Subscriber Identity*

*ITU-T: Sector de Normalización de las Telecomunicaciones*

**J****K****L**

*LAC: Mobile Network Code*

*LTE: Long Term Evolution*

**M**

*MCC: Mobile Country Code*

*MITC: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.*

*MNC: Mobile Network Code*

MSC: Mobile Switching Center

MS: Mobile Station

**N**

NCC: Network Colour Code

NMT-450, NMT-900: Nordisk MobilTelefoni, los números indican la frecuencia utilizada.

NSS: Network and Switching Subsystem

**O**

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OMC: Operation and Maintenance Center

OSS: Operation and Support Subsystem

## **P**

PLMN: Public Land Mobile Network

PRA: Potencia Radiada Aparente

PSK: Phase Shift Keying

PSTN: Public switched telephone network

## **Q**

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

QoS: Quality of Service

## **R**

RSU: Remote Switching Units

## **S**

SIG: Signaling Channel

*SDCCH*: Standalone Dedicated Control Channel

*SINAD*: *Signal to Noise And Distortion*

SMS: Short Message Service

## **T**

TACS: Total Access Communication System

TCH: Traffic Channel

TDD: Time Duplex Division

TDMA: Time Division Multiple Access

## **U**

UARFCN: UTRA Absolute Radio Frequency channel Number

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

*UTRA*: Universal Terrestrial Radio Access.

## **V**

VLN: Visitor Location Register

## **W**

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access

## **X**

## **Y**

## **Z**

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. OBJETIVOS

GSM es un sistema de telefonía móvil celular, cuyos principales usos son la transmisión móvil de voz y de datos, GSM opera en las bandas de 900MHz y 1800 MHz en Europa. La red GSM terrestre actualmente cubre más del 80% de la población mundial. Con GSM por satélite se ha ampliado el acceso a áreas donde la cobertura terrestre no está disponible.

GSM-900 es la banda original de GSM, usa la sub-banda 890-915 para el uplink<sup>1</sup>, y la sub-banda 935-960 MHz para la otra dirección, downlink<sup>2</sup>, proporcionando 124 radiocanales de 200kHz y dos bandas de guarda de 100KHz en la parte más alta y más baja del espectro. Debido a la saturación de la red en algunos países, incluido España, la banda GSM-900 se ha extendido, disponiendo de un mayor rango de frecuencias. Este 'GSM extendido' se denomina EGSM, utiliza la sub-banda 880-915 MHz para el uplink y 925-960 MHz para el downlink, sumando 50 canales a la banda original de GSM y manteniendo las mismas características y requisitos que el sistema original.

El objetivo principal de este proyecto surge de la expansión de la red GSM actual, en la banda extendida, para dotar de cobertura a las poblaciones que actualmente carecen de ella, y que así un mayor número de personas puedan acceder a los beneficios y servicios que las redes móviles ofrecen.

El origen de EGSM en España data del año 2006, fecha en la que los operadores móviles alcanzan un acuerdo con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Este acuerdo se basa en dotar de cobertura a pueblos, vías de comunicación y zonas estratégicas (centrales nucleares y complejos petroquímicos) a cambio de la concesión de parte de la banda EGSM por parte del Ministerio.

A raíz de este compromiso entre operadores y ministerio nace un proyecto llave en mano para el despliegue de la red radio de telefonía móvil EGSM que se asignan a diferentes

---

<sup>1</sup> Uplink es el término anglosajón para referirse al enlace ascendente entre el terminal móvil y la estación base.

<sup>2</sup> Downlink es el término anglosajón para referirse al enlace descendente entre la estación base y el terminal móvil.

## 1. INTRODUCCIÓN

suministradores, en función de la compatibilidad con las tecnologías y equipos instalados y de la oferta económica.

En España existen grandes extensiones sin cobertura GSM, dentro del territorio asignado al suministrador existen más de 700 poblaciones sin cobertura, en la que la comunicación móvil es imposible de realizar en la actualidad.

Aunque en las grandes ciudades ya podemos disfrutar de los nuevos servicios de las tecnologías UMTS y HSDPA, no nos podemos olvidar que GSM es el estándar más extendido en el mundo, con un 82% de los terminales mundiales en uso, GSM cuenta con más de 3.000 millones de usuarios en 212 países distintos, siendo el estándar predominante en Europa, América del Sur, Asia y Oceanía, y con gran extensión en América del Norte<sup>3</sup>.

Todos estos motivos han llevado al desarrollo de un proyecto donde se profundiza en los aspectos teóricos de la planificación radio y de la transmisión, y su aplicación en el ámbito real del despliegue de red.

---

<sup>3</sup> Estadísticas de junio de 2008 de la asociación GSM World

## 1.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Después de establecer los objetivos del proyecto este continúa con una retrospectiva sobre los sistemas de telefonía móvil, y como a lo largo del tiempo se han ido implantando nuevos sistemas que han desbancado a los existentes en aquel momento. Se define el sistema de primera generación utilizado en España, también conocido como telefonía móvil analógica, explicando sus principales características y servicios. Se continúa con el estado actual de la técnica donde se especifican los sistemas que conviven en la actualidad, sus principales características y las mejoras que introducen respecto al anterior, haciendo más hincapié en la tecnología que es motivo de este documento, GSM.

El tercer capítulo se basa en la teoría de la planificación de una red de telefonía móvil, este capítulo se desglosa en varios apartados. El primero de ellos aborda los mecanismos de propagación radio. A continuación se explican las principales características de los principales elementos físicos que intervienen en la comunicación entre transmisor y receptor.

En este mismo apartado se continúa con la planificación de la red, nos adentramos en las distintas fases que constituyen la planificación de la red, las interacciones necesarias entre los distintos departamentos, los datos previos y los requisitos del cliente son aspectos fundamentales en este apartado. Para concluir dicho capítulo se continúa con la explicación de los principales aspectos de la planificación radio y de transmisión.

El cuarto capítulo tiene como finalidad plasmar los criterios del operador para la planificación radio que se utilizarán en el despliegue EGSM, detallando los umbrales de cobertura entre otros aspectos a tener en cuenta. Dentro de este capítulo también se especifica la zona asignada para dotar de cobertura.

En el siguiente capítulo se define y explica la zona donde elaboraremos el diseño de red aplicando los conceptos teóricos explicados anteriormente.

En el capítulo sexto, en una primera parte se analizan distintos documentos reales que son parte de la planificación tanto radio como de transmisión, se trata de análisis de medida de cobertura, de la localización de emplazamiento y de la comprobación de la línea de vista, estos documentos nos aportan valiosos datos para la planificación.

En la segunda parte de este capítulo se aplican los conceptos teóricos a 11 poblaciones, especificando la configuración radio y transmisión que se le asigna a cada una de los emplazamientos después de un minucioso estudio de cada uno de ellos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El último capítulo se centra en los aspectos de implementación e ingeniería civil, que también son necesarios en un despliegue de red. En la primera parte se analiza un acta de replanteo real para destacar los aspectos más importantes que nos aporta este documento. A continuación se describe el proceso de monitorización de los radioenlaces tras su puesta en servicio.

Se finalizará el documento detallando las conclusiones a las que se ha llegado y los trabajos futuros a los que puede llevar la ejecución de este proyecto.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVILES

En este capítulo se analizará la evolución de las comunicaciones móviles desde la primera generación (también llamada comunicaciones analógicas) hasta los sistemas existentes en la actualidad: 2G, 3G, HSDPA.

Aunque las comunicaciones móviles analógicas desaparecieron en España en 2007 se comienza explicando brevemente sus bases y funcionamiento, porque con ello será más fácil comprender las características y funcionamiento de las tecnologías posteriores.

### 2.1. LAS COMUNICACIONES MÓVILES ANALÓGICAS

En este capítulo introductorio, nos centramos en el pasado de las comunicaciones móviles en España, que adoptó la misma tecnología que se implantó en el resto de Europa. El primer sistema de comunicaciones móviles público que operó en España fue el TACS (Total Access Communication System).

TACS engloba a todas aquellas tecnologías de comunicaciones móviles analógicas. El sistema TACS es un sistema de comunicaciones para telefonía móvil celular dúplex en la banda de 900 MHz, con capacidad para transmitir voz pero no datos. El precursor del sistema TACS fue el sistema AMPS (American Mobile Phone System), desarrollado en la década de los 70 por los laboratorios Bell y puesto en servicio en la primera mitad de la década de los 80. Posteriormente, el sistema AMPS fue adaptado a los requisitos europeos por el Reino Unido (en especial, en lo que respecta a bandas de frecuencia y canalización) y puesto en servicio en 1985 con el nombre de sistema TACS. Dado que el estándar TACS sólo define el protocolo de acceso radio entre una estación móvil y su correspondiente estación base, y no cubre aspectos relativos a la gestión de la movilidad, surgieron toda una serie de estándares diferentes en diversos países: NTT-MTS (Japón), MNT (Escandinavia) y C450 (Alemania), con los correspondientes problemas de incompatibilidades. El único proveedor de este sistema en España, conocido comercialmente como "Moviline", fue Telefónica. Este sistema desapareció definitivamente en el año 2007.

#### 2.1.1. GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA TACS

El TACS es un sistema de telefonía móvil pública que constituye una red PLMN (Public Land Mobile Network) de primera generación con cobertura nacional. La norma TACS desarrollada en el Reino Unido, deriva del estándar AMPS de Estados Unidos, habiéndose adaptado las bandas de frecuencias y canalización a la normativa europea.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

El sistema funciona en la banda de 900 MHz y dispone de una anchura de banda que proporciona 1320 canales dúplex. Se ha diseñado básicamente para la transmisión de voz, por la interfaz radio, de forma analógica, empleándose modulación de frecuencia (FM) con gran desviación. Además, para conseguir una buena calidad de voz, se realiza un procesado de señal consistente en la compresión/expansión silábica.

La transmisión de la señalización por la interfaz radio es digital, utilizándose modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) y codificación con detección y corrección de errores. La estructura del sistema es celular clásica, con disposiciones básicas de grupos de reutilización de 12 células para cobertura omnidireccional y de 7 en caso de cobertura sectorizada. Se mejora la resistencia a las interferencias mediante el uso de tonos de supervisión que acompañan a la señal telefónica y que se utilizan también para la función de traspaso (*handover*<sup>4</sup>).

Los radios celulares varían desde los 30 Km. para la cobertura de zonas rurales y carreteras empleando un terminal sobre vehículo, hasta 1 Km., aproximadamente, para la cobertura de áreas urbanas con gran intensidad de tráfico, utilizando estructuras celulares sectorizadas y terminales portátiles. En este caso se controlan las interferencias derivadas de la mayor reutilización de las frecuencias mediante direccionalidad de la transmisión y el empleo de potencias reducidas.

El sistema permite el control de la potencia de emisión de la estación móvil. Para ello la estación base (EB) mide el nivel de señal recibida y, si este es intenso, ordena al móvil, por el canal de señalización que disminuya la potencia. Así se reduce el potencial de interferencia y se prolonga la duración de la batería de los terminales.

Se incorporan ciertos aspectos de seguridad como son la posibilidad de cifrar las comunicaciones por la interfaz radio y el requisito de identificación de los terminales cada vez que realizan un acceso al sistema. De este modo, si un usuario notifica al operador que su terminal se ha extraviado o ha sido sustraído, la red impedirá cualquier tentativa de llamada realizada desde ese terminal.

La señalización de línea es del tipo de canal común, empleándose es SS7 (Sistema de Señalización N° 79 del ITU-T que proporciona una gran cantidad de los mensajes de señalización y permite gran número de servicios suplementarios.

Cada EB proporciona dos clases de canales: un canal de control o señalización denominado CCH (Control Channel) o SIG (Signalling Channel) y canales de tráfico, designados por TCH (Traffic Channel). El primero se emplea para la transferencia de información de señalización con los móviles necesaria para la localización y registro, aviso, mantenimiento de llamadas, etc.... Los TCH se utilizan para la transmisión de voz.

---

<sup>4</sup> Aunque *handover* sea un anglicismo, en este texto se utiliza este término para referirse al traspaso entre celdas.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

**2.1.2. SERVICIOS DEL TACS**

El TACS ofrecía un amplio abanico de servicios gracias a su avanzado sistema de señalización:

TELEFONÍA BÁSICA, de calidad similar a la PSTN, con baja probabilidad de bloqueo y un tiempo de establecimiento de las llamadas reducido.

TRANSMISIÓN DE DATOS, equipando al teléfono móvil con un módem adecuado.

SERVICIOS SUPLEMENTARIOS telefónicos tales como:

- Contestador automático/ buzón.
- Llamada en espera
- Desvío de llamadas
- Conferencia pluripartita
- Mensajes orales
- Asistencia de operadora
- Información de tarificación.

**2.1.3 ESPECIFICACIONES RADIOELÉCTRICAS DEL TACS****2.1.3.1 BANDAS DE FRECUENCIA**

El sistema TACS comenzó a funcionar en unas bandas de frecuencias (bandas TACS) que, posteriormente, se han reservado para el sistema GSM. Por ello no se ha habilitado toda la banda inicialmente prevista, lo cual, unido a las exigencias de tráfico, requirió el empleo de una banda adicional denominada E-TACS (extended TACS). Se utilizan ambas bandas, las cuales están divididas en sub-bandas para transmisión y recepción, como se indica en la tabla siguiente, con referencia a las estaciones base.

	Banda TACS	Banda E-TACS
Transmisión (MHz)	935-950	917-935
Recepción (MHz)	890-905	872-890

La separación de canales es de 25KHz. Las asignaciones de frecuencia están desplazadas del valor central nominal en 12,5 KHz. y se designan mediante un número entero N denominado número de canal, que indica la frecuencia de transmisión de la

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

estación base. Los canales TACS son numerados correlativamente de 1 a 600 y los ETACS de 1329 a 2047. Por consiguiente si  $F_{tx}(N)$  y  $F_{rx}(N)$  son las frecuencias de transmisión/ recepción de la estación base de canal N, se tendrá:

Para la banda TACS:

$$F_{tx}(N) = 0,025(N-1) + 935,0125 \quad 1 \leq N \leq 600$$

$$F_{rx}(N) = F_{tx}(N) - 45$$

Para la banda E-TACS:

$$F_{tx}(N) = 0,025(N-1329) + 917,0125 \quad 1329 \leq N \leq 2047$$

$$F_{rx}(N) = F_{tx}(N) - 45$$

El radiocanal 934,9875-889,9875 MHz se designa como *canal 0*. El total de radiocanales disponibles es de 1320 (incluido el cero) de los cuales se reservan 21 para señalización y el resto para tráfico.

### 2.1.3.2 POTENCIA DE TRANSMISIÓN

Las estaciones base tienen una potencia de equipo ajustable en función de los requisitos de cobertura y balances de enlaces. El valor máximo de la PRA es de 100 W aproximadamente.

Para las estaciones móviles se han establecido según su categoría, los niveles máximos de potencia que se indican en la siguiente tabla. Debido al control de potencia el nivel puede variar entre esos valores máximos y un mínimo de -22 dBW

Categoría de MS	PRA Nominal	Potencia de Equipo ( supuesta $G_d=1,5$ dB)
Clase 1	10 dBW (10 W)	8,5 dBW (7 W)
Clase 2	6 dBW (4 W)	4,5 dBW (2,8 W)
Clase 3	2 dBW (1,6 W)	0,5 dBW (1,1 W)
Clase 4	-2 dBW (0,6 W)	-3,5 dBW (0,45 W)

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

El margen de control de potencia es 32 dB para terminales sobre vehículo y 20 dB para equipos portátiles.

## 2.1.3.3 MODULACIÓN

Para las señales telefónicas, con una banda de base de 300 a 2500 Hz, la modulación es FM analógica, con una desviación de frecuencia de cresta de  $\pm 9,5$  kHz. Por consiguiente, la anchura de la banda de RF es:

$$B=2(9,5 +2,5) =24 \text{ KHz.}$$

Este elevado valor de la desviación de frecuencia proporciona una calidad de voz superior a la que brindan los sistemas móviles convencionales, pero a costa de mayor anchura de banda de RF que produce un incremento de la potencia en el canal adyacente. En la figura siguiente se representa el galibo típico del canal de RF. En ordenadas se representa la atenuación relativa al nivel de portadora para las separaciones de frecuencias indicadas en abscisas también respecto de la frecuencia portadora.

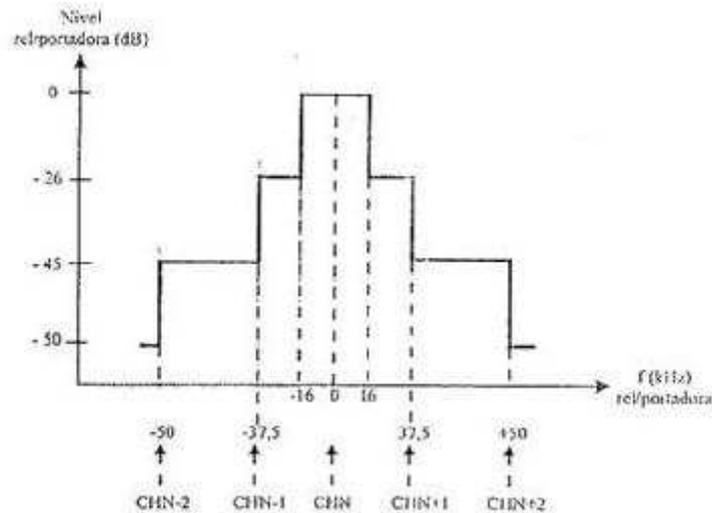


Figura 2.1 Galibo típico del canal RF [1]

Se observa que hay solapamiento con los canales adyacentes, por lo cual los planes celulares de frecuencia en TACS deben ser tales que no asignen canales adyacentes dentro de la misma célula.

### 2.1.3.4 SEÑALIZACIÓN

La señalización asociada a la llamada es fuera de banda. Se utiliza con cada llamada, para supervisión, uno de los tres tonos de 5.970-6.000-6030 Khz. que modulan en frecuencia la portadora con una desviación de  $\pm 1,7$  KHz. Asimismo, en ciertas fases de la llamada, se emplea el llamado *tono de señalización ST (signalling tone)* de 8 Khz. que se transmite con una desviación de frecuencia de  $\pm 2$  KHz. Como esta señalización va por canales de tráfico debe utilizar modulación analógica.

La transmisión de señalización por los canales SIG es de naturaleza digital. Se utiliza en banda base una codificación Manchester para facilitar la sincronización de bit. La modulación es FSK, con una velocidad de 8 kbits/s y una desviación de frecuencia de  $\pm 6,5$  KHz.

### 2.1.3.5 EQUIPO RADIO

Las características básicas del equipo radio son: Tolerancia de frecuencia  $\pm 1 \cdot 10^{-6}$  para la EB y  $\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$  para la MS (Terminal móvil). Los móviles deberán poder sintonizar todos los canales de las bandas TACS y ETACS.

Es conveniente el empleo de diversidad de recepción en la estación base para favorecer las comunicaciones del enlace ascendente. La sensibilidad de los receptores es igual a -116 dBm para una relación SINAD de 12 dB con ponderación sofométrica.

### 2.1.4. ARQUITECTURA DE LA RED TACS

La red TACS está constituida por las siguientes entidades básicas que se describen en orden jerárquico descendente:

*Centrales de conmutación de servicio móvil: MSC.* Denominadas también MTSO (Mobile Telecommunications Switching Offices), que están unidas por una parte a la red PSTN y por otra a las estaciones base EB.

*Unidades de conmutación remota: RSU (Remote Switching Units).* Son elementos intermedios de conexión de las EB con las MSC que se utilizan para los circuitos de tráfico, por conveniencia de encaminamiento. Las RSU no pueden intercambiar señalización con las EBs. Toda RSU depende de una MSC "tutora" y está controlada por ella.

*Estaciones Base: EB o en ingles BS ( Base Estation).* Se entiende por estación base el conjunto de equipos situados en una misma ubicación y que constituye la frontera de la interfaz radio o interfaz aérea AI (Air Interface) para el enlace con los móviles. Dentro de la BS deben distinguirse el controlador BSC (Base Station Controller) y los equipos transceptores de radio BTS (Base Transceivers).

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

*Células.* Una EB define una o más células según su característica de radiación. Si es omnidireccional establece una sola célula. Si es direccional constituye tantas células como sectores de radiación (generalmente 3 ó 6) y dispondrá de tantos equipos independientes como células haya.

*Terminales o equipos móviles.* MS de los tres vehículos estandarizados para este sistema: sobre vehículo, transportables y portátiles.

En la figura siguiente se representa esta arquitectura funcional de TACS.

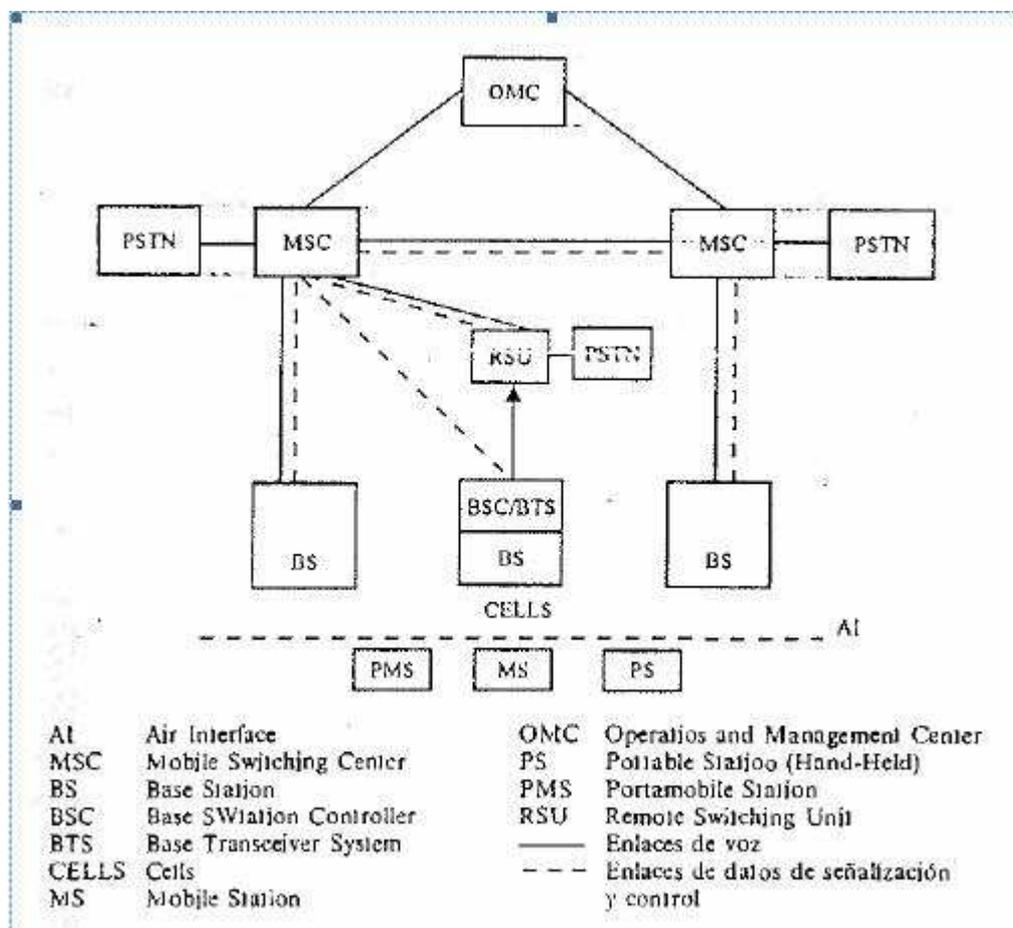


Figura 2.2 Arquitectura Funcional de TACS [1]

Fuera de la línea estrictamente funcional está el Centro de Operación y Mantenimiento, OMC (*Operation and Maintenance Center*) o centro de explotación que realiza funciones de supervisión y gestión de red, tanto en los aspectos puramente técnicos como en los administrativos.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

En asociación con las entidades de arquitectura se definen las siguientes áreas funcionales:

- Área de central, que es la superficie territorial controlada por una MSC.
- Área de localización, que es la zona donde puede ser localizada y avisada una MS
- Área de estación base/célula que corresponde a la zona de cobertura de una estación de base o célula, respectivamente. El área de EB no siempre es igual a la suma de áreas de células ya que las coberturas de células suelen tener cierto solapamiento mutuo.

La MSC ejecuta funciones propias de conmutación de la red móvil y realiza los encaminamientos hacia/ desde la PSTN. Dispone de unos registros o bases de datos denominadas HLR (Home Location Register) y VLR (Visitor Location Register).

Las MSC de una red TACS están interconectadas entre sí y con la PSTN mediante enlaces PCM (Pulse Code Modulation) de 2 Mbits/s. También tienen enlaces PCM de voz y señalización con las BS y las RSU y disponen, así mismo, de circuitos analógicos locales para enlaces de prueba.

Para la BS han de preverse tantos circuitos a 4 hilos como canales de tráfico haya en la estación más un enlace (duplicado) para señalización. Los encaminamientos entre la MSC y sus BS y la PSTN suelen hacerse por diversidad de rutas para mayor seguridad.

Todo el conjunto de enlaces entre las MSCs y la PSTN de una parte y las RSU y BS de otra se denomina genéricamente 'red fija' y requiere un minucioso estudio de dimensionamiento y seguridad de funcionamiento.

El HLR, registro de abonados domésticos, contienen los datos de los usuarios asignados a esa MSC en el momento del abono en función de su lugar de residencia. Aquí figuran, entre otros, el número de teléfono móvil del abonado, identificación de su terminal, tipo de abono, etc...

El VLR contiene los datos de los usuarios visitantes o transeúntes en la zona controlada por la MSC en cuestión. Cuando un abonado se registra como transeúnte en una MSC distinta de la habitual, porque se ha desplazado a otra localidad, la información de ese registró se transfiere y se copia en su HLR. Cualquier llamada dirigida al abonado se encamina al HLR. Analizando la información disponible en el HLR se sabe si el destinatario está en la zona de su MSC o es visitante de otra, en cuyo caso se reencaminará la llamada a la MSC visitada para su transferencia final al abonado.

Además de la localización y registro de los abonados, la MSC realiza también la asignación y gestión de los canales radio y coordina el traspaso de llamadas entre células de una misma BS, entre BS dependientes de ella o entre una BS suya y otra BS dependiente de cualquier MSC:

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

Por último, la MSC ejecuta importantes funciones relacionadas con la explotación como las de tarificación, generación de alarmas, diagnósticos, producción de estadísticas de tráfico y comunicación hombre-máquina.

Las principales funciones de las BS, estaciones base, son:

- Control de la interfaz radio.
- Recogida de datos de localización.
- Control de móviles.
- Retransmisión, con cambio de formato, de los mensajes de señalización.
- Asignación de los tonos de supervisión de audio.

Y por último, las funciones que las estaciones móviles tienen encomendadas son las siguientes:

- Selección del canal de control.
- Sintonización de los canales de tráfico.
- Marcación y aviso.
- Generalización del tono de señalización.

### 2.1.5 PLANIFICACIÓN E INGENIERIA DEL SISTEMA TACS

En este apartado se explican los parámetros básicos de planificación y diseño de la interfaz radio del sistema TACS que son elegibles por el ingeniero. También se comentará brevemente algunas de las características fundamentales de ingeniería de estaciones base y sistemas radiantes. Nos ocuparemos del tratamiento de las perturbaciones de ruido, desvanecimiento lento e interferencia.

Como TACS emplea la planificación celular en lo relativo a reutilización de frecuencias, control de interferencias y asignación de frecuencias (posteriormente se explicara en qué consiste la planificación celular) se presentaran de forma resumida los aspectos de dimensionamiento y elección de frecuencias.

#### 2.1.5.1 INFLUENCIA DEL RUIDO Y SU CONTROL.

Se deben considerar dos fuentes de ruido en la interfaz radio:

- Ruido interno de los receptores y elementos de conexión.
- Ruido artificial externo.

La tecnología actual permite fabricar receptores con factor de ruido muy pequeño por lo que el ruido interno es, en general, reducido. Aumenta, sin embargo, por el efecto de los elementos pasivos que conectan el receptor a la antena.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

El ruido artificial es de naturaleza impulsiva, con una relación entre valores de cresta y medios muy elevado. Aunque su densidad espectral de potencia disminuye con la frecuencia, aún puede ser notable su acción en la banda de 900MHz, sobre todo en el caso de receptores móviles en medio urbano, que están rodeados de estas fuentes de ruido. En cambio el receptor de estación base, aunque por su altura divisa más calles que un móvil y, por tanto, más fuentes de ruido, como estas son más distantes, la potencia de ruido captada por el receptor suele ser pequeña y, generalmente, puede despreciarse.

La potencia de ruido artificial,  $p_n$ , recibida en una antena en una anchura de banda  $b$ , se expresa mediante el factor de ruido de la antena  $f_a$  de forma que:

$$f_a = \frac{P_n}{kT_0b}$$

Donde  $k$  es la constante de Boltzmann y  $T_0$  la temperatura de referencia. Si suponemos un valor de  $T_0=290K$ , la expresión anterior quedaría de la siguiente manera:

$$F_a (dB) = P_n (dBm) + 174 - 10 \log b (Hz)$$

Los valores más usuales de  $F_a$  son los comprendidos en el intervalo de 9 a 12 dB para frecuencias del orden de 900 MHz

En general, la influencia del ruido artificial es mayor para la voz que para los mensajes de señalización ya que éstos tienen una elevada protección mediante sus códigos de control de errores y las tasas de llegadas de los impulsos de ruido son pequeñas comparadas con las velocidades de los bits de señalización.

En la planificación se tendrán en cuenta el ruido natural del receptor y sus elementos de conexión y el ruido artificial, cuando proceda, en forma de un factor de degradación  $D$  (dB), siendo los casos más comunes los receptores de estación base (existe elementos pasivos entre la antena y el receptor) y los receptores móviles (no existen elementos pasivos entre la antena y el receptor).

### 2.1.5.2 DESVANECIMIENTO LENTO

En cuanto al desvanecimiento lento, log-normal, el planificador elige un margen de funcionamiento (llamado margen log-normal) para tener una señal por encima del umbral en el  $L$  % de las ubicaciones más desfavorables (generalmente en el borde de la cobertura) de la célula. El margen es igual a:

$$M(L) = k(L) \cdot \sigma_L$$

Donde  $L$  es el porcentaje de ubicaciones,  $k(L)$  es la función inversa de la gaussiana acumulativa y  $\sigma_L$  la variación de la señal con las ubicaciones. Este porcentaje  $L$  es la cobertura perimetral. Empleando la fórmula de Jakes se puede obtener la cobertura zonal:

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

Donde:

$$x = \frac{k(P)}{\sqrt{2}}$$

$$y = 3,071 \cdot n / \sigma_L$$

$$k(P) = G^{-1}(1 - P/100)$$

Donde  $k(P)$  es la abscisa normalizada de una distribución gaussiana para el porcentaje  $P$  y  $n$  es el exponente de la ley de propagación.

Por tanto, el valor de planificación para la potencia de recepción en bornas de la antena receptora será:

$$P_r(\text{dBm}) = S(\text{dBm}) + D(\text{dB}) + M(L)(\text{dB})$$

### 2.1.5.3 INTERFERENCIAS

El efecto de la interferencia, en condiciones normales de funcionamiento, está controlado por la elección de la relación portadora/interferencia (C/I) adecuada. Sin embargo, si la señal deseada sufre un desvanecimiento y la interferente no, la relación C/I será inferior al umbral en esos periodos y, por, efecto de captura, aparecerá la interferente a la salida del receptor. También puede producirse un tono de batido entre las frecuencias de las señales portadora e interferente que, aunque nominalmente iguales, realmente son algo diferentes. El tono puede ser audible. Estos efectos son de muy breve duración cuando el desvanecimiento es Rayleigh. Para desvanecimiento lento, de tipo log-normal, se especificará en la planificación el porcentaje de ubicaciones en que se admite que la C/I este por debajo del umbral. En esos casos actuará también la protección SAT y se producirán micro cortes que entran dentro de lo admisible, a efectos de la calidad global de la comunicación.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

En la planificación TACS solía utilizarse un valor mínimo para la relación C/I en el borde nominal de la célula de 17 dB. Si la variabilidad con las ubicaciones de las señales deseadas e interferentes es  $\sigma_L = 6\text{dB}$ , la variabilidad de la relación C/I es  $6\sqrt{2} = 8,4\text{dB}$ , por lo que el valor medio de esta relación para una calidad del 90% será:

$$\left(\frac{C}{I}\right) = \left(\frac{C}{I}\right)_{\min} + 1,28 \cdot 8,4 = 27,7\text{dB}$$

El proyecto del subsistema radio del TACS se basa, al igual que lo hace posteriormente GSM, en la teoría celular. Para los canales de voz se eligen agrupaciones de 12 células omnidireccionales para aplicaciones rurales y 7 células trisectorizadas (configuración 7/21) o 4 células hexasectorizadas (configuración 4/24) para medios urbanos de gran densidad de tráfico. El canal de señalización suele ser único para cada EB y lo comparten en consecuencia todas las células que forman parte de esa estación. Por ello su pauta de reutilización es omnidireccional y la agrupación la forman 21 estaciones base, puesto que hay reservados 21 radiocanales SIG. (canal de señalización).

## 2.1.5.4 DIMENSIONAMIENTO.

Las estaciones de base se dimensionan mediante la fórmula Erlang B para una probabilidad de bloqueo  $P_B$  y un tráfico por abonado e determinados. En los primeros sistemas de PMT, se adoptaron valores  $P_B = 5\%$  y  $e = 25\text{mE}$ . Actualmente la tendencia de los operadores a ofrecer mayor calidad ha hecho reducir  $P_B = 2\%$ . Después del despliegue inicial se comprobó que la intensidad de tráfico por abonado es inferior al valor inicial supuesto, estando en torno 14-17 mE. Como en todos los sistemas de PMT, se parte de la densidad de tráfico por  $\text{km}^2$   $\rho$  (E/ $\text{km}^2$ ), de forma que si  $S$ , es el área de la célula, el número de radiocanales de voz será:

$$N = B^{-1}(\rho_n \cdot S_c \cdot \rho)$$

Donde  $B^{-1}$  es la fórmula Erlang-B inversa.

Asimismo deberá incluirse el radiocanal de señalización. En función del tráfico total de la estación base, deberán dimensionarse, también con la fórmula Erlang B, los enlaces que la conectan con la MSC o RSU, prestando especial cuidado, ya que de nada valdría gastar los recursos radioeléctricos en la interfaz radio si existe congestión en la red fija. Para minimizar las pérdidas de llamadas en esta parte de la red, los circuitos de señalización suelen ser redundantes (1+1) y se debe emplear diversidad de rutas tanto para ellos como para los de voz.

### 2.1.5.5 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS

La asignación de frecuencias debe regirse por una serie de normas que son consecuencia de la amplia desviación de frecuencia utilizada en la modulación FM, de los requisitos impuestos por la ingeniería de conexión de transmisores y por la metodología celular.

Las normas básicas de asignación son:

- 1) En las células de una misma BS no se utilizaran canales adyacentes.
- 2) A ser posible, no se usaran canales adyacentes de voz en células contiguas.
- 3) No se asignarán canales SIG adyacentes en células contiguas.
- 4) Los canales correspondientes a transmisores combinados en una misma antena deberán mantener entre sí una separación mínima de 24 o más canales si se usan combinadores de cavidades.
- 5) Siempre que sea posible se procurará seguir un patrón de asignación celular inspirado en la matriz asignación y teniendo en cuenta la matriz de colindancia.<sup>5</sup>
- 6) Cuando se dispongan de series regulares de frecuencias y/o como alternativa o complemento se utilizara el método heurístico, definiendo previamente la matriz de compatibilidad.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Para más información sobre matriz de colindancia consultar el apartado 6.10.3 de Comunicaciones Móviles de J.M. Hernando Rábanos

<sup>6</sup> Para mas información sobre método heurístico consultar el apartado 6.10.4 de Comunicaciones Móviles de J.M. Hernando Rábanos

## 2.2. ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA

Basándonos en el apartado anterior, nos adentramos en las comunicaciones móviles digitales, que suponen un avance sobre las comunicaciones analógicas como se podrá observar una vez finalizado este capítulo.

Actualmente conviven tres principales sistemas de comunicaciones móviles, GSM, GPRS Y UMTS. Cada uno de ellos supone una mejora respecto al anterior, incluyendo nuevas técnicas y servicios que explicaremos a continuación brevemente para luego centrarnos en nuestro sistema en concreto, GSM.

### 2.2.1 PANORAMA GENERAL DE GSM

#### 2.2.1.1 UN POCO DE HISTORIA

GSM es un sistema de comunicación basado en el uso de células digitales que se desarrolló para crear un sistema para móviles único que sirviese de estándar para Europa y que fuese compatible con los servicios existentes y futuros sobre ISDN (Integrated Services Digital Network) o RDSI (Red Digital de Servicios Integrados). La situación que se vivía en estos primeros años de la década de los 80 era curiosa ya que los sistemas existentes hasta ese momento eran sistemas analógicos (la primera generación como se la conoce en la que los sistemas predominantes eran el NMT-450 y NMT-900 y en EEUU el sistema AMPS que se adaptó a Europa como sistema TACS) que habían tenido mucho éxito en los países nórdicos y en el Reino Unido sin embargo la nueva tecnología digital basada en células presentaba un panorama un tanto desolador, ya que cada país había desarrollado su propio sistema, lo que implicaba algunos problemas muy importantes y que ya podéis imaginaros; por un lado tenemos que la operatividad del terminal acababa donde acababa los límites de cada país y por otro lado el mercado para cada tipo de terminal era muy limitado y estaba restringido al país en donde el dispositivo fuese a ser utilizado.

Para solucionar estos problemas en el año 1982 el CEPT o Conference of European Posts and Telecommunications creó el denominado Groupe Special Mobile o GSM para desarrollar un sistema basado en células de radio y que sirviesen para todos los países europeos, en el cuadro 1 se enumeran los objetivos que se perseguían en este grupo. En el año 1989 todas las responsabilidades que había tenido hasta ahora el CEPT se traspasan al European Telecommunications Standards Institute o ETSI (<http://www.etsi.org>), que va a ser el encargado de regular desde este momento todos los aspectos de las comunicaciones a través de GSM, los primeros sistemas comerciales basados en esta nueva red aparece en el año 1991, en el cuadro 2 se expone el orden cronológico exacto de los acontecimientos que derivaron en el GSM que todos conocemos actualmente.

- Mejora en la eficiencia del espectro
- Capacidad de hacer un roaming internacional de una manera automática.
- Costes bajos.
- Alta calidad de la voz transmitida.
- Compatibilidad con otros sistemas.
- Posibilidad de ir añadiendo nuevos servicios a medida que se fuesen requiriendo

Cuadro 1. Objetivos del CEPT para GSM

**Año – Suceso**

1982 -El CEPT crea el grupo GSM  
 1985 -Primera recomendaciones del grupo GSM  
 1986 -Primeras pruebas de radio sobre GSM  
 1987 -Se elige el sistema TDMA como técnica de acceso al medio  
 1988 -Se valida el sistema GSM  
 1989 -Se traspasa GSM del CEPT al ETSI  
 1989 -Primeras especificaciones sobre GSM para desarrollar productos comerciales  
 1990 -Lanzamiento de GSM a nivel comercial  
 1991 -Inclusión de GSM en ciudades y aeropuertos  
 1993 -Cobertura de GSM en autopista e inicio de su uso fuera de Europa  
 1995 -Cobertura de áreas rurales

Cuadro 2. Cronología GSM

Hoy en día GSM es un estándar que no es utilizado solamente en Europa ya que actualmente es usado en casi cien países en todo el mundo y el número de usuarios que hacen uso de él se ha venido duplicando de año en año. De igual modo el número de servicios que se han ido desarrollando sobre GSM han ido evolucionando con el paso del tiempo, los servicios que se van incorporando a GSM se llevan a cabo por el Memorandum of Understanding (MoU) que viene a ser como un subgrupo encargado de estos temas, el MoU ha definido tres tipos de categorías de servicios que pueden ofrecerse sobre una red GSM.

Las tres categorías de servicios sobre GSM son: teleservicios que engloban a los servicios básicos de telefonía; los servicios portadores que son los usados para la transmisión y recepción de datos; y los servicios complementarios generalmente extensiones de los teleservicios y que proporcionan nuevas características a la red GSM. En la siguiente tabla podéis ver algunos ejemplos característicos de cada grupo:

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

<b>Teleservicios</b>	Telefonía	Llamadas de emergencia	Short Messaging Services (SMS)	Servicios de Fax y Voz
<b>Servicios Portadores</b>	Transmisión síncrona y asíncrona de datos			
<b>Servicios Complementarios</b>	Llamada en espera	Llamadas múltiple	Identificación de llamada	

## 2.2.1.2 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS CELULARES

Hemos dicho que GSM es un sistema basado en células de radio, vamos a ver qué significa esto así como las diferentes organizaciones que surgen de una idea en principio muy simple.

Los sistemas celulares se basan en la división del área de cobertura de un operador en lo que se denomina células (cells), estas células se caracterizan por su tamaño que viene determinado por la potencia del transmisor pero de un modo muy particular ya que lo que se persigue siempre en los sistemas celulares es que la potencia de transmisión sea lo más baja posible a fin de poder reutilizar el mayor número de frecuencias. El porqué de tener el mayor número de frecuencias disponibles tiene que ver con que a mayor número de frecuencias libres mayor es el número de usuarios que pueden hacer uso del sistema ya que cada uno puede usar una frecuencia sin interferir en la de otro usuario (realmente no se utiliza una frecuencia por usuario pero la idea general es esta). De este modo todas las bandas de frecuencias se distribuyen sobre las células a lo largo del área de cobertura del operador de manera que todos los canales de radio se encuentran disponibles para ser usados en cada grupo de células (clusters) lo cual no sucedería si se produjese una emisión de la señal con una potencia superior ya que se podría interferir en otras células adyacentes interfiriendo en las frecuencias disponibles. Como podéis imaginar la distancia que debe existir entre dos células debe ser lo suficientemente grande como para que no se produzca interferencia entre ellas, hay que decir también que hay determinados canales que se reservan para labores de señalización y control de toda la red.

Todo lo explicado anteriormente se resume en dos condiciones que las células deben de verificar para que este sistema funcione:

- 1.- Por un lado el nivel de potencia del transmisor debe de ser el mínimo para reducir las interferencias con los transmisores de las células vecinas.
- 2.- Las células vecinas no pueden compartir los mismos canales, el motivo es similar al anterior, reducir el nivel de interferencias

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

Las células se unen las unas a las otras mediante cable (lo más normal) o bien mediante radio enlaces así como con la red telefónica fija.

Una vez que tenemos claro el concepto de célula el siguiente nivel de organización que existe en GSM es el de cluster, que no es más que un conjunto de células agrupadas entre sí, estos clusters suelen agrupar conjuntos de 4, 7, 12 o 21 células distintas que se distribuyen por todo el área de cobertura del operador

## 2.2.1.2.1 TIPOS DE CELULAS

En GSM se distinguen cuatro tipos diferentes de células. Son las siguientes:

**Macro células** (Macrocells): Son células de gran tamaño utilizadas en áreas de terreno muy grandes y donde la distancia entre áreas pobladas es muy distantes entre sí.

**Micro células** (Microcells): Se utilizan por el contrario en áreas donde hay una gran densidad de población, el objetivo al hacer esto es el que comentábamos antes cuando describíamos que era una célula, a mayor número de células mayor número de canales disponibles que pueden ser utilizados por más usuarios simultáneamente.

**Células selectivas** (Selectived Cells): En muchas ocasiones no interesa que una célula tenga una cobertura de 360 grados sino que interesa que tenga un alcance y un radio de acción determinado, en este caso es donde aparecen las células selectivas, el caso más típico de células de este tipo son aquellas que se disponen en las entradas de los túneles en los cuales no tiene sentido que la célula tenga un radio de acción total (360 grados) sino un radio de acción que vaya a lo largo del túnel.

**Células Paraguas** (Umbrella Cells): Este tipo de células se utilizan en aquellos casos en los que tenemos un elevado número de células de tamaño pequeño y continuamente se están produciendo cambios (handovers) del terminal de una célula a otra (más adelante veremos que es el handover más detalladamente) para evitar que suceda esto lo que hacemos es agrupar conjuntos de microcélulas de modo que aumentamos la potencia de la nueva célula formada y podemos reducir el número de handovers que se producen.

## 2.2.1.2.2 ARQUITECTURA DE UNA RED GSM

Todas las redes GSM se pueden dividir en cuatro partes fundamentales y bien diferenciadas:

**1.- La Estación Móvil o Mobile Station (MS):** Consta a su vez de dos elementos básicos que debemos conocer, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado el SIM o Subscriber Identity Module. Con respecto a los terminales poco tenemos que decir ya que los hay para todos los gustos, lo que si tenemos que comentar es que la diferencia entre unos y otros radica fundamentalmente en la potencia que tienen que va desde los 20 vatios (generalmente instalados en vehículos) hasta los 2 vatios de nuestros terminales.

El SIM es una pequeña tarjeta inteligente que sirve para identificar las características de nuestro terminal. Esta tarjeta se inserta en el interior del móvil y permite al usuario acceder a todos los servicios que haya disponibles por su operador, sin la tarjeta SIM el terminal no nos sirve de nada porque no podemos hacer uso de la red. La SIM está

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

protegida por un número de cuatro dígitos que recibe el nombre de PIN o Personal Identification Number. La mayor ventaja de las tarjetas SIM es que proporcionan movilidad al usuario ya que puede cambiar de terminal y llevarse consigo la SIM aunque todos sabemos que esto en la práctica en muchas ocasiones no resulta tan sencillo. Una vez que se introduce el PIN en el terminal, el terminal va a ponerse a buscar redes GSM que estén disponibles y va a tratar de validarse en ellas, una vez que la red (generalmente la que tenemos contratada) ha validado nuestro terminal el teléfono queda registrado en la célula que lo ha validado.

**2.- La Estación Base o Base Station Subsystem (BSS):** Sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Como los MS también constan de dos elementos diferenciados: La Base Transceiver Station (BTS) o Base Station y la Base Station Controller (BSC). La BTS consta de transceivers y antenas usadas en cada célula de la red y que suelen estar situadas en el centro de la célula, generalmente su potencia de transmisión determinan el tamaño de la célula.

Los BSC se utilizan como controladores de los BTS y tienen como funciones principales las de estar al cargo de los handovers, los frequency hopping y los controles de las frecuencias de radio de los BTS.

**3. El Subsistema de Conmutación y Red o Network and Switching Subsystem (NSS):** Este sistema se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red; para poder hacer este trabajo el NSS se divide en siete sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red:

- *Mobile Services Switching Center (MSC):* Es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes.
- *Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC):* Un gateway es un dispositivo traductor (puede ser software o hardware que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. La misión del GMSC es esta misma, servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM
- *Home Location Registrar (HLR):* El HLR es una base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a un determinado MSC. Entre la información que almacena el HLR tenemos fundamentalmente la localización de el usuario y los servicios a los que tiene acceso. El HLR funciona en unión con el VLR que vemos a continuación.
- *Visitor Location Registrar (VLR):* contiene toda la información necesaria sobre un usuario necesaria para que dicho usuario acceda a los servicios de red. Forma parte del HLR con quien comparte funcionalidad.
- *Authentication Center (AuC):* Proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encarga de soportar funciones de encriptación.
- *Equipment Identity Registrar (EIR):* También se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene los International Mobile Equipment Identity o IMEI de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

- *GSM Interworking Unit (GIWU)*: sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

**4. Los Subsistemas de soporte y Operación u Operation and Support Subsystem (OSS):** Los OSS se conectan a diferentes NSS y BSC para controlar y monitorizar toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado que el número de BSS se está incrementando se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en los BTS de modo que se reduzcan los costes de mantenimiento del sistema.

En la siguiente figura se observa un pequeño esquema de lo que hemos contado hasta ahora :

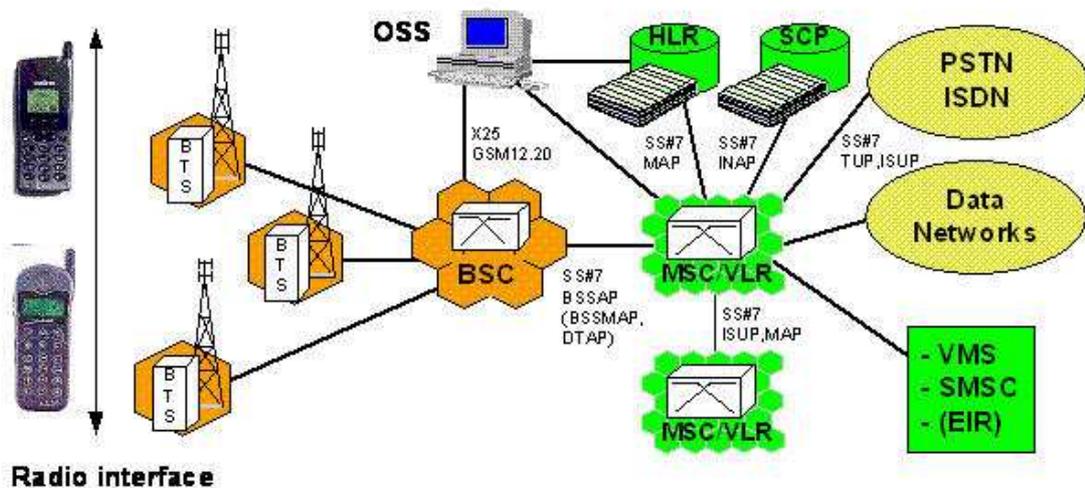


Figura 2.3 Esquema de red GSM [19]

## 2.2.1.2.3 ROAMING Y HAND-OVER

Una vez vista la arquitectura de red que tenemos en GSM vamos a ver dos aspectos que son fundamentales dentro del funcionamiento normal de una red GSM, nos referimos al roading<sup>7</sup> y al handover<sup>8</sup>.

En los apartados anteriores se definió que una red GSM se fundamenta en lo que hemos llamado célula y también comentábamos que una vez que introducíamos nuestro PIN en el terminal se procedía a buscar una red donde ser validado. Estos dos aspectos conllevan una serie de consecuencias que son las que van a originar el roaming y el hand-over.

<sup>7</sup> Roaming, aunque se trata de un anglicismo a lo largo de este texto se utilizara para referirnos a lo que en español se llamaría 'itinerancia' porque el término inglés es mucho más conocido.

<sup>8</sup> Handover también se utilizara este término en el texto, en lugar de 'traspaso' ya que el anglicismo es el término más conocido en este campo.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

¿Qué se entiende por roaming? El roaming se produce siempre que nos estamos validando dentro de la red GSM y el terminal no es capaz de encontrar la red en la cual somos clientes; esto pasa fundamentalmente cuando salimos de viaje al extranjero, donde existe la red, pero no es la de nuestro operador; en este caso, el roaming consiste en la utilización de la red que se encuentre disponible y con la que nuestro operador tiene un acuerdo de colaboración. De este modo, podemos seguir conectados con nuestro móvil a la red independientemente de que estemos fuera del alcance de nuestro operador habitual. Existe un problema con el roaming que tenemos que tener en cuenta y es que cuando nuestro terminal se encuentra en roaming sucede que en el caso de que alguien nos llame, el coste de la llamada se divide de manera que la persona que nos llama paga la parte nacional de la llamada y nosotros corremos con los gastos de la parte internacional; esto es debido a que en el roaming nuestro operador no sabe de antemano donde nos encontramos, ya que estamos en una red que no le pertenece y por tanto no puede establecer la tarifa que debe aplicar.

El concepto de handover tampoco es complicado y consiste en la transición que se produce cuando pasamos del rango de acción de una célula al rango de acción de otra. Esto se produce sobre todo cuando viajamos. El hand-over, por tanto, es el responsable de mantener el servicio de manera constante y de que las transiciones entre una célula y otra sean lo suficientemente pequeñas como para pasar desapercibidas por los usuarios.

Hay distintos tipos de hand-over en función de las células que intervengan en el proceso. Según esto podemos hablar de cuatro tipos diferentes de hand-over, que pueden producirse:

- hand-over de canales en la misma célula
- hand-over de células controladas por el mismo BSC
- hand-over de células que pertenecen al mismo MSC, pero controladas por diferentes BSC
- hand-over de células de diferentes MSC

#### 2.2.1.2.4 GSM Y LOS RADIO ENLACES

Hasta ahora, hemos estado viendo como es la red de GSM, pero no hemos dicho nada sobre otro elemento que forma parte de la red y que no podemos olvidar, ya que resulta fundamental para el funcionamiento del sistema. Nos referimos a los radio enlaces.

A través de la interfaz de radio, se produce la comunicación entre los dispositivos móviles y las infraestructuras fijas que hay en las células. En GSM se han especificado dos bandas de frecuencia para poder ser usadas y con dos fines distintos:

- Por un lado, tenemos la banda de los 890-915 MHz, que se utiliza para transmitir desde la estación móvil a la estación base
- Por otro lado tenemos la banda de los 935-960 MHz, para transmitir en el sentido contrario, es decir, desde la estación base a la estación móvil.

Hay que señalar que de estas dos bandas de frecuencias (en total tenemos 25MHz en cada banda de frecuencias), no se pueden usar todas, ya que algunas se encuentran no disponibles por motivos militares y por compatibilidad con algunos sistemas analógicos anteriores al GSM.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

Estas bandas de frecuencia, son utilizadas para mantener diferentes comunicaciones simultáneas; hay dos mecanismos fundamentalmente utilizados para poder proporcionar acceso múltiple a un medio limitado, como son las frecuencias. Estos dos mecanismos se denominan FDMA o Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por división de Frecuencia) y TDMA o Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo). En el caso de FDMA a cada usuario se le asigna una frecuencia de manera que el máximo número de usuarios que pueden usar el sistema viene determinado por el máximo número de frecuencias disponibles. Mediante TDMA lo que se hace es que diferentes usuarios pueden utilizar el mismo canal; para ello, a cada usuario se le asigna un determinado tiempo en el cual puede hacer uso del canal. Realmente, esto es un poco más complicado, como veremos a continuación.

TDMA se usa en los sistemas GSM sobre la estructura de FDMA, de la manera siguiente:

A los 25 MHz de banda de frecuencias se divide en 125 partes denominadas frecuencias transportadoras, las cuales se encuentran separadas unas de otras por una frecuencia intermedia de 200 KHz; de las 125 frecuencias transportadoras (portadoras), una de ellas (generalmente la primera) se utiliza para comunicar GSM con servicios de baja frecuencia, por lo que de las 125, realmente solo 124 van a estar disponibles en todo momento. Posteriormente, cada frecuencia transportadora se divide siguiendo el esquema de TDMA en aproximadamente espacios de 0.577 ms, que son asignados a un usuario en particular.

### 2.2.1.2.5 MODULACIÓN GMSK

En la búsqueda de un esquema de modulación con la condición de tener un compromiso aceptable entre ambos parámetros, la comunidad GSM decidió usar la modulación GMSK ( Gaussian Minimum Shift Keying) con la propiedad  $B^*T = 0,3$ .

“Gaussian” se basa en filtrar la señal modulada en un intervalo límite (dominio del tiempo) con el que se garantiza un ancho de banda limitado en el dominio de la frecuencia.

“Minimum Shift Keying” es un esquema de modulación basado en una trayectoria continua de fase continua (sin saltos repentinos de la vector señal)

La combinación de ambos permite que GSM alcance un velocidad de modulación de 271 Kb/s aprox. Con un ancho de banda para la modulación de 162 kHz ( permitiendo un espaciado entre canales de 200kHz.)

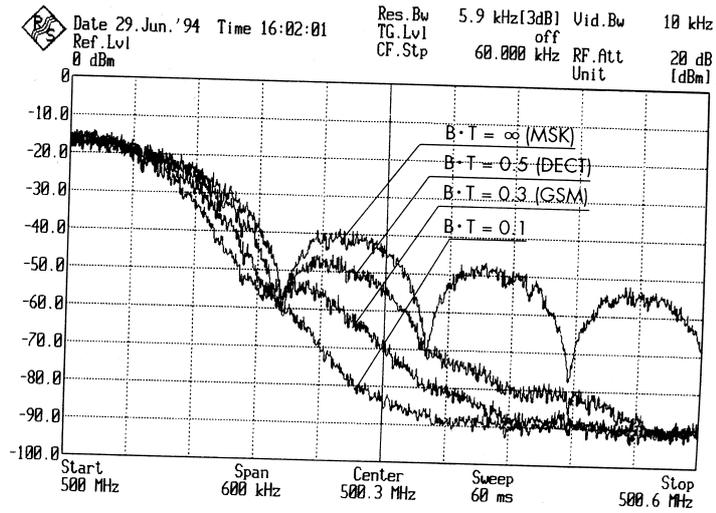


Figura 2.4 Espectro de la modulación digital [1]

### 2.2.2 GPRS

General Packet Radio Service o GPRS es una tecnología digital de telefonía móvil. Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación (GSM) y la tercera (UMTS). Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet) y se utiliza en las redes GSM.

GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado) a la conmutación de paquetes.

Desde el punto de vista del Operador de Telefonía Móvil es una forma sencilla de migrar la red desde GSM a una red UMTS puesto que las antenas (la parte más cara de una red de Telecomunicaciones móviles) sufren sólo ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para GPRS serán compartidos en el futuro con la red UMTS.

GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos. Los *timeslots* (intervalos de tiempo) se asignan en GSM generalmente mediante una conexión conmutada, pero en GPRS los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la demanda. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios.

Que la conmutación sea por paquetes permite fundamentalmente la compartición de los recursos radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información, todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red, de forma que mientras que en GSM sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, pasando de velocidades de 9,6 Kbps en GSM a 40 Kbps en recepción en GPRS y 20 Kbps de transmisión.

Otra ventaja de la conmutación de paquetes es que, al ocuparse los recursos sólo cuando se transmite o recibe información, la tarificación por parte del operador de telefonía móvil sólo se produce por la información transitada, no por el tiempo de conexión. Esto hace posible aplicaciones en la que un dispositivo móvil se conecta a la red y permanece conectado durante un periodo prolongado de tiempo sin que ello afecte en gran medida a la cantidad facturada por el operador.

Los teléfonos GPRS pueden llevar un puerto bluetooth, IrDA, o conexión por cable para transferir datos al ordenador, cámaras digitales, móviles u otros dispositivos.

### 2.2.3 UMTS

UMTS, siglas que en inglés hace referencia a los Servicios Universales de Telecomunicaciones Móviles, es miembro de la familia global IMT-2000 del sistema de comunicaciones móviles de “tercera generación” de UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), y lo que se explica más adelante sobre UMTS y los servicios UMTS es igualmente válido para otros miembros de la familia IMT-2000 (norma de telefonía móvil para 3G).

UMTS tiene un papel protagónico en la creación del mercado masivo para las comunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad que alcanzarán a 2000 millones de usuarios en todo el mundo en el año 2010. UMTS es la plataforma de prestaciones móviles preferida para los servicios y aplicaciones con gran contenido del mañana. En los últimos años, UMTS ha sido objeto de intensos esfuerzos de investigación y desarrollo en todo el mundo, y cuenta con el apoyo de numerosos e importantes fabricantes y operadores de telecomunicaciones ya que representa una oportunidad única de crear un mercado masivo para el acceso a la Sociedad de la Información de servicios móviles altamente personalizados y de uso fácil.

UMTS busca basarse y extender las actuales tecnologías móviles, inalámbricas y satelitales proporcionando mayor capacidad, posibilidades de transmisión de datos y una gama de servicios mucho más extensa, usando un innovador programa de acceso radioeléctrico y una red principal mejorada.

#### 2.2.3.3 SERVICIOS DE UMTS

Apropiado para una variedad de usuarios y tipos de servicios, y no solamente para usuarios muy avanzados en aglomeraciones urbanas, UMTS ofrece:

- **Facilidad de uso y costes bajos**

Los clientes quieren ante todo servicios útiles, terminales simples y una buena relación calidad-precio. UMTS proporciona:

- Servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios.
- Terminales y otros equipos de “interacción con el cliente” para un fácil acceso a los servicios.
- Bajos costos de los servicios para asegurar un mercado masivo.
- Tarifas competitivas.
- Una amplia gama de terminales con precios accesibles para el mercado masivo, soportando simultáneamente las avanzadas capacidades de UMTS.

- **Nuevos y mejores servicios**

Los servicios vocales mantendrán una posición dominante durante varios años. Los usuarios exigirán a UMTS servicios de voz de alta calidad, junto con servicios de datos e información de avanzada calidad. Las proyecciones muestran una base de abonados de servicios multimedia en fuerte crecimiento hacia el año 2010, lo que posibilita también servicios multimedia de alta calidad en áreas carentes de estas posibilidades en la red fija.

- **Acceso rápido**

UMTS aventaja a los sistemas móviles de segunda generación (2G) por su potencial para soportar velocidades de transmisión de datos de hasta 2Mbit/s desde el principio. Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia.

- **Transmisión de paquetes de datos y velocidad de transferencia de datos ha pedido**

La mayoría de los sistemas celulares utilizan tecnología de conmutación de circuitos para la transferencia de datos. GPRS (Servicios de Radiotransmisión de Paquetes de Datos Generales), una extensión de GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), ofrece una capacidad de conmutación de paquetes de datos de velocidades bajas y medias. UMTS integra la transmisión de datos en paquetes y por circuitos de conmutación de alta velocidad a los beneficios de:

- Conectividad virtual a la red en todo momento
- Formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, ancho de banda asimétrico de enlace ascendente/descendente) según lo requieran los variados servicios de transmisión de datos que están haciendo su aparición

UMTS también ha sido diseñado para ofrecer velocidad de transmisión de datos a pedido, lo que combinado con la transmisión de paquetes de datos, hará que el funcionamiento del sistema resulte mucho más económico.

- **Entorno de servicios amigable y consistente**

Los servicios UMTS se basan en capacidades comunes en todos los entornos de usuarios y radioeléctricos de UMTS. Al hacer uso de la capacidad de roaming desde su red hacia la de otros operadores UMTS, un abonado particular experimentará así

un conjunto consistente de “sensaciones” como si estuviera en su propia red local (“Entorno de Hogar Virtual” o VHE). VHE asegurará la entrega de todo el entorno del proveedor de servicios, incluyendo por ejemplo, el entorno de trabajo virtual de un usuario corporativo, independientemente de la ubicación o modo de acceso del usuario (por satélite o terrestre). Asimismo, VHE permitirá a las terminales gestionar funcionalidades con la red visitada, posiblemente mediante una bajada de software, y se proveerán servicios del tipo “como en casa” con absoluta seguridad y transparencia a través de una mezcla de accesos y redes principales.

#### o **Acceso Radio**

UTRA, el sistema de acceso radioeléctrico de UMTS, soportará las operaciones con una alta eficiencia espectral y calidad de servicio. Posiblemente los terminales UMTS no puedan operar en todo momento a las velocidades más altas de transmisión de datos, y en áreas alejadas o excesivamente congestionadas los servicios del sistema pueden llegar a soportar solamente velocidades de transmisión de datos más bajas debido a limitaciones de propagación o por razones económicas.

Con el fin de permitir a los abonados usar siempre su terminal, los servicios serán adaptables a diferentes disponibilidades de velocidad de transmisión de datos y otros parámetros de Calidad de Servicio (QoS). En las primeras etapas del despliegue de UMTS, la cobertura está siendo limitada. Por consiguiente, el sistema UMTS permitirá el roaming con otras redes, por ejemplo, un sistema GSM operado por el mismo operador o con otros sistemas GSM o de 3G de otros operadores, incluyendo los satélites compatibles con UMTS.

### 2.2.3.2 FRECUENCIAS

De acuerdo con la resolución “WARC-92<sup>9</sup> frecuencias para IMT-2000” :” las bandas de 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz están destinadas para el uso, a nivel mundial, por los gobiernos que deseen implementar IMT-2000” . Este uso no excluye el uso de de estas bandas por otros servicios asignado es estas frecuencias”.

A continuación se explica brevemente el uso de las diferentes bandas de frecuencias:

- **1920-1980 y 2110-2170 MHz** Dúplex por División de Frecuencia (FDD, W-CDMA) Emparejados los canales ascendentes y descendentes, cada canal tiene un ancho de banda de 5MHz y una separación entre canales de 200Khz. Un operador necesita 3 ó 4 canales (2x15 MHz o 2X 20MHz) para poder construir una red de alta velocidad y capacidad.

---

<sup>9</sup> WARC-92: World Administrative Radio Conference of 1992

2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

- **1900-1920 y 2010-2025 MHz** Dúplex por División el en tiempo (TDD, TD/CDMA) No emparejados, canales con un ancho de banda de 5 MHz y una separación de 200 KHz. La transmisión y recepción no están separados en frecuencia.
- **1980-2010 y 2170-2200 MHz**, enlaces ascendente y descendente para comunicaciones vía Satélite.

La frecuencia portadora se designa por un UARFCN ( UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number). La fórmula general que relaciona la frecuencia con el UARFCN es:

$$\text{UARFCN} = 5 * (\text{frequency in MHz})$$

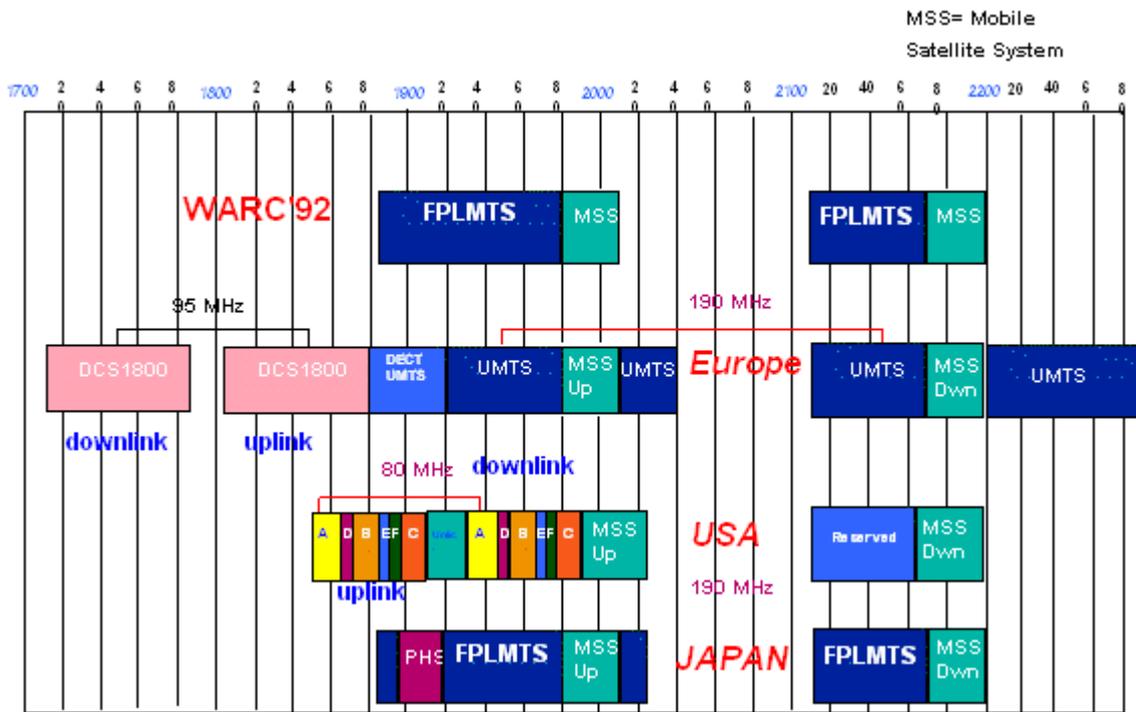


Figura 2.5 Frecuencias WARC-92 IMT-2000 [20]

También se definieron los siguientes aspectos de UMTS:

- Se identificó las bandas 1710-1885 y 2500- 2690 MHz
- Se identificó la banda de 806 a 960 MHz, en la cual se localiza los servicios en su primera base.

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

- Se decidió que las bandas de frecuencias 1525 - 1544, 1545 - 1559, 1610 - 1626.5, 1626.5 - 1645.5, 1646.5 - 1660.5 y 2483.5 - 2500 MHz por el componente satélite de IMT-2000, tanto como las bandas 2500 - 2520 MHz y 2670- 2690 MHz , dependiendo del desarrollo del mercado.
- Las bandas o porciones de las bandas 1710-1885 MHz y 2500-2690MHz se identifican para el uso que las administraciones deseen implementar. Esta identificación no excluye el uso de esas bandas por cualquier aplicación de los servicios para los cuales se asignaron y no se establecen prioridades en las Regulaciones Radio.

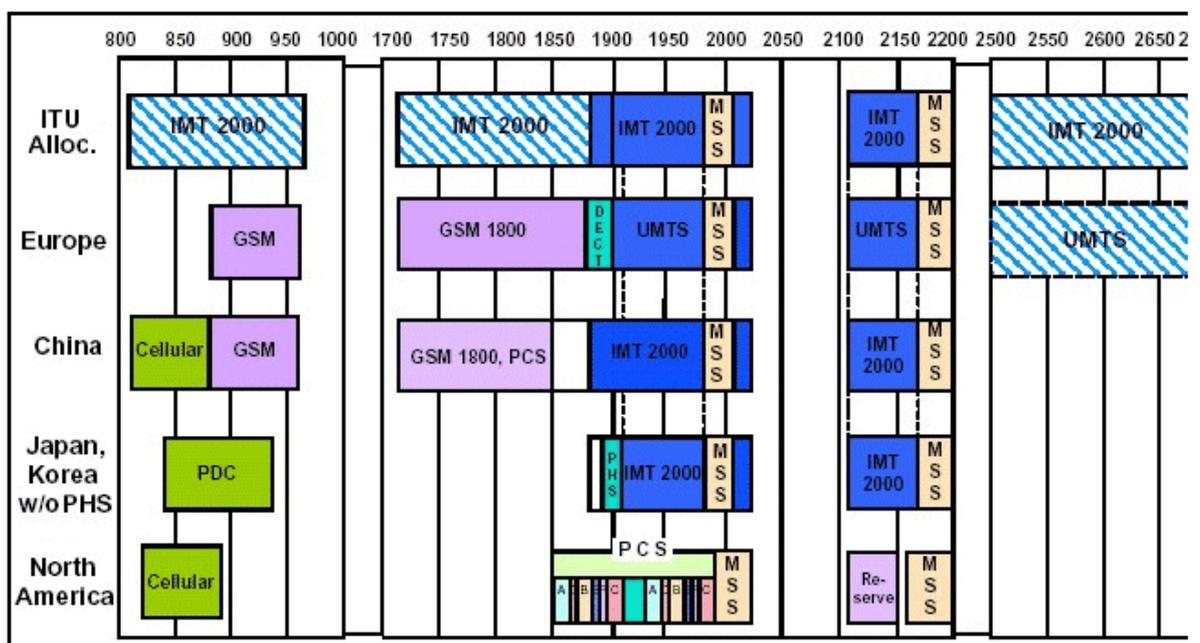


Figura 2.6 Frecuencias WRC-2000<sup>10</sup> IMT-2000 [21]

Según la especificación TS 25.101:

Banda de operación	Frecuencias Ascendentes( UL)	Frecuencias Descendentes (DL)
	EU transmite, Nodo B recibe	EU recibe, Nodo B transmite
I	1920-1980 MHz	2110-2170 MHz
II	1850-1910 MHz	1930-1990 MHz
III	1710-1785MHz	1805-1880 MHz

Bandas de frecuencia UTRA FDD

<sup>10</sup> WRC-2000: World Radiocommunications Conference 2000

Banda de operación	Separación de frecuencias TX-RX
I	190MHz
II	80MHz
II	95MHz

Separación de frecuencias TX-RX

	UARFCN	FRECUENCIA PORTADORA (MHz)
ASCENDENTE	$N_u = 5 * F_{uplink}$	$0.0 \text{ MHz} \leq F_{uplink} \leq 3276.6 \text{ MHz}$ donde $F_{uplink}$ es la frecuencia descendente en MHz
DESCENDENTE	$N_d = 5 * F_{downlink}$	$0.0 \text{ MHz} \leq F_{downlink} \leq 3276.6 \text{ MHz}$ donde $F_{downlink}$ es la frecuencia ascendente en MHz

Definición de UARFCN

	UARFCN	FRECUENCIA PORTADORA (MHz)
ASCENDENTE	$N_u = 5 * (F_{uplink} - 1850.1 \text{ MHz})$	$F_{uplink} = 1852.5, 1857.5, 1862.5, 1867.5, 1872.5, 1877.5, 1882.5, 1887.5, 1892.5, 1897.5, 1902.5, 1907.5$
DESCENDENTE	$N_d = 5 * (F_{downlink} - 1850.1 \text{ MHz})$	$F_{downlink} = 1932.5, 1937.5, 1942.5, 1947.5, 1952.5, 1957.5, 1962.5, 1967.5, 1972.5, 1977.5, 1982.5, 1987.5$

Definición de UARFCN (II Banda: Canales Adicionales)

Banda de operación	Frecuencias Ascendentes (UL) EU transmite, Nodo B recibe	Frecuencias Descendentes (DL) EU recibe, Nodo B transmite
I	9612 a 9888	10562 a 10838

II	9262 a 9538 y 12,37,62,87,112,137, 162,187,212, 237,262,287	9662 a 9938 y 412,437,462,487,512,537,562,587,612, 637,662,687
III	8562 a 8913	9037 a 9388

UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number (UARFCN)

### 2.2.3.3 CDMA

A continuación se enumeran las principales características de la técnica de acceso CDMA:

#### ESQUEMA DE ACCESO

Para el subsistema radio hay dos recursos: frecuencia y tiempo: División por frecuencia, de manera que a cada par de comunicadores (ascendente/ descendente) se le asigna parte del espectro para todo el tiempo, que da como resultado Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA). División por tiempo, de manera que a cada par de comunicadores (ascendente/ descendente) se le asigna todo ( o al menos una gran parte ) del espectro para parte del tiempo, lo que resulta Acceso Múltiple por División en Tiempo (TDMA). En Acceso Múltiple por División en Código (CDMA), todos los comunicadores ( ascendente/ descendente se les asigna es espectro entero para todo el espacio de tiempo, se basa en el uso de códigos para identificar las diferentes conexiones

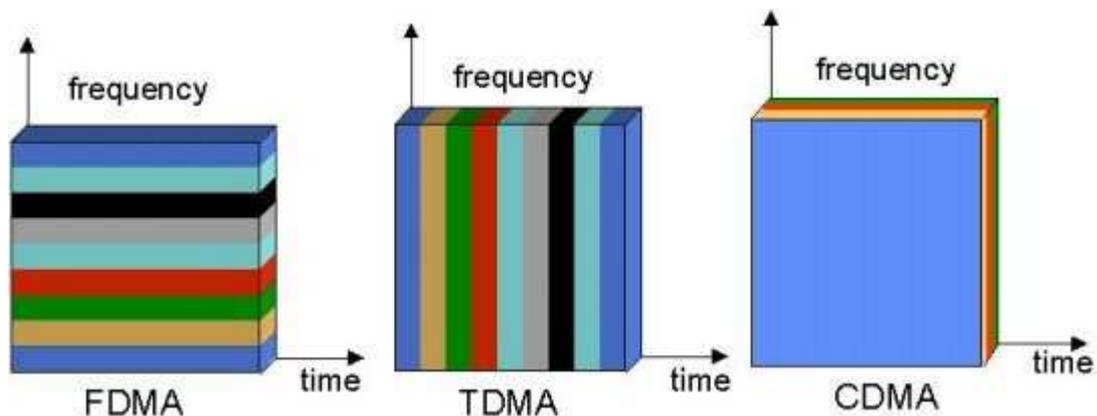


Figura 2.7 Esquemas de Acceso Múltiple [20]

#### CODIFICACIÓN

CDMA usa un código de ensanchado único para ensanchar los datos en banda base antes de la transmisión. La señal se transmite en un canal, la cual está bajo un nivel de ruido. El receptor usa un correlador para decodificar la señal de interés, la cual pasa a

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

través de un estrecho filtro paso-banda. La señal no deseada no será decodificada y no pasará a través del filtro. Los códigos toman la forma de una cuidadosamente diseñada secuencia de 1s/0s producida a una tasa mucho mayor que en el caso de los datos en banda base. La tasa del código ensanchado se refiere tanto a la tasa de chip como a la tasa de bit.

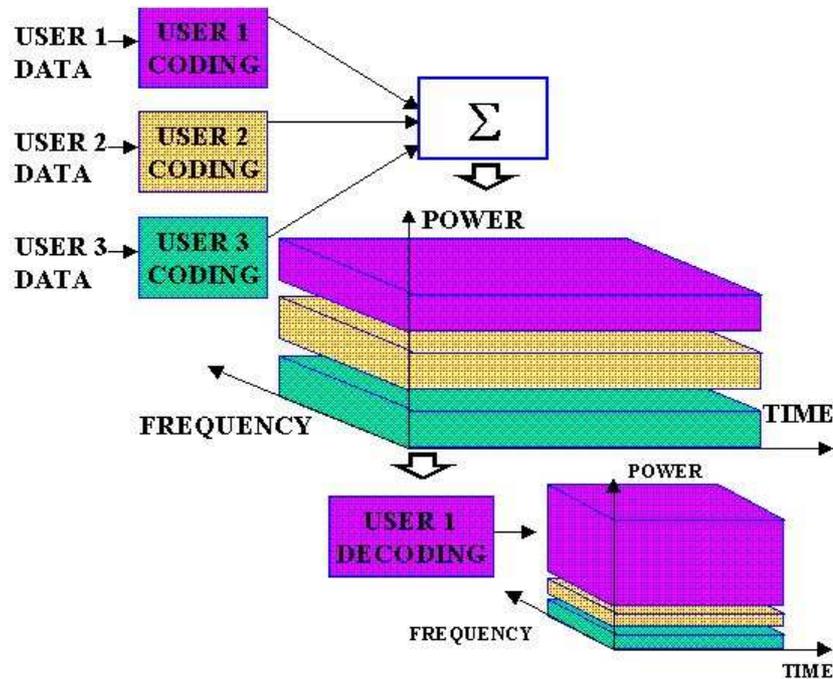


Figura 2.8 Ensanchamiento CDMA [20]

## CÓDIGOS

Los códigos CDMA no son necesarios para proporcionar seguridad en la llamada, sin embargo es una manera de identificar la llamada. Los códigos no deben estar correlacionados con otros códigos o con versiones de sí mismo desfasados en tiempo.

Los códigos de ensanchamiento son ruido justo como los códigos pseudos-aleatorios. Los códigos de canal se diseñan con la máxima separación entre cada uno y los códigos de identificación de celda son ajustados para no ser correlativos a otros códigos de esos propios códigos.

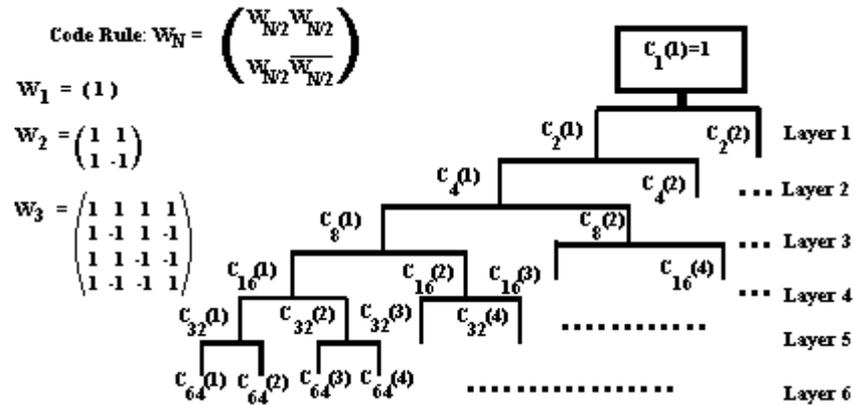


Figura 2.9: Ejemplo de código OVSF<sup>11</sup>, usado en codificación de canal [20]

### EL PROCESO DE ENSANCHADO

Una señal de espectro ensanchado en secuencia directa (SS/DS-CDMA) se obtiene modulando la señal a transmitir con una señal pseudo-aleatoria de banda ancha (código de pseudo-ruido). El producto da una señal de banda ancha. Un código de pseudo-ruido es una secuencia binaria representada con valores 0 y 1, que posee propiedades similares a las del ruido. Esto determina valores pequeños de correlación entre los códigos y la dificultad de bloqueo o detección de una señal de información por un usuario no deseado.

La dispersión de energía sobre una banda ancha, o rebajar la densidad espectral de potencia, hace que el sistema W-CDMA genere señales menos probables para interferir con comunicaciones de banda estrecha, porque la potencia ensanchada de la señal está cerca de los niveles gaussianos de ruido. Como ya se ha visto, las comunicaciones de banda estrecha, ocasionan poca o ninguna interferencia en sistemas W-CDMA porque el receptor de correlación integra sobre un ancho de banda muy amplio para recuperar una señal W-CDMA.

El factor de ensanchado es el ratio entre los chips (UMTS=3,84 Mchips/s) y la información en banda base. Los factores de ensanchado varía entre 4 y 512 en FDD UMTS. La ganancia del proceso de ensanchado se puede expresar en dBs ( por ejemplo el factor de ensanchado 128 corresponde con una ganancia de 21dB

<sup>11</sup> OVSF: [Orthogonal Variable Spreading Factor](#) ( códigos ortogonales con factor de ensanchado variable)

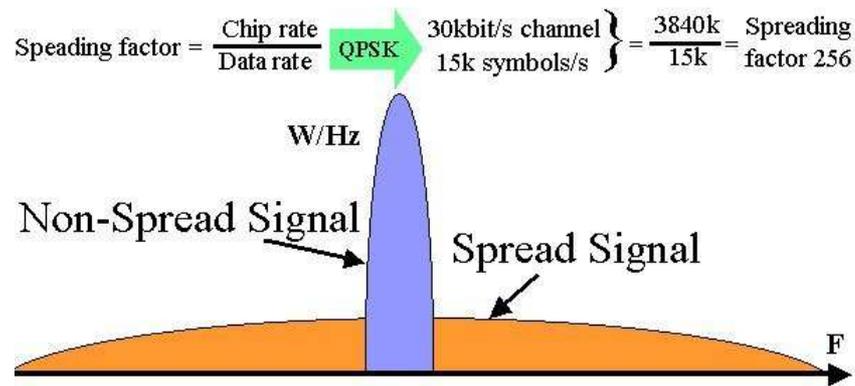


Figura 2.10 Proceso de ensanchamiento de CDMA [20]

## CONTROL DE POTENCIA

CDMA es un sistema de acceso múltiple limitado por las interferencias, debido a que todos los usuarios transmiten en la misma frecuencia, las interferencias generadas por el sistema es el factor más significativo para determinar la capacidad del sistema y la calidad de la llamada.

La potencia de transmisión de cada usuario se debe reducir para limitar la interferencia, sin embargo, la potencia debe ser suficiente para mantener el nivel requerido de  $E_b/N_0$  (relación señal a ruido) para realizar una llamada con suficiente calidad.

La capacidad máxima se alcanza cuando la relación  $E_b/N_0$  se encuentra al mínimo nivel necesario para un rendimiento aceptable del canal. Como el  $MS^{12}$  se está moviendo, en entorno de  $RF^{13}$  cambia continuamente debido a rápidos y lentos desvanecimientos, interferencias externas, zonas de sombra y otros factores. El objetivo del control dinámico de potencia es limitar la potencia transmitida en ambos enlaces a la vez que se mantiene la calidad del enlace bajo todas las condiciones.

## HANDOVER

El Handover ocurre cuando una llamada tiene que ser traspasada de una celda a otra cuando el usuario se mueve entre varias celdas. En un tradicional handover "duro", primero se "rompe" (termina) la conexión con la primera celda y después se establece la conexión con la otra celda. Este es conocido como "romper-antes-establecer" handover. Puesto que todas las celdas en CDMA usan la misma frecuencia, es posible establecer la conexión con la nueva celda antes de abandonar la celda actual. Esto es conocido como handover "suave". Los handovers suaves necesitan menos potencia, lo que reduce

<sup>12</sup> MS: Mobile Station, móvil

<sup>13</sup> RF: Radio-frecuencia

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

las interferencias e incrementa la capacidad. El móvil puede estar conectado a más de dos BTS en el momento del handover. Handover "Softer" es un caso especial de handover suave donde el enlace radio que se añade y elimina pertenece al mismo nodo B

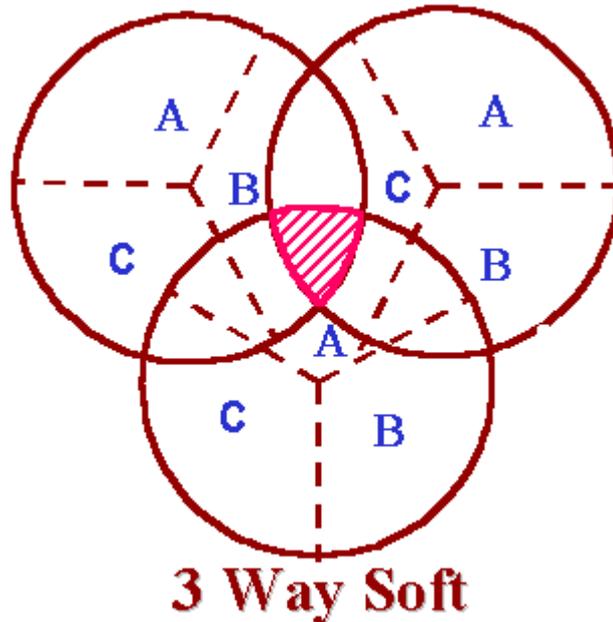


Figura 2.11 handover suave en CDMA [20]

### MULTITRAYECTO Y MULTIPLE RECEPTORES

Una de las principales ventajas del sistema CDMA es la capacidad de usar las señales que llegan al receptor con diferentes retraso de tiempo. Este fenómeno se llama multitrayecto, FDMA y TDMA, los cuales son sistemas de banda estrecha y no puedes diferenciar entre las múltiples llegadas y recurren a la ecualización para mitigar los efectos negativos del multitrayecto. Sin embargo como CDMA es un sistema de banda ancha, utiliza las señales multitrayecto y las combina para crear una señal más potente en el receptor.

Los móviles CDMA utilizan un sistema de receptores múltiples. Esto es esencialmente un conjunto de varios receptores. Uno de los receptores está constantemente buscando diferentes multitrayectos para "alimentar" la información de los tres receptores. Entonces cada receptor demodula la señal correspondiente a un fuerte multitrayecto. Entonces se combinan los resultados para hacer una señal más potente.

## 2.3. EL FUTURO DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

### 2.2.3 HSDPA

HSDPA ( High Speed Downlink Packet Access) es una tremenda mejora del rendimiento para WCDMA , los paquetes de datos consiguen una velocidad máxima de 14Mbps y eso es probablemente lo que incremente la tasa de rendimiento medio hasta 1Mbps , esta 3,5 veces por encima de la tase de WCDMA.

HSDPA también incrementa la eficiencia espectral es un factor similar. Disponible en 3GPP Release 5, los operadores comenzaron a probar HSDPA en 2005 y se preveía que para 2006 estuviese disponible para los abonados en algún país.

HSDPA es totalmente compatible con WCDMA Release 99, y cualquier aplicación desarrollada para WCDMA funcionará con HSDPA. La misma portadora radio puede, simultáneamente, dar servicio de WCDMA de voz y datos, tanto como datos de HSDPA. HSDPA también tendrá una significativa disminución de latencia, se espera que este próximo a 100 msec.

HSDPA alcanza sus altas velocidades a través de técnicas similares que amplían el rendimiento de EDGE en el pasado GPRS, incluyendo modulación de alto orden, codificación variable y aumento de redundancia, tanto como a través de la incorporación de nuevas técnicas potentes y rápida planificación. HSDPA toma WCDMA en si máximo potencial para proveer los servicios de banda ancha y tiene el punto de rendimiento teórico más alto de todas las tecnologías celulares actualmente disponibles... La alta eficiencia espectral y velocidades no solo permiten nuevas aplicaciones, sino que también soportan que un mayor número de usuarios acceda a la red.

HSDPA logra su aumento de rendimiento de las siguientes características radio:

- Canales de alta velocidad compartiendo los dominios del tiempo y código
- Intervalos de tiempo de transmisión cortos.
- Planificación rápida y diversidad de usuario.
- Modulación de alto nivel.
- Rapidez en la adaptación de los enlaces

### **CANALES COMPARTIDOS DE ALTA VELOCIDAD E INTERVALOS DE TIEMPO DE TRANSMISIÓN CORTOS**

HSDPA usa canales de datos de alta velocidad llamados High Speed - Downlink Shared Channels (HSDSCH). Hasta 15 de esos canales pueden operar en canales de WCDMA de 5Mhz. Cada uno utiliza un factor de ensanchado fijo de 16. Las transmisiones de los

## 2. LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

usuarios se asignan a uno o más de esos canales durante un corto intervalo de tiempo de transmisión de 2 msec, lo que significa menos que el intervalo de 10 a 20 msec de WCDMA. La red puede reajustar como se asignan los usuarios a diferentes HS-DSCH cada 2 msec. El resultado es que los recursos se asignan en ambos: tiempo (el intervalo TTI) y código (los canales HS-DSCH) La figura siguiente ilustra diferentes usuarios obteniendo diferentes recursos radio

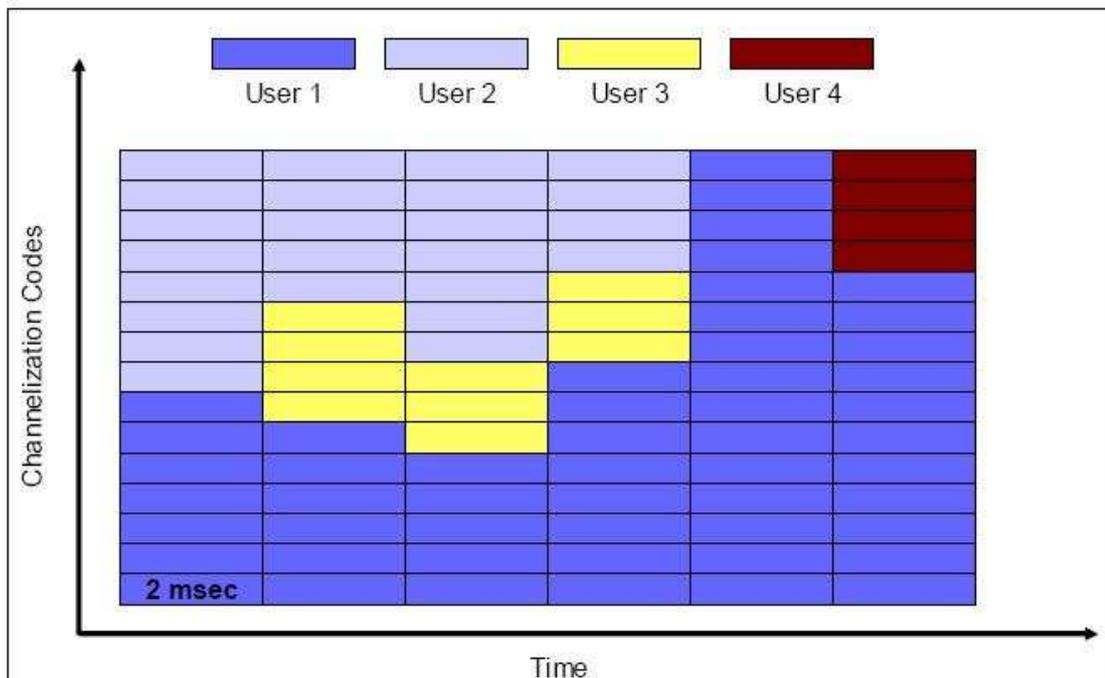


Figura 2.12 Ejemplo de: High Speed – Downlink Shared Channels [18]

### RÁPIDA PLANIFICACIÓN Y DIVERSIDAD DE USUARIO.

La rápida planificación explota los cortos intervalos de tiempo de transmisión (TTI) para asignar los canales a los usuarios con las mejores condiciones instantáneas de canal en lugar de asignarlos uno por uno. Ya que las condiciones de los canales varían un tanto aleatoriamente para los usuarios, la mayoría de los usuarios pueden obtener servicios usando unas condiciones radio óptimas y pueden, por consiguiente, obtener un óptimo rendimiento en datos. La gráfica siguiente muestra como un programador podría elegir entre dos usuarios basándose en las variaciones de sus condiciones radio, concretamente, haciendo hincapié en el usuario con mejor calidad de señal instantánea. Con aproximadamente 30 usuarios activos en un sector, la red logra una significativa diversidad de usuario y también una alta eficiencia espectral. El sistema también asegura que cada usuario recibe un mínimo de capacidad

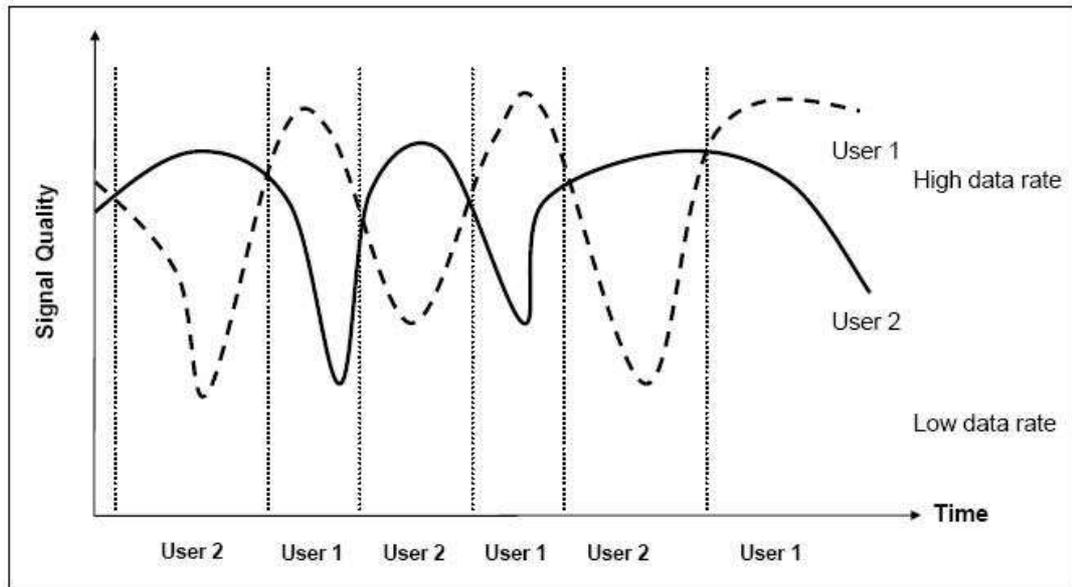


Figura 2.13 Diversidad de usuario [18]

## MODULACIÓN DE ALTO NIVEL

HSDPA usa las técnicas de modulación que usa WCDMA: QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) y bajo buenas condiciones de radio, un esquema avanzado de modulación 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation). La ventaja de 16QAM sobre QPSK es que en cada símbolo radio se transmiten 4 bits de datos en lugar de 2 bits como ocurría en QPSK. 16 QAM incrementa el rendimiento de datos, mientras que QPSK está disponible bajo condiciones adversas.

## ADAPTACIÓN DE CONEXIÓN RÁPIDA.

Dependiendo de la condición del radio canal, se pueden emplear diferentes niveles de corrección de errores “hacia delante” (codificación de canal). Por ejemplo una tasa de codificación de  $\frac{3}{4}$  significa que las tres cuartas partes de los bits transmitidos son bits de usuarios y un cuarto son bits de corrección de error. El proceso de selección y pronta actualización de la modulación óptima y tasa de codificación se conoce como Adaptación de conexión rápida. Esto se lleva a cabo en coordinación con la *rápida planificación*.

La tabla siguiente muestra los diferentes ratios de rendimiento alcanzados en base a la modulación, la tasa de codificación y el número de códigos HS-DSCH en uso. Se puede observar que la tasa máxima de 14.4Mbps se alcanza con una tasa de codificación de  $\frac{4}{4}$ , modulación 16QAM y los 15 códigos HS-DSCH en uso.

Modulation	Coding Rate	Throughput with 5 codes	Throughput with 10 codes	Throughput with 15 codes
QPSK	1/4	600 kbps	1.2 Mbps	1.8 Mbps
	2/4	1.2 Mbps	2.4 Mbps	3.6 Mbps
	3/4	1.8 Mbps	3.6 Mbps	5.4 Mbps
16 QAM	2/4	2.4 Mbps	4.8 Mbps	7.2 Mbps
	3/4	3.6 Mbps	7.2 Mbps	10.7 Mbps
	4/4	4.8 Mbps	9.6 Mbps	14.4 Mbps

Ratios de capacidad de HSDPA

### PETICIÓN DE REPETICIÓN AUTOMÁTICA (ARQ) HIBRIDA RÁPIDA

Otra técnica de HSDPA hace referencia a Petición de Repetición Automática (ARQ) híbrida rápida ( Fast Hybrid ARQ). 'Híbrido' hace referencia al proceso de combinar transmisiones de datos repetidos con transmisiones previas para incrementar la probabilidad de éxito en la decodificación y 'Rápido' hace mención a los mecanismos de corrección de error que se implementan en los Nodos B ( junto con la planificación y la adaptación de conexión) a diferencia de las BSC( Base Station Controller) in GPRS/EDGE El control y respuesta en tiempo real a las variaciones radio en la estación base en lugar de una red interna de nodos reduce los retrasos y mejora aun más, en general, el rendimiento de datos.

Usando las propuestas descritas anteriormente, HSDPA maximiza el rendimiento de datos y la capacidad y minimiza los retrasos. Para los usuarios esto se traduce en un mejor rendimiento de la red bajo condiciones de carga, mayor rapidez en la ejecución de las aplicaciones, además de una gran variedad de aplicaciones con un buen funcionamiento, y un incremento de la productividad.

Los resultados en campo validan los resultados teóricos de rendimiento. Teniendo en cuentas estas propuestas y utilizando modulación QPSK, los operadores calcularon un ratio de rendimiento mayor de 1Mbps (al principio actualmente HSDPA fase 1 alcanza valores de 4,3 Mbps y fase 2 alcanzara 14 Mbps).

Debido a que el objetivo principal de este texto es el despliegue de GSM no se hará más hincapié en posteriores tecnologías, si desean más información consulten diferentes textos como:

-WCDMA for UMTS

-HSDPA/ HSUPA for UMTS

-[www.umtsworld.com](http://www.umtsworld.com)

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3. TEORIA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Para poder planificar una red móvil es necesario tener claro los conceptos sobre propagación de canales, por ello en primer lugar, antes de adentrarnos en la planificación de radio y transmisión, explicaremos brevemente los principios de los canales de propagación radio

En segundo lugar se explicaran las principales características de los elementos físicos, más importantes, presentes en la red. En los siguientes apartados se trataran los aspectos de la planificación de la red, tantos los aspectos radio como de transmisión y aquellos aspectos comunes a ambos.

## 3.1 CANALES DE PROPAGACION RADIO.

Este apartado describe los mecanismos de propagación, la propagación multitrayecto, las principales diferencias entre desvanecimiento rápido y lento y los factores que provocan pérdidas en la propagación.

## 3.1.1 MECANISMOS DE PROPAGACIÓN

En este apartado nos centramos en los fenómenos de reflexión, absorción y difracción:

- Reflexión :

Partiendo del concepto de propagación en el espacio libre, existen, principalmente, dos tipos de reflexión, reflexión especular y reflexión difusa:

- Free- space propagation

Signal strength decreases exponentially with distance

- Reflection

Specular Reflection

amplitude:  $A \rightarrow \alpha * A (\alpha < 1)$

phase:  $\phi \rightarrow -\phi$

polarisation: material dependant phase shift

Diffuse Reflection.

amplitude:  $A \rightarrow \alpha * A (\alpha < 1)$

phase:  $\phi \rightarrow$  random phase

polarisation : random

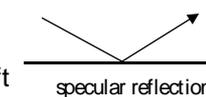
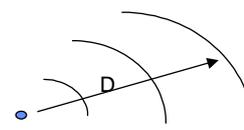


Figura 3.1 Tipos de reflexión [3]

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Como se observa en la imagen las principales diferencias entre la reflexión especular y la difusa radican en la fase y la polarización, ya que en la reflexión difusa ambos toman valores aleatorios.

- Absorción:

La señal propagada se ve atenuada debido a los distintos elementos que debe atravesar, cada material tiene una absorción diferente

- Difracción

Existen diferentes tipos dependiendo de los obstáculos y de cómo afectan estos a la señal:

-Modelo de cuña (wedge model)

-Modelo filo de cuchillo (knife edge)

-Modelo filo de cuchillo múltiple (múltiple knife edge)

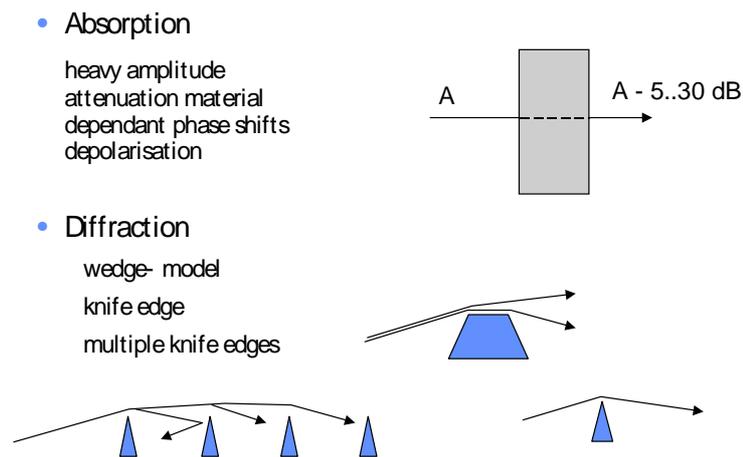


Figura 3.2 Mecanismos de Propagación [3]

#### 3.1.2 MULTITRAYECTO Y DESVANECIMIENTO

El canal radio es recíproco en intensidad de campo. Esto significa que la propagación de una señal de A a B experimentara las mismas pérdidas de trayecto y atenuación que cuando la propagación sea de B a A. Es un hecho importante que hay que tener en cuenta cuando se trabaja con balance de potencia. La reciprocidad es cierta en la intensidad de campo, pero no lo es para las condiciones de interferencia. Esto puede ser muy diferente en la localización del móvil respecto a la localización de la estación base.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

El canal radio móvil muestra dispersión en el tiempo como resultado de la propagación multitrayecto. Señales parciales toman diferentes trayectos hacia el móvil y consecuentemente llegan con diferente retraso de tiempo, del orden de microsegundos. A la velocidad de la luz ( $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) el retraso de 1 seg corresponde a una diferencia de trayecto de unos 300m aprox.

GSM precisa un ecualizador con una ventana de tiempo de 16  $\mu\text{seg}$  que se utiliza en el receptor. Esto significa que todas las señales parciales que llegan dentro de esta ventana de tiempo son contribuciones válidas para la señal recibida. Las señales con un excesivo retraso actúan de manera contraproductiva, como interferencia cocanal.

Los ecualizadores se especifican según los siguientes tipos de retrasos:

- TU3: ambiente urbano típico a 3 km/h (peatones)
- TU50: ambiente urbano típico a 50 km/h (coches)
- HT100: terreno montañoso a 100km/h (vehículos en carretera)
- RA250: Áreas rurales a 250km/h (autopistas, trenes)

Se puede observar que no hay una estricta limitación en la velocidad de 250 km/h (130km/h para GSM1800) a pesar de algunos debates sobre este asunto. La tasa de error de bit puede, bajo ciertas condiciones a alta velocidad, exceder las especificaciones, pero esto no necesariamente corta la conexión. Se trata de un límite muy restrictivo, de hecho GSM900 ha estado funcionando exitosamente, cumpliendo las especificaciones, a velocidades de 400 km/h aprox y un operador alemán ha realizado pruebas de funcionamiento de GSM1800 en trenes de alta velocidad viajando a 250km/h.

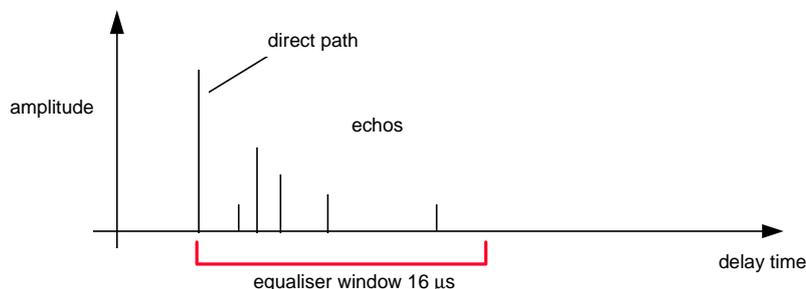


Figura 3.3. Ventana del ecualizador [3]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.1.2.1 DESVANECIMIENTO

Se pueden distinguir distintos tipos de mecanismos de desvanecimiento en el entorno radio:

-*Desvanecimiento Suave*: esto se debe a las zonas de sombras producidas por la estructura del terreno y grandes obstáculos. Esto es del orden de 10 s de longitud de onda. El desvanecimiento suave se puede describir matemáticamente como una distribución gaussiana.

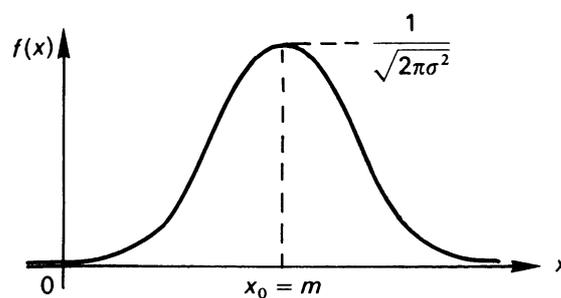


Figura 3.4 Distribución Gaussiana [15]

-*Desvanecimiento rápido o de Rayleigh*: Este fenómeno se debe a la propagación multitrayecto de la señal. Las señales con la misma amplitud y fase opuesta se superponen y se eliminan. Esto crea desvanecimientos locales (se pueden distinguir fácilmente) del orden de fracciones de longitudes de onda. El proceso del desvanecimiento Rayleigh se aplica a trayectos de propagación bloqueados (condiciones sin línea de vista N-LOS) y se puede modelar matemáticamente con la distribución de Rayleigh.

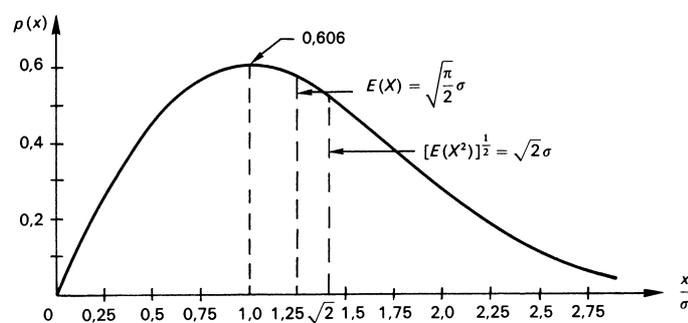


Fig. 4.5. — Densité de probabilité de Rayleigh.  
 $\sigma^2 = E_0^2/2$ .

Figura 3.5 Distribución Rayleigh [15]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

-*Desvanecimiento Rician*: Es la combinación de las dos condiciones anteriores: desvanecimiento Rayleigh cuando no existe bloqueo en la propagación de la señal. El ratio de energía de señal directa a señal indirecta es el "factor Rice". Este tipo de desvanecimiento se aplica en los trayectos de propagación parcialmente bloqueados. Se modela matemáticamente con la distribución de Rician.

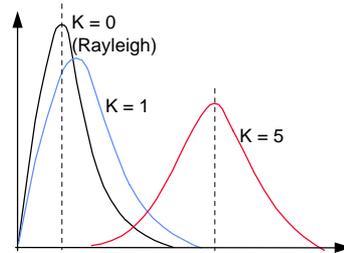


Figura 3.6 Distribución Rician,  $K = 0$ : Rayleigh;  $K \gg 1$ : Gaussiana [15]

En el entorno de las comunicaciones móviles, la señal recibida, generalmente, no se recibe directamente (lo cual frecuentemente incluso no existe), en su lugar se reciben una variedad de diferentes e independientes trayectos de propagación (propagación multitrayecto).

La señal recibida se puede ver como la superposición de varias señales parciales individuales sobrepuestas, cada una con una cierta amplitud y fase (señales complejas). Cada señal parcial corresponde a un cierto trayecto de propagación. Cada señal ha experimentado varias reflexiones y difracciones, cada una de ellas causando atenuación en la amplitud y un desfase aleatorio. El vector señal resultante está compuesto por la suma vectorial de sus componentes, véase la figura 3.7. En cada instante la señal parcial toma diferentes valores (complejos), de este modo también influye en el vector resultante.

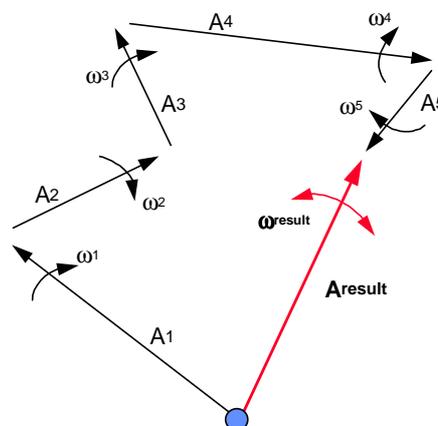


Figura 3.7 Diagrama fasor. [3]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

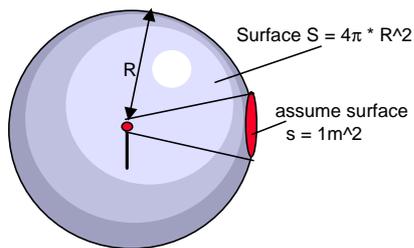
## 3.1.3 ATENUACIÓN POR PROPAGACIÓN Y DIFERENTES ENTORNOS

Se puede demostrar fácilmente que en el espacio libre la potencia disminuye en relación con la distancia desde la antena al cuadrado. La siguiente ilustración explica este mecanismo básico.

- Pérdidas en el espacio libre proporcionales a  $1/d^2$

- Free space loss proportional to  $1/d^2$

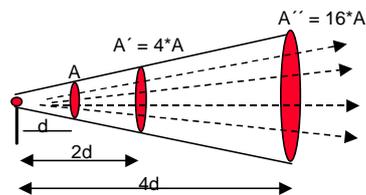
Simplified case: isotropic antenna



Which part of total radiated power is found within surface  $s$ ?

Simplified case (perfectly isotropic antenna):  
Power density =  $P/S$   
total power within surface  $s$ :  $P' = P/S*s$

assume  $R=100m$ :  $\implies P' = P/7,96*10e-6$   
 $\implies -51\text{ dB}$   
(coupling loss at ref. distance)



Power density reduces with square of distance  
 $\implies$  received power per area unit reduces at same rate  
 $\implies$  "free space loss" proportional to  $1/d^2$

Figura 3.8 Pérdidas en espacio libre [3]

Las señales radio se atenúan, en el mejor de los casos, en proporción al cuadrado de la distancia (desde la antena). Esto es simplemente una ley física, válida para todas las bandas de frecuencia y todo tipo de modulación. En comunicaciones móviles, los niveles de señal disminuyen proporcionalmente a la distancia elevada al cubo o al cuadrado, dependiendo del terreno

La atenuación de la señal se expresa, normalmente, en "dB por década" o en "dB por octavo" (significa el doble de distancia) Una década tiene 3.32 octavos. A continuación se muestran las fórmulas básicas de propagación de señal:

3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

- Power density by the receiving end:  $S = \frac{P_s G_s}{4\pi d^2}$
- Effective antenna area:  $A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$
- Received power:  $P_r = S A_{eff}$
- Mobile environments:  $P_r = P_s G_s G_r C d^{-\gamma}$  (with  $\gamma = 2, 5 \dots 5$ )

$$\frac{P_r}{P_s} = G_s G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

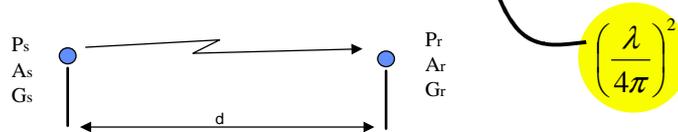


Figura 3.9 Fórmulas de propagación de señal [3]

En tecnología radar la potencia recibida es inversamente proporcional a la potencia elevado a la cuarta debido a que la señal recorre la distancia dos veces.

En comunicaciones móviles la distancia se recorre una sola vez, pero el trayecto de la propagación no es en el espacio libre, sino que es fuertemente bloqueado en la mayoría de los casos, causando pérdidas considerables. Los niveles de señal recibida son inversamente proporcionales a la distancia elevada del cuadrado a la quinta, dependiendo del entorno entre transmisor y receptor.

3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

3.1.3.1 PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN

Las pérdidas en radio-propagación normalmente son calculadas en escala logarítmica, en dB. Las pérdidas tienen una relación exponencial con la distancia. Las fórmulas de pérdida de propagación están basadas en la fórmula de pérdidas en el espacio libre con un factor adicional de corrección empírica. A continuación se puede observar la fórmula básica de pérdidas y los valores típicos de atenuación:

• Basic loss formula

$$L = L_0 + \alpha \log(d)$$

losses are exponential with distance

loss at reference point (e.g. 1km)

• Clutter loss factors

- land-usage classes
- usually stated in dB/decade
- e.g. :

free space	20 dB/dec
open countryside	25 dB/dec
suburban areas	30 dB/dec
urban area	40 dB/dec
historic city centre	>45 dB/dec

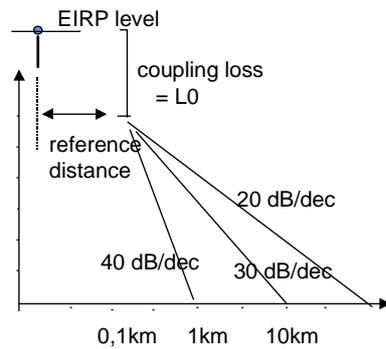


Figura 3.10 Pérdidas de propagación [3]

Los niveles de atenuación de la señal son distintos en diferentes entornos (es lo que se conoce como (tipos de uso de la tierra). Atenuación típica de la señal varía entre 20 y 45 dB/ década.

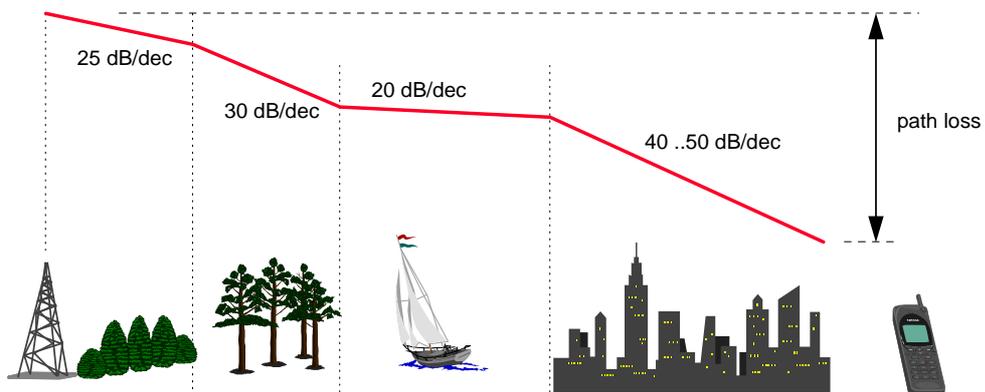


Figura 3.11 Niveles de atenuación en diferentes entornos. [3]

La atenuación de la señal radio depende del entorno que la señal tenga que atravesar. Se puede observar un aumento en la potencia de la señal a pesar del incremento de la distancia, cuando el receptor vuelve a una zona abierta después de atravesar un entorno

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

urbano, causando un gran exponente de atenuación. Desde ese momento la potencia recibida depende del entorno cercano al receptor. No se produce un aumento abrupto de la potencia sino un incremento gradual, como si el móvil entrase en un área abierta. En la siguiente figura, se representa lo descrito anteriormente.

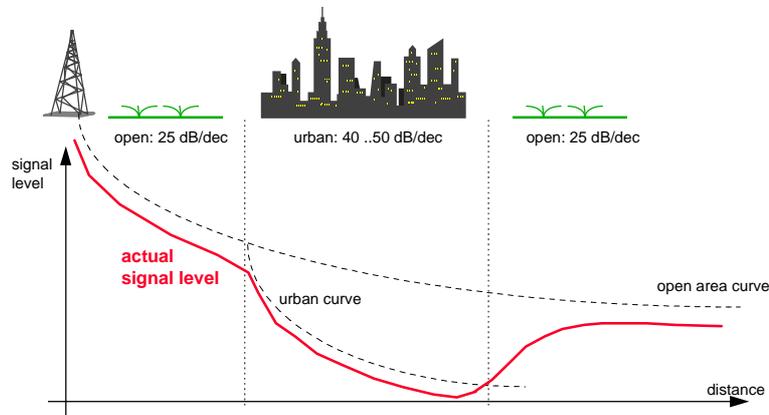


Figura 3.12 Ejemplo de trayecto con distinta pérdidas [3]

En el ejemplo anterior se puede observar cómo se atenúa la señal al pasar de un ambiente al aire libre a una zona urbana y como la señal vuelve a aumentar una vez que se abandona la zona urbana.

#### 3.1.3.1.1 MODELO DE TIERRA PLANA Y DISTANCIA AL PUNTO DE INFLEXIÓN.

El llamado modelo de tierra plana se usa para estudiar matemáticamente la radio-propagación. En esta aproximación, se asume que la tierra es completamente plana y lisa. Por consiguiente, la señal recibida es el resultado de únicamente dos señales, la señal directa (LOS) y la señal reflejada en el terreno, como se muestra en la siguiente figura. Estas señales se pueden sumar constructivamente o destructivamente, dependiendo de sus fases. Las fases de las componentes de la señal recibida dependen de las diferentes longitudes de los trayectos y del coeficiente de reflexión. Para ángulos de incidencia "muy pequeños" (medidos desde el terreno) el coeficiente de reflexión es -1 para ambas polarizaciones, por consiguiente, las dos señales tienden a compensarse según aumenta la distancia. Esto genera un exponente de pérdidas de trayecto de 4 después de una cierta distancia. Esta distancia es llamada distancia de punto al punto de inflexión (the breakpoint distance).

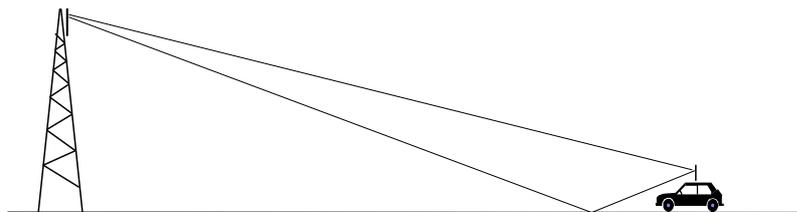


Figura 3.13 Propagación sobre la tierra plana [1]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

La fórmula para calcular la distancia al punto de inflexión es:

$$B = 4 \frac{h_1 h_2}{\lambda},$$

Donde  $h_1$  y  $h_2$  son las alturas de las antenas transmisora y receptora.

Los entornos reales son, por supuesto, totalmente diferentes al modelo de tierra plana. Sin embargo, en la realización de medidas de intensidad de campo, normalmente, el punto de inflexión perceptible. Si se pudiera determinar el punto de inflexión exactamente, esto conllevaría un gran beneficio en la planificación de la red: la celda en servicio llegaría hasta el punto de inflexión, así se generarían menos interferencias en las áreas cercanas

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.2 ANTENAS Y OTROS COMPONENTES DE LA BTS

Otro aspecto importante en las comunicaciones móviles son los componentes físicos necesarios para llevar a cabo la comunicación entre un transmisor y un receptor. Nos referimos a las antenas, cables, amplificadores, combinadores y filtros. En los siguientes apartados se explicara las funciones de antenas y cables que son los elementos más destacables.

### 3.2.1 ANTENAS

Las antenas son, en las zonas urbanas los elementos más visibles de EB, lo que conlleva a que los fabricantes de antenas dediquen mucho tiempo al diseño de antenas lo más estéticas posibles, además de aumentar sus prestaciones.

#### 3.2.1.1 TIPOS DE ANTENAS

Existen diferentes tipos y formas mecánicas de antenas. Cada una se ha diseñado específicamente para una necesidad especial. En comunicaciones móviles se consideran dos categorías principales de antenas:

- *Antenas omnidireccionales*: radian con la misma intensidad en todas las direcciones de azimut.
- *Antenas direccionales*: la principal energía de radiación se concentra en una cierta dirección.

Las antenas omnidireccionales son útiles en áreas rurales mientras que las antenas de haz direccional son preferibles en áreas urbanas. Este tipo de antenas proporciona una distribución de señal y una concentración de energía mas controlable que en el caso de las omnidireccionales

Los tipos de antenas más comunes son:

- *Dipolos*: Es la antena básica. Diseño simple, ganancia baja y modelo de radiación omnidireccional.
- *Arrays*: es una combinación de antenas elementales. Posibilidad de ganancia altas, se pueden conseguir modelos de radiación especiales. Existen dos tipos: activos y pasivos.
- *Antena Yagui*: Es un antena del tipo array pasivo muy popular por su extendido uso como antena receptora de TV. Posee ganancia muy alta y gran directividad.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

- *Antena parabólica:* Se utiliza para los radioenlaces, antenas ópticas y enlaces-satélites. Sus principales características son. Ganancias muy altas y anchas de banda extremadamente estrechos. Se usan comúnmente en trayecto de propagación con línea de vista (satélites, radioenlaces).

## 3.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS

Las antenas se pueden caracterizar a partir de ciertas propiedades:

- *Diagrama de radiación:* la principal característica de las antenas es el diagrama de radiación. El diagrama horizontal (“plano-H”) describe la distribución de la energía radiada. El diagrama vertical (“plano-E”) describe la distribución de energía en función del Angulo de elevación.

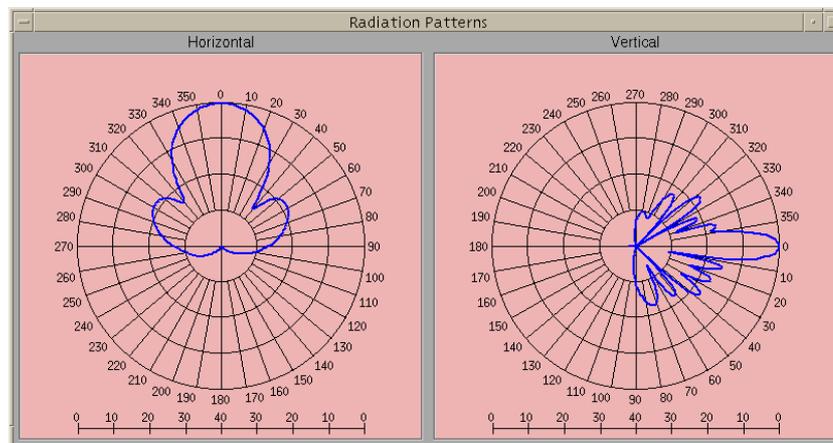


Figura 3.14 Ejemplo de diagramas de radiación horizontal y vertical de una antena [3]

- *Ganancia de la antena,* es una medida para el rendimiento de la antena. La configuración que se utiliza como referencia para comparar la ganancia de una antena es, por convención, la antena isotrópica. La ganancia se mide, normalmente, en “decibelio sobre isotrópica” (dBi) o en “decibelio sobre dipolo Hertz” (dBd). El dipolo Hertz tiene una ganancia de 2,15 dB comparado con la antena isotrópica, así que dBd+2,15=dBi. La ganancia de la antena depende del tamaño de la antena, el área de apertura efectiva, la banda de frecuencia y la configuración de la antena. Las antenas para GSM1800 pueden alcanzar 5 ó 6 dB más de ganancia que las antenas para GSM900 aunque tengan el mismo tamaño. La ganancia de la antena se puede estimar con la siguiente fórmula:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A w$$

Donde  $A$  es el tamaño mecánico y  $w$  área de apertura efectiva de la antena.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

- *Lóbulos*. Existen dos características importantes en una antena en relación a los lóbulos: lóbulos principales y lóbulos secundarios, el ratio de lóbulo principal sobre el valor máximo del lóbulo secundario es una medida de calidad del diagrama de radiación de las antenas.
- *Ancho de haz a la mitad de potencia*: Es decir el ancho de banda menos 3 dB, el Angulo (tanto para el azimut como para la elevación) en el cual la potencia radiada ha disminuido 3 dB con respecto al lóbulo principal. un Angulo estrecho significa un buen “enfoque” de la potencia radiada ( también significa comunicaciones de mayor distancia)
- *Inclinación de las antenas (downtilt<sup>14</sup>)*. Las antenas direccionales se pueden inclinar tanto mecánicamente como eléctricamente para que el lóbulo principal apunte más bajo.
- Mediante el downtilt, el diagrama de radiación de la antena y los niveles de intensidad de campo a grandes distancias se pueden reducir sustancialmente. Por consiguiente, la inclinación de las antenas reduce interferencias en las celdas vecinas y también mejora la cobertura. Como ya hemos dicho anteriormente existen dos tipos de downtilt:
  - Downtilt mecánico significa que el haz principal de la antena apunta hacia el suelo mientras que el lóbulo trasero es inclinado hacia arriba.
  - Downtilt eléctrico tiene la ventaja de que el diagrama de radiación de la antena es diseñada de forma que el haz principal y el haz trasero admitan downtilt. Para poder controlar la situación de las interferencias es mejor usar el downtilt eléctrico.

Con las antenas omnidireccionales no se puede aplicar downtilt mecánico, solo eléctrico. El downtilt eléctrico se realiza mediante un leve desplazamiento de fase interno en la señal hacia los dipolos elementales del sistema de antenas.

---

<sup>14</sup> Downtilt: es el termino en ingles para referirse a inclinación, a partir de ahora se utilizar este término que es más común en el ámbito de las comunicaciones móviles.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

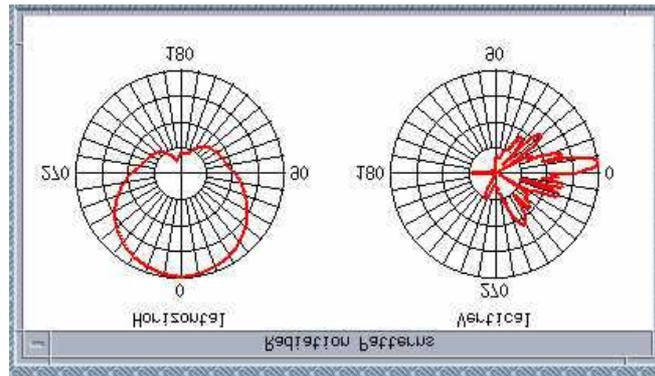


Figura 3.15 Diagrama de radiación de una antena con downtilt eléctrico [3]

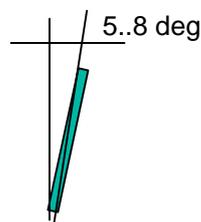


Figura 3.16 Downtilt mecánico [3]

- **Polarización:** El plano de polarizaciones es, por definición, el plano de propagación del vector campo eléctrico. Las antenas normalmente tienen polarización vertical. Las antenas con polarización cruzada consiguen algunos dB mas de ganancia en la calidad de la señal en entornos donde las señales radio están sujetas a cambios de polarización, como ocurre en las propagaciones multitrayecto y en la reflexión en materiales dieléctricos.
- **Ancho de banda:** Se define como ancho de banda, dentro del cual el VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) es menos que 1:2. Los valores típicos de ancho de banda de las antenas son aproximadamente el 10% de la frecuencia en la que opera.
- **Tamaño físico:** El tamaño de la antena está relacionado con la ganancia de la antena. Las antenas de mayor tamaño proporcionan mayores ganancias, pero también necesitan mayor cuidado en el despliegue y mayor sujeción para el mástil. En invierno el viento y el hielo en las antenas puede causar problemas estáticos al mástil. Los valores máximos que se asumen para la velocidad del viento es de 150-200 km/h.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.2.1.3 EJEMPLO DE CONFIGURACIONES DE ANTENAS

Las configuraciones de las instalaciones de las antenas dependen de las preferencias de los operadores, si procede. Es importante mantener la suficiente distancia de desacople entre antenas. Si la dirección de transmisión (TX) y recepción (RX) usan antenas separadas, es aconsejable mantener una separación horizontal entre las antenas para reducir la potencia de la señal de transmisión en la entrada del receptor.

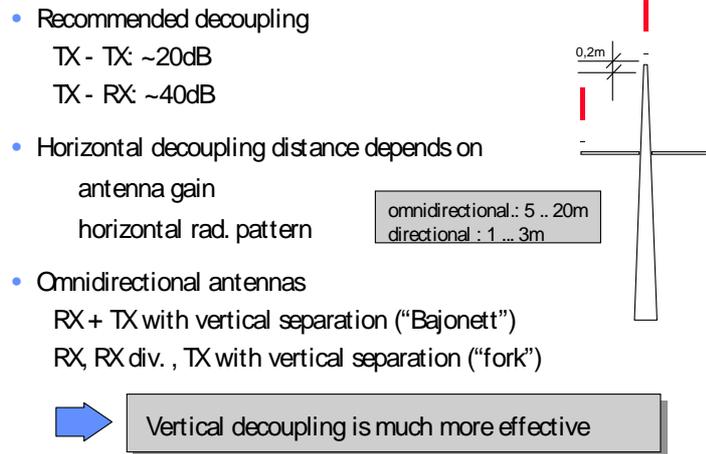


Figura 3.17 Acoplamiento de antenas [3]

Se recomienda un desacoplamiento de entre 20 a 40 dB, dependiendo si es tx-tx ó tx-rx. También es importante tener en cuenta que la distancia de desacople depende fundamentalmente de la ganancia de la antena y del patrón de radiación horizontal. Por último mencionar que el desacople vertical es mucho más efectivo.

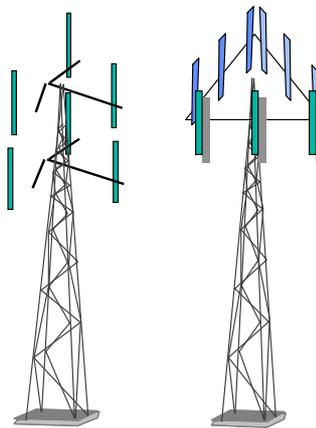


Figura 3.18 Ejemplo de instalación de antenas [3]

En este ejemplo podemos ver dos tipos de instalación. A la izquierda tenemos las antenas instaladas con desacople vertical y a la derecha no.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.2.1.4 REQUISITOS DE OBSTÁCULOS CERCANOS

Los obstáculos cercanos son aquellos materiales que reflejan o apantallan la señal que pueden obstruir el haz tanto en el plano horizontal como en el vertical. Cuando se instala un sistema radiante en un tejado, el obstáculo dominante en el plano vertical es el propio filo del tejado y en el plano horizontal los obstáculos están más alejados, por ejemplo edificios cercanos que pueden reflejar o apantallar la señal.

Es posible que el haz de la antena se vea distorsionado si la antena está demasiado cerca del tejado. En otras palabras, la antena debe ser instalada a una altura mínima sobre el tejado u otros obstáculos. Como regla práctica para la planificación e instalación, la primera zona de Fresnel, en el plano vertical, debe de estar despejada. Se identifica como clearance<sup>15</sup> la zona que se encuentra entre la parte baja de la antena y el obstáculo predominante. Otra regla a tener en cuenta, el ancho de haz a 3dB debe tener un clearance de 150m en el plano horizontal.

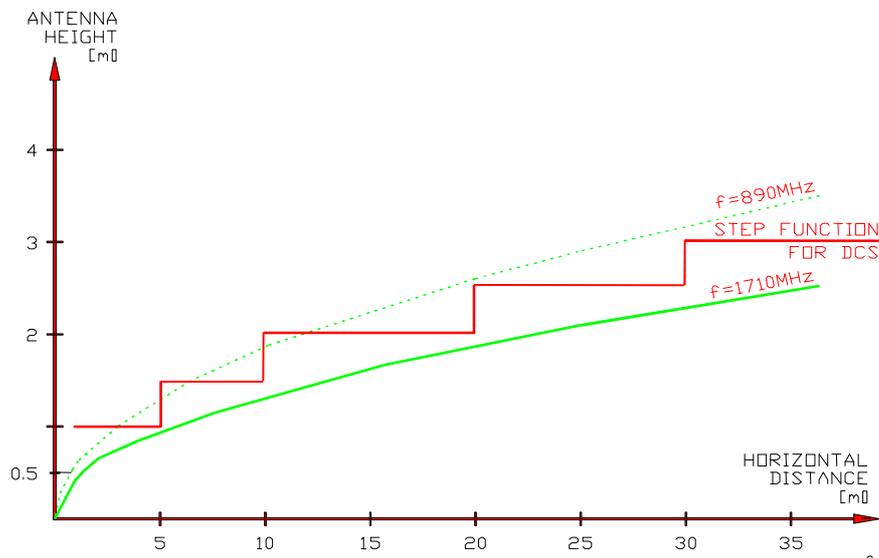


Figura 3.19. Clearance necesario en función de la altura de la antena [3]

El gráfico anterior muestra la distancia necesaria de despeje horizontal en función de la altura de la antena para distintas frecuencias

<sup>15</sup> Clearance: se utiliza este término para referirse a zona libre de obstáculos que interfieren en la señal, en este texto se utiliza por ser su uso común en comunicaciones móviles.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

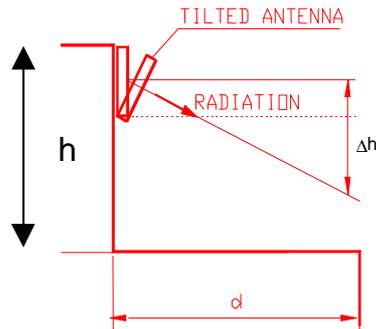


Figura 3.20 Downtilt de una antena próxima al borde de un tejado [3]

La figura anterior nos muestra las distintas variables que influyen en el cambio de tilt de una antena.

Si aumentamos el downtilt de la antena afecta a los resultados previos. La siguiente gráfica muestra como las condiciones de despeje cambian cuando el downtilt varía entre 0 y 6 grados.

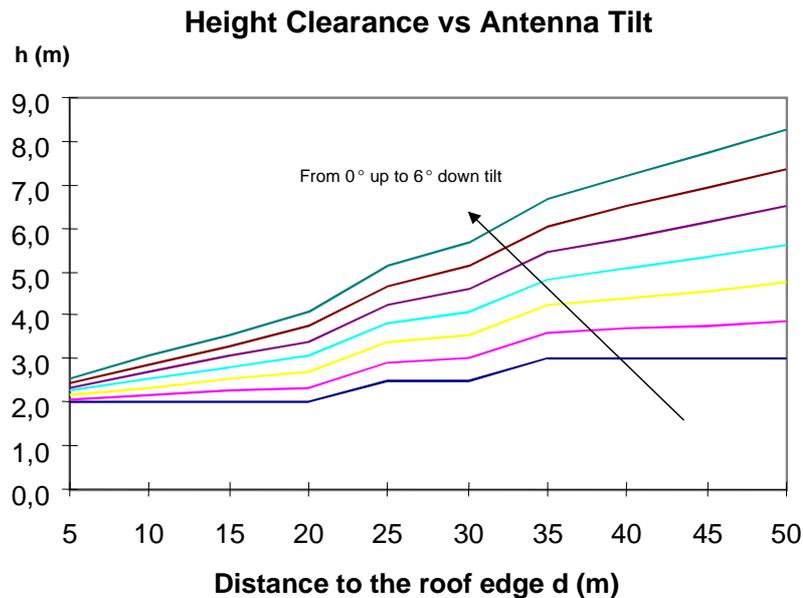


Figura 3.21 Height clearance versus antenna tilts [3]

Si las antenas se instalan sobre las fachadas, se debe de garantizar un margen de seguridad de 15° entre la superficie reflectante y lóbulo de 3dB como se puede ver en la siguiente figura:

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

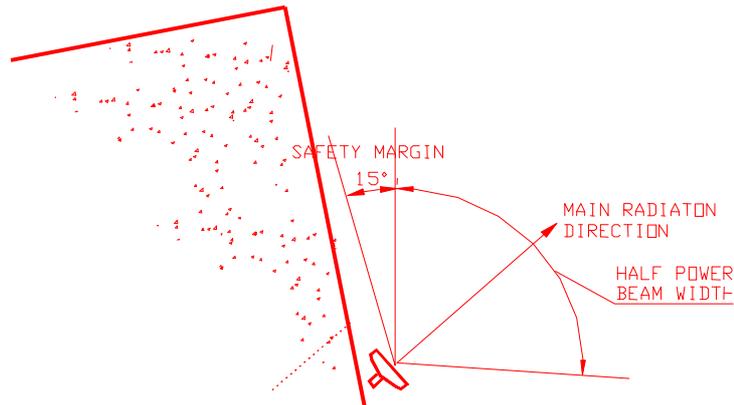


Figura 3.22 Horizontal clearance [3]

## 2.1.3 TÉCNICA DE DIVERSIDAD

Las técnicas de diversidad se basan en el hecho de que se reciben múltiples copias incorreladas de una misma señal, al mismo tiempo o con retraso, esto puede reducir los desvanecimientos rápidos. Cuando dos señales se combinan, se consigue mejor calidad de señal que cualquiera de las dos señales parciales pueda tener por separado.

Hay diferentes esquemas de diversidad en recepción (como se puede ver en la siguiente figura): tanto la BS como MS implementan diversidad en tiempo en la fase de *interleaving*. La diversidad de frecuencia se puede llevar a cabo con *frequency hopping*: ya que el desvanecimiento rápido depende de la frecuencia, muchas frecuencias se saltan rápidamente y cíclicamente, debido a esto si una frecuencia está en la caída del desvanecimiento, es solo por un tiempo breve. Tradicionalmente las dos antenas receptoras de la BS se han separado horizontalmente (normalmente) y verticalmente (rara vez) para crear diversidad espacial. En entornos urbanos, la diversidad de ganancia se puede obtener usando diversidad de polarización: las señales se reciben usando en el receptor final dos polarizaciones ortogonales entre sí.

En los canales radio está presente la propagación multitrayecto. Las replicas de las señales retrasadas y atenuadas pueden ser combinadas en un modo correcto para incrementar el nivel de señal recibida (diversidad multitrayecto). En GSM esto se alcanza mediante el uso de un ecualizador mientras en WCDMA se utiliza el llamado "rake receiver".

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

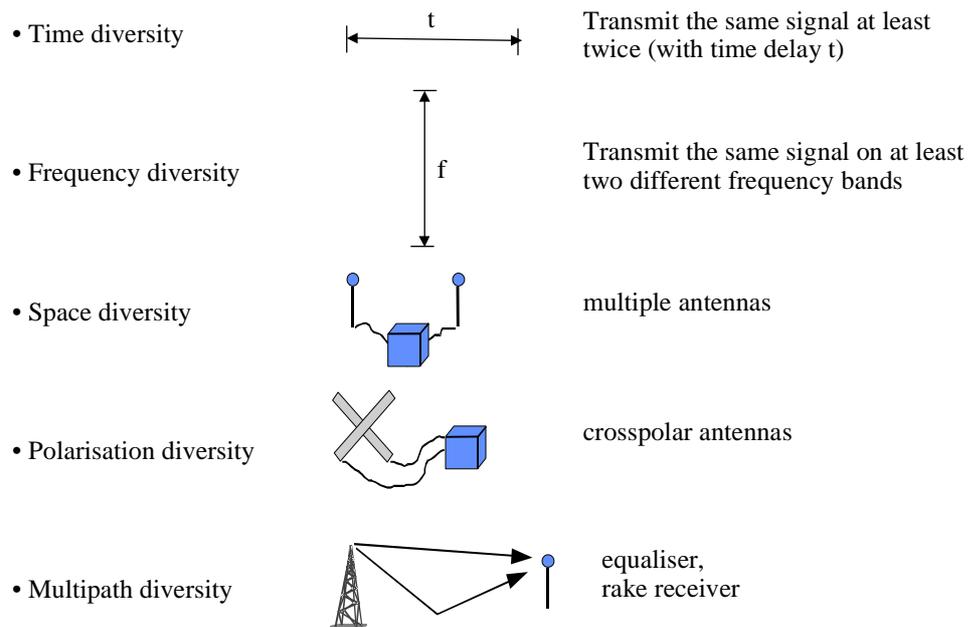


Figura 3.23 Técnicas de diversidad [3]

Los métodos más usados en la planificación de redes celulares son la diversidad de polarización y de espacio, en lo que concierne a las antenas de las EBs

Pero, una pregunta muy sencilla que podemos formular es: ¿se mejora la cobertura mediante las técnicas de diversidad? En el cálculo de balances de potencia, la diversidad conlleva una mejora de la señal de aproximadamente 5 dB, no se trata de una mejora física, es decir, es físicamente imposible que una señal aumente 5 dB. Se trata de una ganancia indirecta. Este aumento de ganancia equivalente permite una mayor tolerancia en las pérdidas de trayecto, es decir un rango de comunicaciones mayor.

Una compañía suministradora alego que si se permitían 3 dB mas de pérdidas de trayecto, ellos proporcionarían un 20% más de alcance de cobertura, es decir, un 40% más de área de cobertura por celda. La conclusión fue que ellos necesitan un 40% menos de EBs para cubrir la misma zona, pero este astuto cálculo es completamente erróneo. Esto podría ser cierto en teoría si el entorno fuera infinitamente largo y plano, si no existieran solapes entre celdas y las celdas estuvieran situadas exactamente igual y no existieran obstáculos dentro de todo el área. Esto obviamente no es el caso real.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

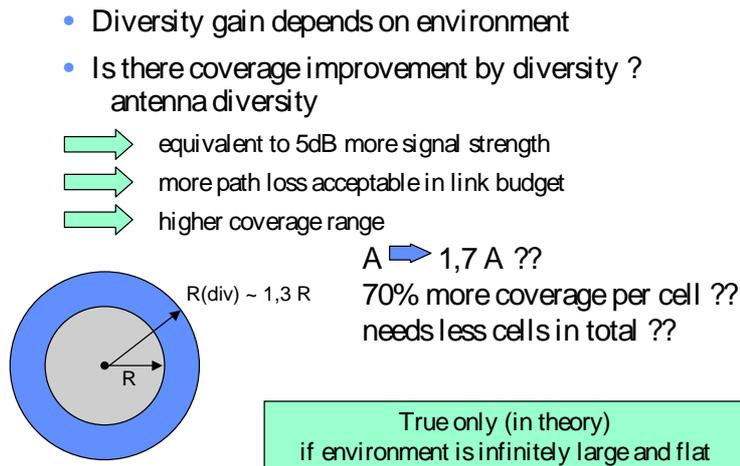


Figura 3.24 Ganancia en diversidad equivale a ganancia [3]

## 3.3.2 CABLES COAXIALES

Los cables coaxiales de diferentes diámetros se usan normalmente para transportar la señal RF desde las unidades de tx/rx de la BTS a la antena de la misma. Las distancias suelen estar en el rango de 10 a 50m. Los cables de menor grosor son más fáciles de instalar (debido al radio de curvatura), pero también causan mayores pérdidas por unidad de distancia. Conectores, jumper, etcétera causan pérdidas adicionales de la señal RF. Los valores típicos para cables de menor y mayor diámetro son 10dB/100m y 4dB/100m respectivamente.

Los valores típicos de la pérdida introducida por los cables entre la BTS y la antena son de 3,5 dB aprox. Esto significa que más del 50% de la energía de la señal se pierde antes de que esta llegue a la antena transmisora o a la unidad receptora del equipo, por tanto los cables deben ser lo más cortos posibles.

Las principales características del cable coaxial son:

- Hay distintos tipos de cable coaxial en función del diámetro:  $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{7}{8}$ " y  $1 \frac{5}{8}$ ".
- Las pérdidas oscilan entre 10 y 4db/100m, es proporcional a la longitud del cable.
- . Los conectores agregan unas pérdidas de 1dB.
- A mayor grosor se producen menos pérdidas en función de la longitud de cable, se necesita mayor radio de curvatura y el precio es mayor

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.3 PLANIFICACIÓN DE RED

## 3.3.1 ASPECTOS DE LA PLANIFICACION DE RED

La planificación de red es una tarea compleja que supone interacciones entre diferentes partes dentro de las organizaciones de los operadores. Algunas tareas son interactivas, sin embargo si necesitan bastante tiempo y recursos. La siguiente figura muestra las principales dependencias e interacciones dentro del ámbito de la planificación de red.

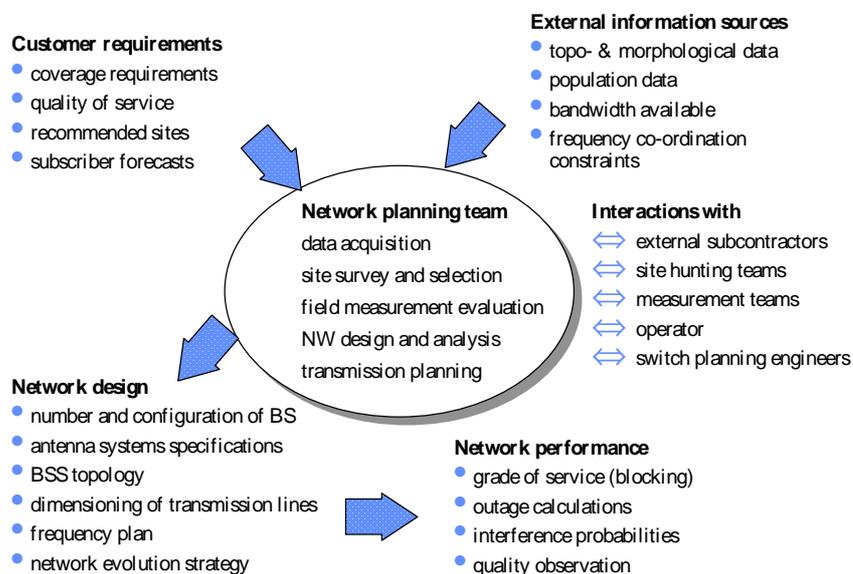


Figura 3.25 Ámbitos de la planificación [3]

Este diagrama indica que para poder crear un equipo de diseño de red son necesarios los requisitos del cliente y fuentes de información externa. Una vez que se disponga de todo el equipo seremos capaces de elaborar todas las tareas que engloban el diseño de una red, cuya finalidad es alcanzar un rendimiento, especificado por la operadora, de la red

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.3.5 EL PROCESO DE LA PLANIFICACIÓN CELULAR

Como ya se ha comentado la planificación es una tarea iterativa y que consume tiempo. Esto supone una serie de conversaciones y discusiones con el departamento de adquisiciones. La siguiente figura muestra el diagrama del proceso principal.

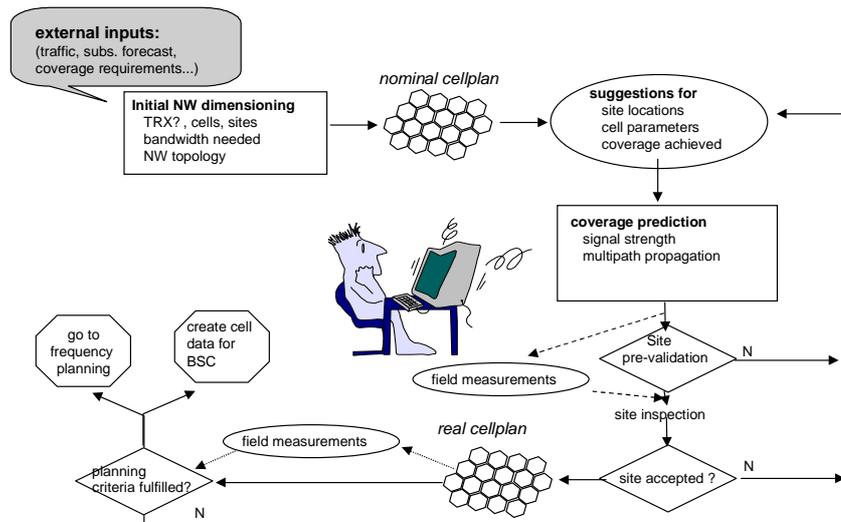


Figura 3,26 Diagrama de planificación [3]

En el proceso de planificación los inputs (las aportaciones) de los departamentos de marketing y planificación de negocio de las operadoras son considerados para el diseño inicial de red. Teniendo en cuenta estos inputs se continúa con el proceso de planificación celular. El objetivo de la planificación en la parte de transmisión es minimizar los costes para la transmisión por encima del ciclo de vida de la red. Esto es lo que entonces decide la topología final de la red. Los cálculos de frecuencias e interferencias se repiten varias veces en el proceso de planificación antes de la fase de aceptación por parte del cliente. Este proceso incluye detallados inputs sobre volúmenes de tráfico y distribución de tráfico que se esperan en la red.

Los parámetros de planificación y optimización incrementan el rendimiento de la red.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

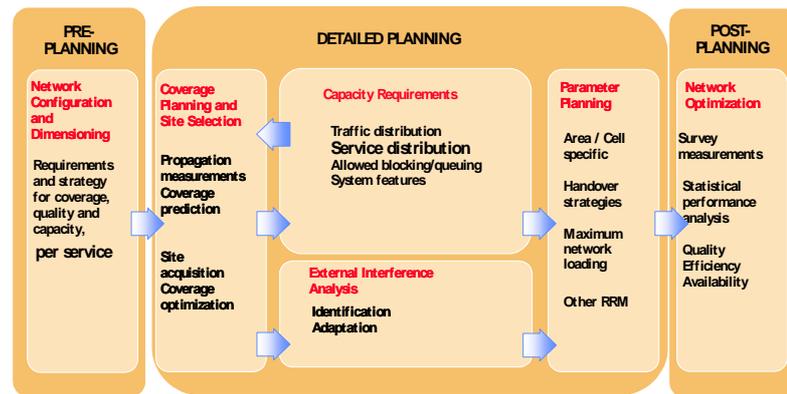


Figura 3.27 Proceso de planificación celular [3]

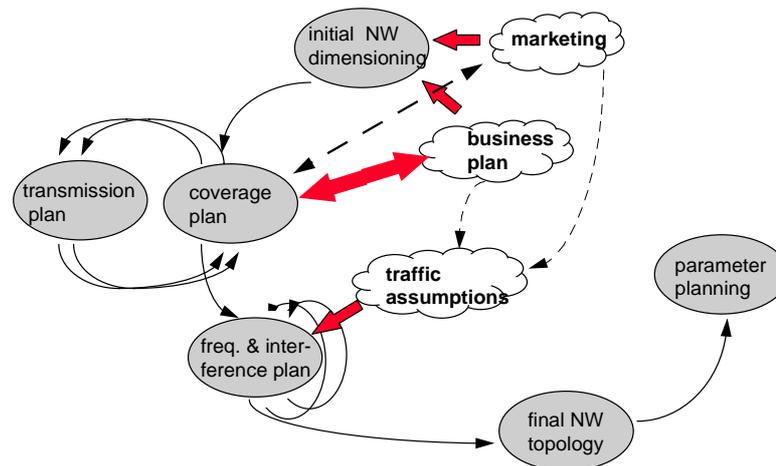


Figura 3.28 Principios de la planificación celular [3]

## 6.3.3. DATOS PREVIOS AL PROCESO DE PLANIFICACIÓN.

Los datos previos al proceso de planificación se pueden agrupar en dos tipos: datos demográficos, y topográficos

*Datos demográficos:* son útiles para la estimación de la densidad y distribución del tráfico. Saber cómo se distribuye la población dentro de una zona es una valiosa información para colocación de las EBs, saber las posibles opciones para la línea fija, la electricidad, etc.

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Datos topográficos. Antes de empezar con las tareas de planificación, es necesario recabar algunos datos topográficos elementales para obtener una primera impresión de las características de la zona. Fuentes de datos útiles son el estudio de los mapas y el conocimiento local de los residentes.

Los mapas incluyen importante información como la localización de las principales ciudades, las carreteras principales, las cordilleras, áreas deshabitadas, costas... Dentro del conocimiento local se incluyen: perfil típico de la ciudad (altura de los edificios), la arquitectura típica de los edificios, la estructura de la ciudad y los hábitos de población local (jornada laboral, tipos de conversación, hábito telefónico).

#### 3.3.4 REQUISITOS DE COBERTURA

La correcta definición de los requisitos de cobertura es base fundamental para la planificación de red. Esto, por supuesto, está en la tradicional línea fronteriza entre el departamento técnico y el de marketing. La experiencia demuestra que este límite rara vez se traspasa. Sin embargo, los operadores en los que los departamentos técnico y de marketing trabajan conjuntamente consiguen mayores éxitos. Los objetivos acordados deberían incluir:

- Fase de desarrollo (roll-out) y programación.
- Definición de niveles de cobertura (umbral de cobertura)
- Acordar los niveles mínimos de cobertura exterior.
- Indicar las áreas de cobertura interior.
- Definir las estrategias de despliegue para las EBs del operador.
  - Configuración omni en áreas rurales
  - Configuración trisectorial en áreas urbanas
  - Configuración mínima de dos portadoras por sector

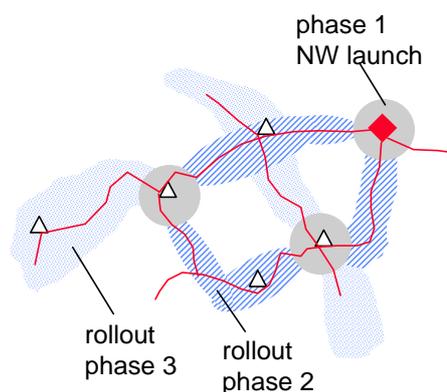


Figura 3.39 Fases de desarrollo [3]

Las fases de desarrollo se pueden desglosar en tres fases: fase de lanzamiento de la red, fase de desarrollo inicial y segunda fase de desarrollo.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Los umbrales de cobertura afectan al tamaño de la celda como se puede observar en la Figura 3.31. En áreas montañosas, las montañas de alrededor tienen más efecto en el tamaño de la celda que el umbral de cobertura.

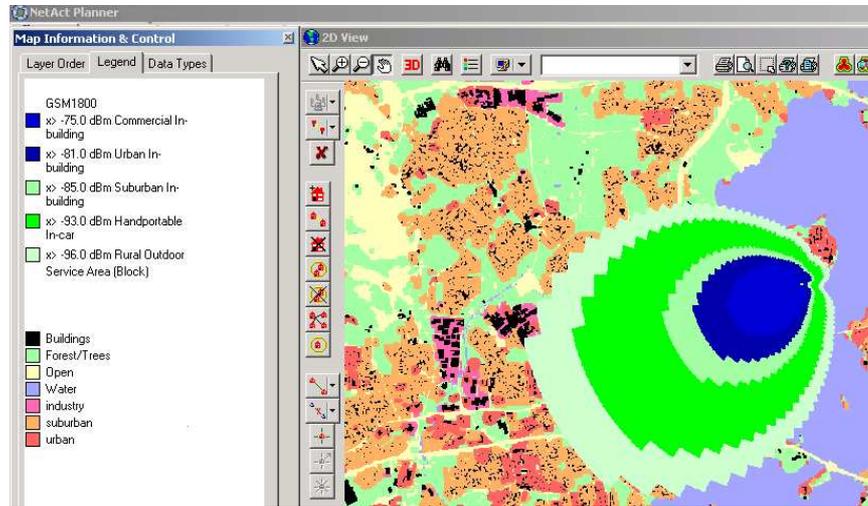


Figura 3.30 Los umbrales de cobertura define el tamaño de las celdas en las zonas planas [3]

La cobertura total de una zona nunca se puede garantizar. Existen zonas sin cobertura debido a que los vacíos de cobertura e interferencias siempre tendrán lugar. La probabilidad de posicionamiento total en una celda es una función de probabilidad de no cobertura e interferencia:

$$(1 - P_{no\_cov}) * (1 - P_{if})$$

Los valores comunes para la probabilidad de localización total suelen estar entre 90% y 95% (probabilidades de tiempo y localización).

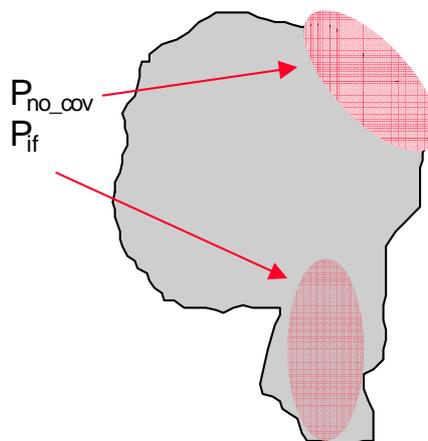


Figura 3.31 Zonas sin cobertura

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.3.5 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

## 3.3.5.2 LOCALIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

La localización apropiada del emplazamiento (site) determina la utilidad de sus celdas. Los emplazamientos son caros, son inversiones a largo plazo. La adquisición de un emplazamiento es un proceso lento, y se necesitan cientos de emplazamientos por red. Por lo tanto el emplazamiento de una EB es recurso valioso a largo plazo para el operador. Este es el motivo por el que el planificador necesita visitar cada emplazamiento.

## 3.3.5.1.1 LOCALIZACIÓN ERRÓNEA DEL EMPLAZAMIENTO

Se deben evitar los emplazamientos localizados en las cimas de las montañas porque causan los siguientes problemas:

- Interferencias incontroladas
- Coberturas intercambiadas, la señal de la estación que debe cubrir la zona es más débil que la señal de otra EB.
- Funcionamiento incorrecto de handover.
- Sin embargo, esta localización sería ideal para el radioenlace.

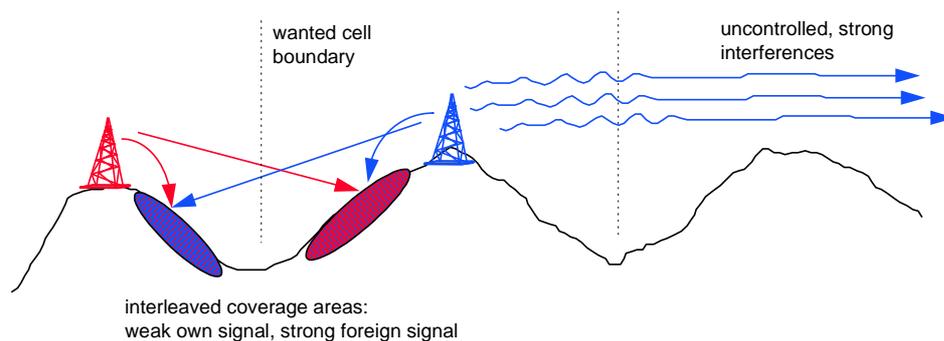


Figura 3.32 Localización incorrecta para un emplazamiento [3]

## 3.3.5.1.2 LOCALIZACIÓN CORRECTA DEL EMPLAZAMIENTO.

Es preferible situar el emplazamiento fuera de la cumbre por los siguientes motivos:

- Las montañas se pueden usar para separar celdas

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

- El área de cobertura es continua
- Si el emplazamiento está levemente elevado sobre el pie de la montaña solo serán necesarias antenas de pequeño tamaño.

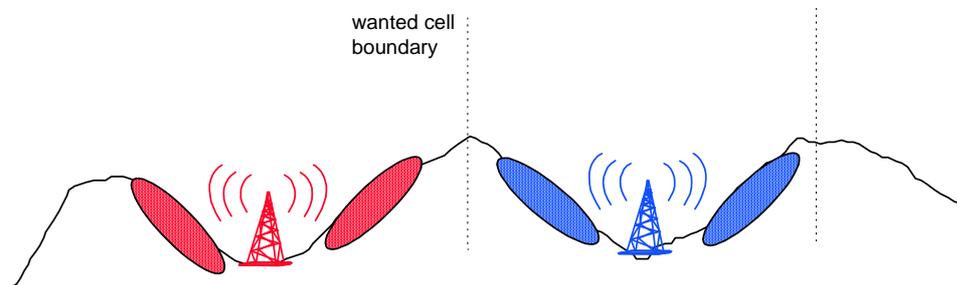


Figura 3.33 localización correcta para el emplazamiento [3]

#### 3.3.5.1.3 CRITERIO DE SELECCIÓN DE UN EMPLAZAMIENTO.

Podemos dividir los criterios de selección en dos grupos: radio y no-radio (otros criterios):

- ❖ Criterios radio para la selección de emplazamientos:
  - Buena visibilidad en la dirección del haz principal.
  - No existan grandes obstáculos alrededor.
  - Espacios para la instalación de las antenas.
  - Exista visibilidad (LOS) con alguna estación próxima.
  - Cableado menor posible.
- ❖ Otros criterios para la selección de emplazamientos:
  - Espacio para los equipos
  - Disponibilidad de línea alquilada o radioenlace.
  - Suministro de potencia necesaria
  - Restricción en los horarios de acceso al emplazamiento
  - Propietarios y coste del alquiler

A continuación se muestra el proceso de construcción de un emplazamiento, las diferentes tareas necesarias hasta que una EB entra en funcionamiento. No se trata de un proceso sencillo y fácilmente modificable.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

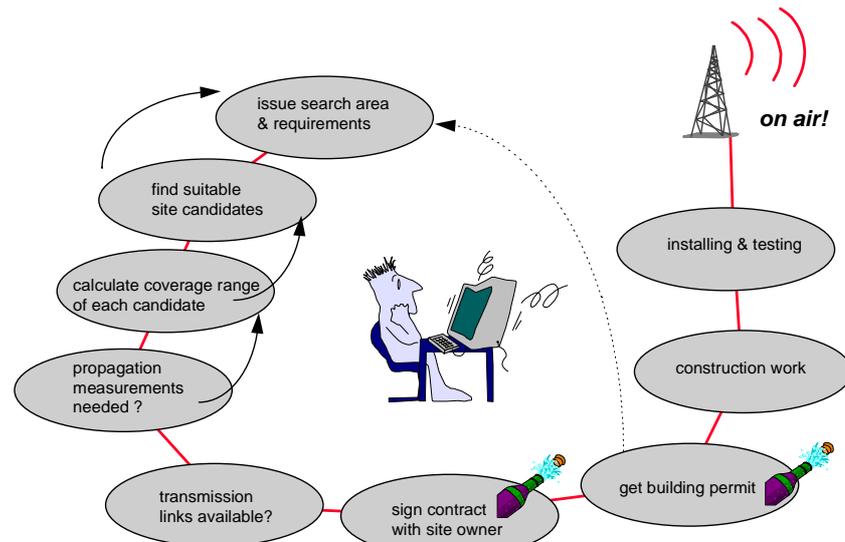


Figura 3.34 Proceso de construcción de un emplazamiento [3]

## 3.3.5.2 INFORMACIÓN SOBRE UN FUTURO EMPLAZAMIENTO

Es necesario recabar toda la información sobre los detalles del emplazamiento. La información fundamental debe incluir:

- Las coordenadas del emplazamiento, altura sobre el nivel del mar y dirección exacta.
- Datos del propietario o propietarios.
- Tipo de edificio.
- Posible altura de las antenas
- Foto panorámica (360°)
- Anotaciones y/o fotos del entorno próximo.
- Croquis de la cubierta del edificio o parcela.
- Posible configuración de las antenas
- Accesos hasta el emplazamiento, el estado de la carretera, cubierta...
- Localización de la BS y tirada de cable aproximada.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.4 PLANIFICACION RADIO

En este apartado se explicaran los aspectos básicos de la planificación radio: el tamaño de las celdas, las zonas de cobertura, también se tratara la planificación de tráfico así como los parámetros radio básicos en las redes móviles.

## 3.4.1 EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS CELDAS

A la vez que se calculan las pérdidas de trayecto máximas en el balance de potencia se puede evaluar el tamaño que puede alcanzar una celda. La evaluación se basa en los modelos de propagación básicos (típicamente Okumura-Hata) usando los factores de corrección del tipo de área básica.

El procedimiento para la evaluación del tamaño de celdas es el siguiente: asumiendo que los cálculos del balance de potencia realizado han demostrado un cierto valor para las pérdidas máximas permitidas, se usa la formula de Okumura-Hata con un factor de corrección típico para obtener el alcance de celda típico para esta magnitud, este se denomina  $R_{max}$ , tenemos que tener en cuenta el nivel de intensidad de campo sigue una distribución normal con una cierta desviación típica. El valor obtenido para el alcance de celda representa el principal valor de la distribución gaussiana, el cual se describe en la siguiente grafica (3.36). Esto significa que la probabilidad de posicionamiento en el borde de la celda es del 50%. Por supuesto que este resultado no nos interesa, pero necesitamos saber la probabilidad de posicionamiento sobre toda el área de la celda. Esta se puede obtener mediante la integración de la función de distribución gaussiana sobre el área de la celda. El resultado dependerá de la anchura de la distribución (desviación típica)

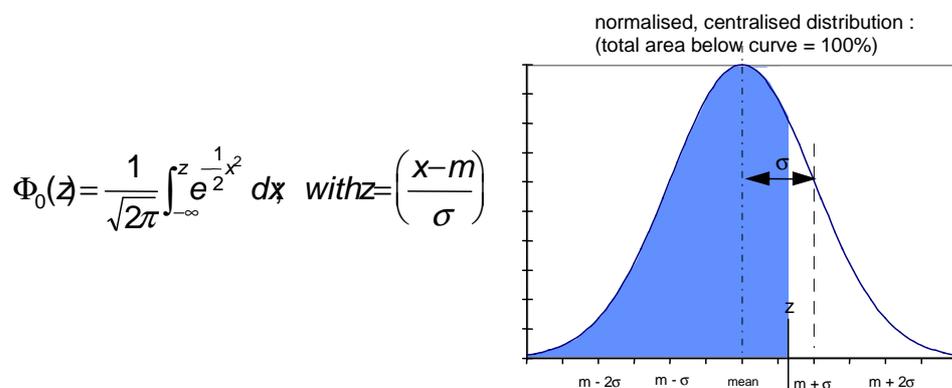


Figura 3.35 Distribución gaussiana

3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Aunque no se indiquen los cálculos aquí, por ejemplo si la desviación típica es de 7dB, la probabilidad de posicionamiento del borde de la celda de 50% corresponde aproximadamente al 75% de probabilidad de posicionamiento de toda el área de la celda. Típicamente, la probabilidad de posicionamiento del 90% se busca, esta clase de probabilidad de posicionamiento, con una desviación típica de 7 dB, sobre la celda se corresponde a un 74% de probabilidades de localización en el borde de la celda.

Por tanto, se puede decir que a causa del desvanecimiento lento y los requisitos de una probabilidad de posicionamiento mayor del 75%, el alcance de la celda se ve reducido siendo menor que  $R_{MAX}$ , se denomina  $R_{ACTUAL}$ . En la siguiente figura se explica la diferencia.

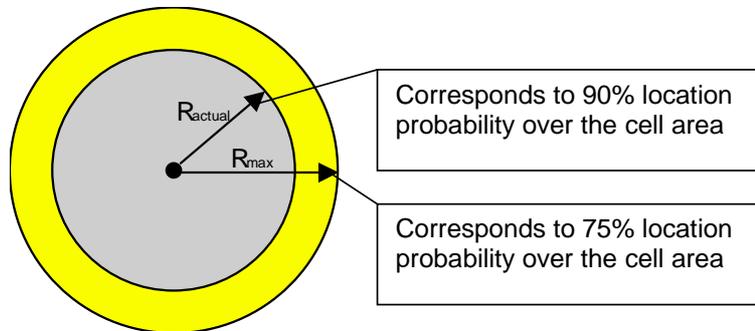


Figura 3.36 Alcance de las celdas [3]

Cuando se evalúa los alcances de las celdas en los casos de interior, no solo tenemos que añadir las pérdidas por penetración, también hay que considerar el incremento de la desviación típica, cuando sumamos valores de la distribución normal.

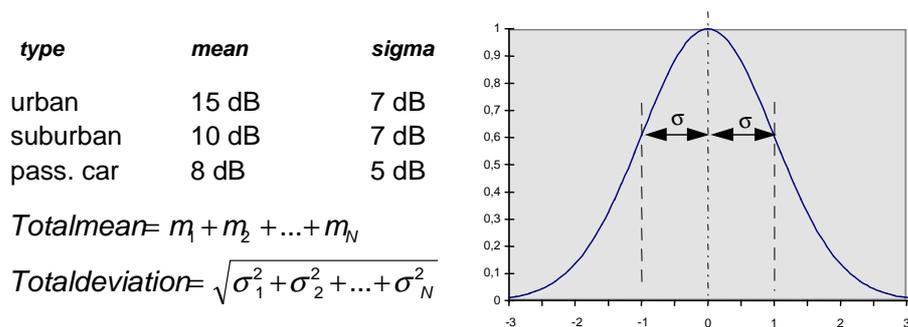


Figura 3.37 Suma de distribuciones

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

El incremento de anchura de la distribución interior de la pérdidas de trayecto significa que hacienda los cálculos de probabilidad de posicionamiento nos acercaremos a márgenes de desvanecimiento lento más altos.

La evaluación del alcance de las celdas se puede hacer fácilmente usando una hoja de cálculo. Un ejemplo de esta aplicación se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Aproximación de rango de celdas

COMMON INFO	DU	U	SU	F	O
MS antenna height (m):	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
BS antenna height (m):	30,0	30,0	30,0	45,0	45,0
Standard Deviation (dB):	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
BPL Average (dB):	15,0	12,0	10,0	6,0	6,0
Standard Deviation indoors (dB):	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
OKUMURA-HATA (OH)	DU	U	SU	F	O
Area Type Correction (dB)	0,0	-4,0	-6,0	-10,0	-15,0
WALFISH-IKEGAMI (WI)	DU	U	SU	F	O
Roads width (m):	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Road orientation angle (degrees):	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Building separation (m):	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Buildings average height (m):	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
INDOOR COVERAGE	DU	U	SU	F	O
Propagation Model	OH	OH	OH	OH	OH
Slow Fading Margin + BPL (dB):	22,8	19,8	17,8	13,8	13,8
Coverage Threshold (dBμV/m):	59,1	56,1	54,1	50,1	50,1
Coverage Threshold (dBm):	-77,2	-80,2	-82,2	-86,2	-86,2
Location Probability over Cell Area(L%):	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
<b>Cell Range (km):</b>	<b>1,33</b>	<b>2,10</b>	<b>2,72</b>	<b>5,70</b>	<b>7,99</b>
OUTDOOR COVERAGE	DU	U	SU	F	O
Propagation Model	OH	OH	OH	OH	OH
Slow Fading Margin (dB):	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Coverage Threshold (dBμV/m):	40,8	40,8	40,8	40,8	40,8
Coverage Threshold (dBm):	-95,5	-95,5	-95,5	-95,5	-95,5
Location Probability over Cell Area(L%):	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
<b>Cell Range (km):</b>	<b>4,39</b>	<b>5,70</b>	<b>6,50</b>	<b>10,69</b>	<b>14,99</b>

Obviamente, estos radios de celda son valores medios para un cierto tipo de zona, en la práctica, los tipos de área no son contantes, por tanto esos radios no se pueden aplicar en cualquier entorno real. De todos modos, si son buenas aproximaciones que se pueden utilizar para el dimensionamiento de la red.

## 3.4.2 AREA DE COBERTURA

En este apartado se explica la evaluación del área de cobertura de una celda y los distintos términos que puede tener una celda en función de la cobertura que ofrezca.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.4.3.2 EVALUACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA

Después de determinar el alcance de la celda, se puede calcular la correspondiente área. En la fase de dimensionamiento de la red, se puede realizar el cálculo de área mediante el modelo hexagonal tradicional. Por supuesto, tenemos en cuenta que en las celdas de las redes reales son muy diferentes de los hexágonos teóricos, pero para la determinación dimensional no hay otro modo.

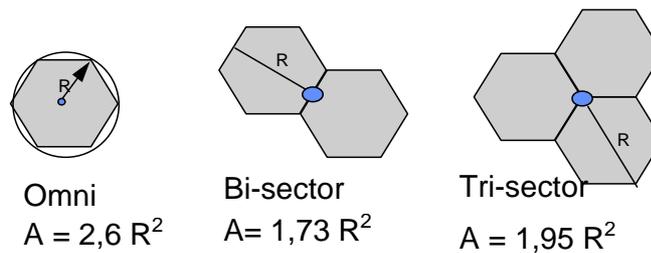


Figura 3.38 Definición de área para celdas hexagonales (Apuntes de Comunicaciones Móviles)

En la figura anterior se observa la relación entre el alcance (radio) de la celda y el área en el modelo hexagonal, notamos que el radio de la celda es diferente en función de la configuración. Estas formulas se utilizan en herramientas de dimensionamiento de red para calcular el número de sites necesarios. Pero esta teoría se usa para ilustrar un principio teórico, sin embargo en la realidad las celdas tienen formas irregulares como se puede ver en la siguiente figura.

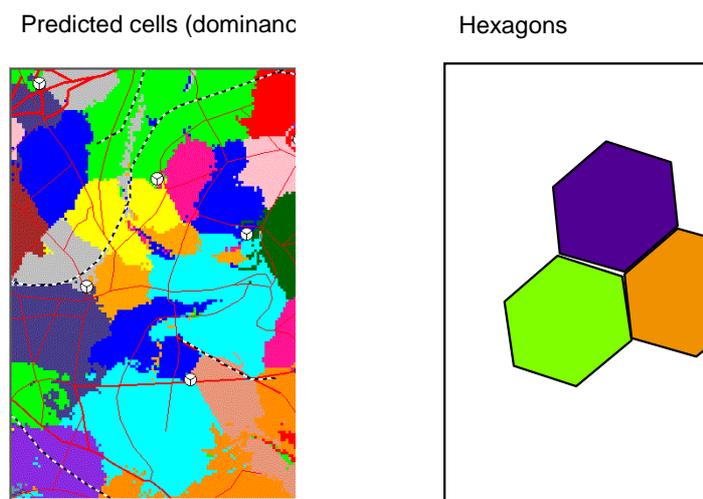


Figura 3.39 diferencia entre el modelo hexagonal y la predicción de cobertura [3]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Se pueden definir distintos términos para un área en función de la cobertura ofrecida por una celda, los más importantes son:

*Área de dominio*, es el área en la cual la señal de la respectiva celda es más fuerte que cualquier otra celda. En esta área todas las llamadas deben ser atendidas por la celda en servicio.

*Área de servicio de una celda*, es el área en el cual la señal está por encima del nivel mínimo de señal planificado. En las zonas limítrofes las llamadas son traspasadas a las celdas vecinas. Este es el área que normalmente se define y optimiza en el proceso de planificación de cobertura

*Área de cobertura de una celda*, es el área en el que las conexiones radio se mantienen. El nivel de señal puede caer por debajo del valor mínimo planificado. Normalmente los móviles dentro de este radio ya deberían de haberse traspasado a las celdas vecinas. Sin embargo, por razones de congestión o por un incorrecto ajuste de los parámetros, los móviles se pueden encontrar en esta área. Obsérvese que el área de cobertura física puede ser (dependiendo de las reglas de planificación y diseño) considerablemente mayores que el área de servicio. Los móviles que se encuentran en el área de cobertura física pueden causar grandes interferencias en las otras celdas, ya que no se prevé que un móvil en esa situación esté conectado a la respectiva celda.

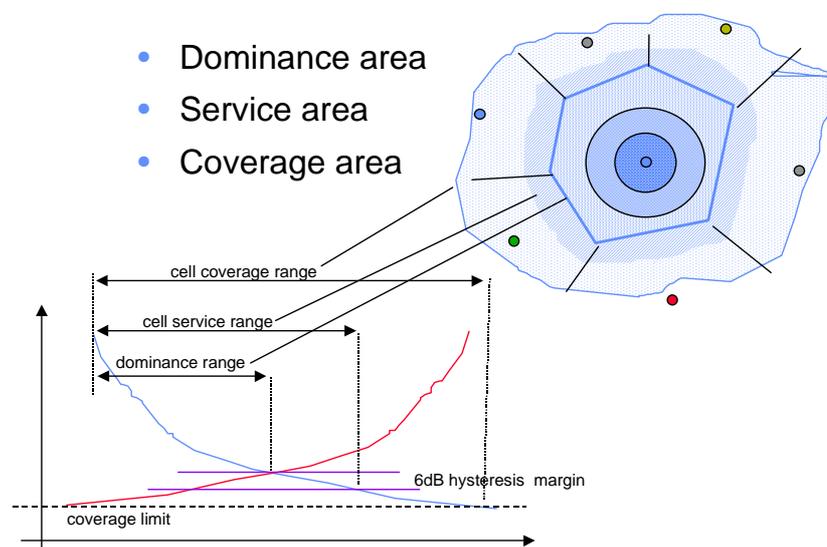


Figura 3.40 Definición de tipos de áreas [3]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.4.3 TRÁFICO

## 3.4.3.1 ESTIMACIONES DE TRÁFICO

Una red está constantemente cambiando. Mientras que la cobertura normalmente se planifica en las fases de inicio, la evolución del volumen de tráfico esperado es mucho más difícil de evaluar. Una vez más esto puede ser fuertemente influenciado por las acciones y campañas del departamento de marketing.

Actividades de marketing inesperadas, tales como el lanzamiento de una tarifa más barata pueden causar estragos en cualquier planificación de capacidad desarrollada por técnicos. A continuación se enumeran ciertos aspectos a tener en cuenta en la estimación del tráfico.

- Estimate number of subscribers over time
  - long-term predictions
  - numbers available from marketing people?
- Expected traffic load per subscriber
  - different subscriber segments ?
  - expected behaviour of user segments
- Particular phone habits of subscribers
  - e.g. mainly heavy indoor usage
  - phoning while in traffic jams ?
- Busy hour conditions
  - time of day
  - traffic patterns



Figura 3.41 Estimación Del tráfico [3]

Para estimar el tráfico de la red, existen cuatro aspectos fundamentales: el número de abonados, la carga de tráfico por abonado, los hábitos de los abonados y la hora cargada.

## 3.4.3.2 PLANIFICACIÓN DEL TRÁFICO

Se debe calcular el volumen y distribución del tráfico dentro de una red. Los principales datos para ello son:

- El número de abonados por unidad de superficie.
- El volumen de tráfico generado por abonado/ por tipo de usuario
- Área geográfica a cubrir.

A partir de estos datos se puede calcular el tráfico esperado por unidad de superficie. Además se puede estimar el tráfico por celda llevándonos al número de TRX necesarios por celda. Es entonces cuando se necesita compilar un plan de asignación de frecuencias

Se debe añadir suficiente capacidad por encima de los valores calculados para permitir las comunicaciones de abonados de otros países, movilidad y picos de tráfico local. El

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

cuello de botella del sistema no debería residir en la capacidad de las líneas de transmisión.

#### 3.4.3.3 PATRONES DE TRÁFICO

El tráfico en una red no se distribuye uniformemente. Hay horas punta (hora cargada), normalmente entre las 10h y las 15.00h. Sin embargo el tráfico es significativamente menor en vacaciones y fines de semana. Los patrones de tráfico se pueden ver enormemente influenciados por la política de tarifas de un operador.

Los planificadores de red, sin embargo, siempre deben diseñar la red de tal modo que estando bajo condiciones de la “hora cargada” se deben alcanzar los criterios de calidad del operador. Desafortunadamente, en la mayoría de los casos esto implica que la red este sobre-dimensionada (existe demasiada capacidad libre que solo se utiliza en las horas punta de le día, mes, año)

Es económicamente acertado tomar acciones para que el volumen de tráfico se reparta a través del tiempo. Esto permite un uso más eficiente de la infraestructura de red, pero también requiere una cooperación y comunicación entre los departamentos de marketing y planificación del operador.

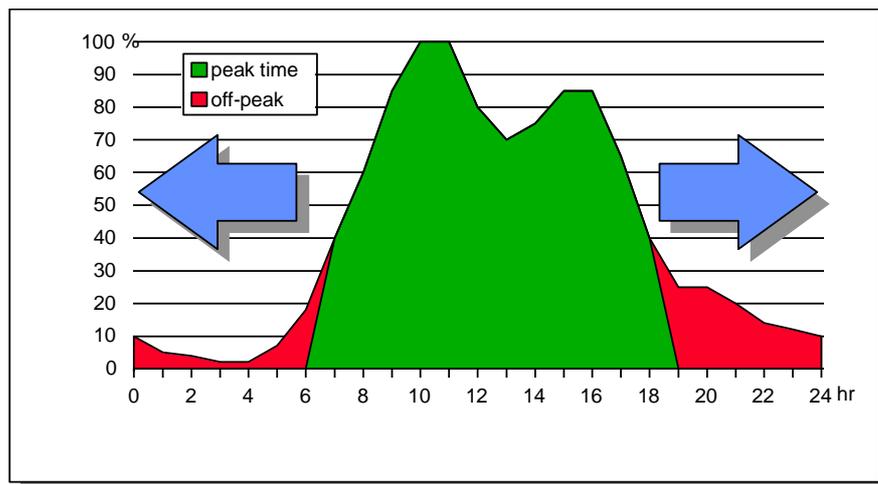
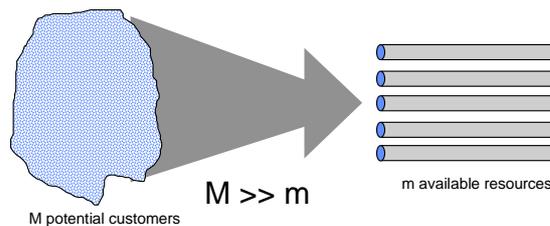


Figura 3.42 Patrones de tráfico [3]

El clásico problema en los sistemas telefónicos es como combinar miles de clientes potenciales en un número limitado de recursos disponibles (líneas de comunicación telefónicas). La teoría de tráfico y el análisis de tráfico tratan de proporcionar respuestas a estos problemas.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

- Problem: many customers, limited number of resources



- How many resources do we need to satisfy the demand?

Figura 3.43 Problema clásico de tráfico [3]

### 3.4.4 PLANIFICACIÓN DE PARÁMETROS Y FUNCIONALIDADES DE LA RED RADIO

El proceso de planificación de parámetros es el segundo paso después de la implementación de la red. Existe una gran variedad de parámetros disponibles. Se pueden clasificar así:

- Parámetros de la BSC
- Parámetros de la BTS.
- Parámetros de la BTS para el control del Handover
- Parámetros de la BTS para el control de potencia.
- Parámetros de adyacencia.
- Parámetros de los TRX.

En primer lugar se tienen que configurar los parámetros relacionados con la configuración de canal:

- Combinación de canales.
- Determinar previamente la capacidad de SDCCH y CCCH.
- Los canales de tráfico.

En segundo lugar se deben especificar los parámetros relacionados con el modo de operación inactivo (idle). Cuando el móvil está en modo inactivo, necesita alguna información sobre la red para saber las frecuencias correctas y encontrar las celdas correctas. Esta información, en realidad está relacionada con la administración de recursos radio (Radio Resource Management) y la administración de movilidad (Mobility Management):

- Parámetros de acceso a la PLMN.
- Identificación del área de localización, que está compuesta por el código de red móvil (MNC), el código de país (MCC) y el código de área de localización (LAC).
- Código de identificación de celda (Cell ID)

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Otros parámetros relacionados con los canales radio son:

- Código de identificación de la estación base (BSIC) que incluye el NCC y el BCC.
- Una vez que la BS se identifica dentro de una red, las frecuencias de cada TRX deben ser configuradas

En el sistema GSM la idea básica es que el móvil este siempre en la celda que ofrece mejor cobertura y que el sistema sepa dónde está el MS. En el modo inactivo la movilidad está asegurada con la configuración de los siguientes criterios:

- Selección de celdas, basadas en la comparación entre C1 y C2.
- Actualización de la localización
- La utilización del código IMSI

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.5 PLANIFICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN

El objetivo de la planificación de transmisión es conectar los emplazamientos de la red radio de tal manera que el criterio de red se alcance de la manera más eficiente en relación al coste. La transmisión es una parte importante del esfuerzo técnico en la construcción de una red. Los costes para transmisión suelen ser el 20% de los costes operativos anuales de un operador.

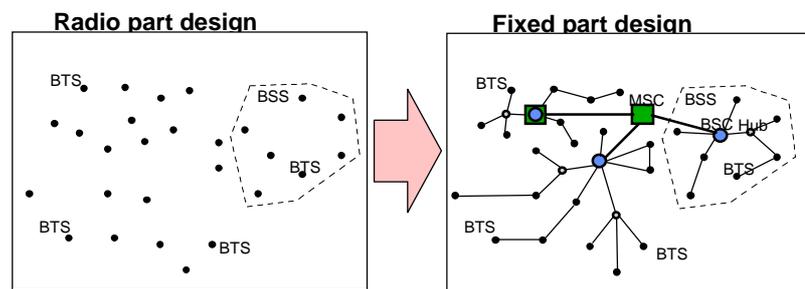


Figura 3.44 Diseño de la planificación de transmisión [3]

La planificación de transmisión empieza en cuanto se tiene el primer croquis de plan nominal de radio. Es necesario una cooperación muy cercana entre los equipos de planificación radio y transmisión. Los aspectos de transmisión ya se deben incluir en el plan de emplazamientos nominal porque un emplazamiento que no se pueda conectar con otros es un elemento inútil en la red. Es importante que en la fase de replanteo de los emplazamientos, los planificadores de radio y transmisión visiten juntos cada emplazamiento.

Algunos aspectos de la planificación en transmisión difieren significativamente de la planificación radio. La capacidad en transmisión se debe planificar para la fase final de la red. La idoneidad de un emplazamiento para transmisión puede cambiar de ideal a inútil, cuando elegimos entre dos candidatos vecinos. Los cambios en los emplazamientos pueden causar importantes cambios en la topología de la red de transmisión. Por ejemplo si en un nuevo candidato no hay LOS (Line of Sight), la topología entera de la red se tiene que cambiar. Los problemas de interferencias podrían exigir re-planificar todas las frecuencias utilizadas.

Los parámetros típicos definidos por el cliente son:

- Requisitos de indisponibilidad y rendimiento.
- Requisitos de medio de transmisión ( línea alquilada, red propia)
- La probabilidad de bloqueo en diferentes interfaces de transmisión.
- Tipo y nivel de protección.
- Infraestructura para transmisión existente.
- Aumento estimado y/o necesidad de reserva de capacidad

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Los parámetros típicos definidos por el equipo de de planificación son:

- Número total de BTSs
- Numero de portadoras en cada BTS.
- Localización del emplazamiento nominal.

Normalmente la planificación de los radioenlaces forma parte del proceso de planificación. Una parte esencial y laboriosa de dicha planificación es hacer un LOS para asegurarse que hay espacio libre para la señal radio del enlace y definir la altura en la que se instalara las antenas.

#### 3.5.1 TOPOLOGÍAS BÁSICAS DE RED Y TRANSMISIÓN

Las topologías de transmisión se establecen frecuentemente en función de la disponibilidad de las líneas de transmisión. Siempre hay un intercambio entre disponibilidad y costes. En la siguiente figura se pueden ver algunas de las posibles configuraciones.

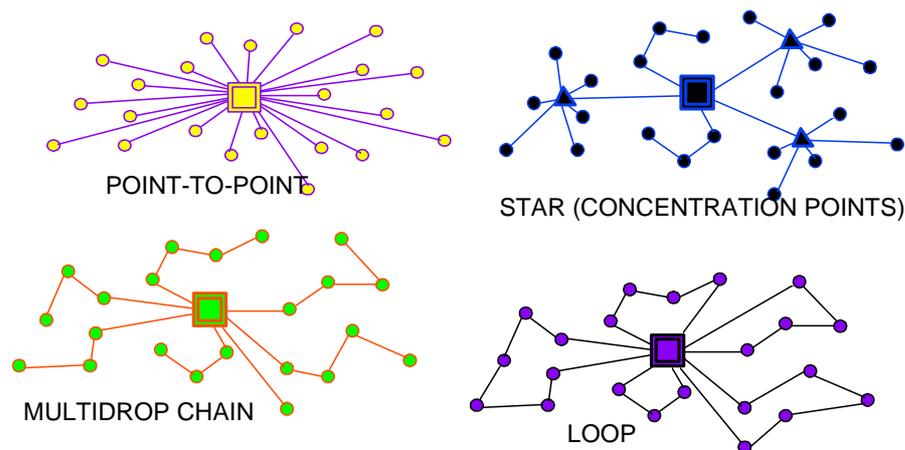


Figura 3.45 Topologías básicas de transmisión [3]

Una decisión básica es si se usa arquitectura de red centralizada o no centralizada. Esto depende de la estrategia del operador y la estructura topológica de la zona. Nos podemos hacer la siguiente pregunta: ¿es mejor tener un número menor de BSC con mayor capacidad situadas junto a las MSC y asumir mayores costes en transmisión o en su lugar tener pequeñas BSC en zonas remotas y menores costes de transmisión?

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.5.2 LA PLANIFICACIÓN DE LOS RADIOENLACES.

Los radioenlaces proporcionan una alternativa viable de gran capacidad a las líneas de transmisión terrestre fija. Las frecuencias operativas están en el rango de 2 a 57GHz. Las principales ventajas son:

- Bajos costes operativos
- Fácil instalación
- Es una solución rápida y fiable.

Por otro lado las principales desventajas son:

- Es necesario poseer las licencias para utilizar las frecuencias.
- La calidad del radioenlace en las frecuencias más altas depende de los fenómenos Meteorológicos (tormentas, niebla...)
- En las frecuencias más altas son problemáticos los enlaces de grandes distancias.

Las distancias que pueden alcanzar los radioenlaces dependen de la frecuencia que se utilice para ellos, a continuación se enumeran las máximas distancias en función de la banda de frecuencia:

- Banda de 2 GHz saltos de hasta 80km
- Banda de 7 GHz saltos de hasta 50km
- Banda de 18 GHz saltos de hasta 20km
- Banda de 23 GHz saltos de hasta 15km
- Banda de 38 GHz saltos de hasta 7km
- Banda de 58 GHz saltos de hasta 0,7km

En la siguiente gráfica se presenta la estimación de las absorciones atmosféricas:

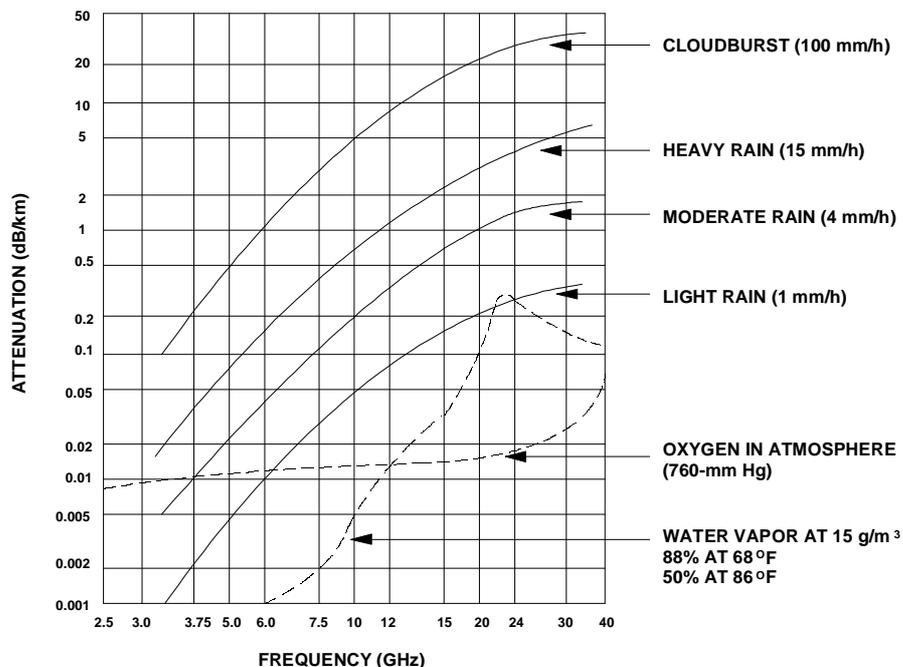


Figura 3.46 Estimación de la absorción atmosférica [3]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.5.2.1 MODULACIÓN

Hay distintas técnicas de modulación, las más comunes para radio-enlaces son:

- Codificación por desplazamiento de frecuencia (FSK)
- Codificación por desplazamiento de fase (PSK)
- Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

## ❖ Modulación FSK

FSK es simplemente la asignación de una frecuencia fija para 0s y otra para 1s. La señal moduladora es un tren de pulsos binarios que solo varía entre dos valores de tensión discretos. La tasa de error es mejor para FSK que para PSK, mientras que la eficiencia de ancho de banda es mejor para PSK que para FSK.

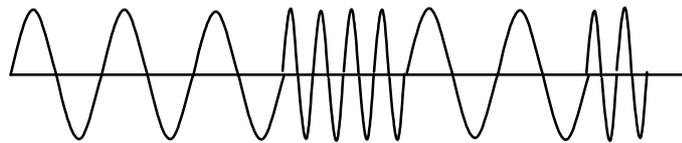


Figura 3.47 Modulación FSK [23]

## ❖ Modulación PSK

Existen diferentes niveles de PSK. El más simple es el PSK de dos fases como se muestra en la siguiente figura. Este tipo de modulación consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos, en este caso 2 (es decir sus fases se diferencian 180°). El siguiente nivel de PSK sería el de cuatro fases (QPSK o 4-PSK).

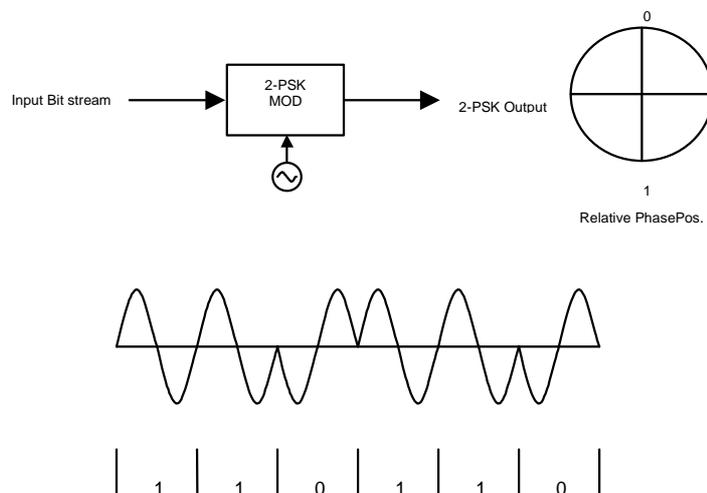


Figura 3.48 Modulación BPSK [23]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## ❖ Modulación QAM

En el caso especial de 4-QAM se usan dos niveles de amplitud como entrada a un modulador BPSK. El sistema es idéntico para QPSK. Sin embargo, sistemas QAM de mayor nivel son claramente diferentes de los sistemas PSK de alto nivel.

Una modulación QAM se puede reducir a la modulación simultánea de amplitud  $ASK_{n,m}$  y fase  $PSK_{n,m}$  de una única portadora, pero sólo cuando los estados de amplitud  $A_{n,m}$  y de fase  $H_{n,m}$  que esta dispone, mantienen con las amplitudes de las portadoras originales  $a_n$  y  $b_n$  la relaciones que se indican:

$$QAM \rightarrow A_n(\cos wt) + B_m(\sin wt) = A_{n,m}\cos(wt - H_{n,m})$$

Donde  $A_n(\cos(wt))$  y  $B_m(\sin(wt))$  están moduladas en ASK,  $A_{n,m}$  esta modulada en ASK y  $(\cos wt - H_{n,m})$  es una expresión modulada en PSK

El principal motivo por el que se cambia a QAM en sistemas de mayor nivel es simplemente para mejorar la eficiencia de ancho de banda.

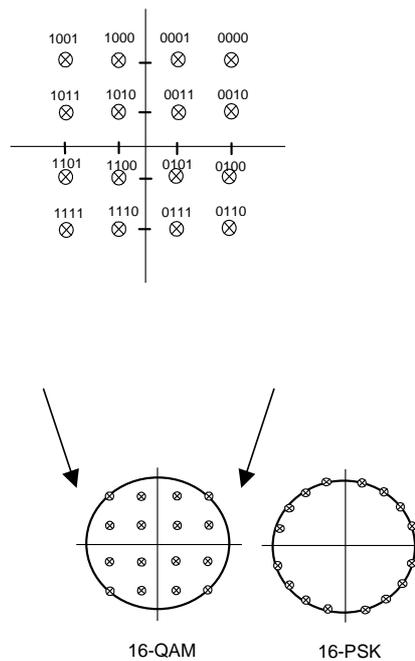


Figura 3.49 16-QAM vs. 16-PSK [23]

## 3.5.3.1 DISPONIBILIDAD DEL RADIOENLACE

La disponibilidad de los radioenlaces se puede calcular mediante la evaluación de las posibles razones que pueden causar indisponibilidad. Los fallos de los equipos o debidos a la naturaleza también pueden causar indisponibilidad.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Hay diferentes modos de mejorar la tasa de error y la disponibilidad. Una manera es usar protección de bucle en la red, pero también hay diferentes tipos de configuraciones de equipos:

- *Cold Stand-By (CSB)* es una configuración donde hay dos radioenlaces, mientras uno de ellos está funcionando el otro está apagado. En caso de fallo hay cierto retraso en la transmisión.
- *Warm Stand-By (WSB)* en esta configuración existen dos radioenlaces, ambos están funcionando, pero solo uno de ellos transmite y recibe.
- *Hot Stand-By (HSB)* en esta configuración los dos radioenlaces están funcionando y ambos están recibiendo y transmitiendo.
- *Diversidad Espacial* la siguiente figura muestra que en diversidad espacial la señal viaja por dos trayectos diferentes desde el transmisor a las dos antenas receptoras. Esas antenas están situadas a diferentes alturas, así que también se puede recibir algo de la señal reflejada.

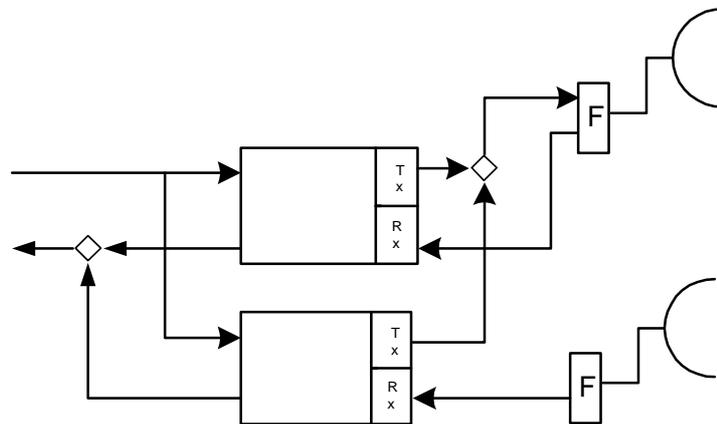


Figura 3.50 Diversidad espacial con dos TX [3]

- *Diversidad de frecuencia*, en la siguiente figura se puede ver que la información se transmite por dos transmisores que operan a diferentes frecuencias.

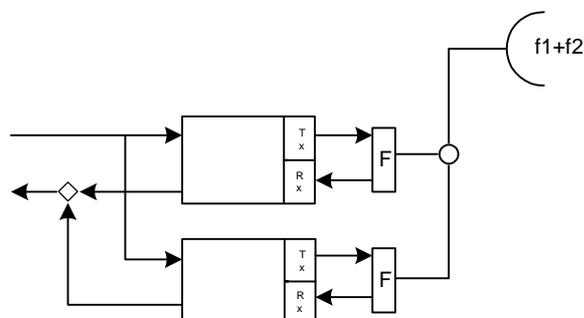


Figura 3.51 Diversidad de frecuencia ,HSB [3]

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

## 3.5.2.3 CONSEJOS PARA EVITAR INTERFERENCIAS

Los principales consejos a tener en cuenta en la planificación de los radioenlaces son los siguientes:

- Usar la banda de frecuencias más alta disponible.
- Atenuar la potencia de transmisión (Tx Power) al mínimo justo para encontrar la disponibilidad requerida.
- Situar las parábolas tan bajas como sea posible siempre que exista LOS.
- Usar grandes parábolas.
- Seleccionar los canales cuidadosamente
- Mantener la regla “Alto- Bajo” en los concentradores
- Intentar obtener niveles de señal recibida similares en los concentradores.

## 3.5.3.1 EXTREMO ALTO Y EXTREMO BAJO

Alto y Bajo siempre se relacionan con los extremos de la transmisión, por ejemplo, si la frecuencia de transmisión es más alta que la de recepción, entonces este debería ser el extremo “alto” y viceversa. Se recomienda mantener o extremos altos o bajos en los concentradores (donde hay más de un radioenlace). La diferencia:

$$f_{\text{High}} - f_{\text{Low}}$$

Se denomina espaciado dúplex (Dúplex Spacing)

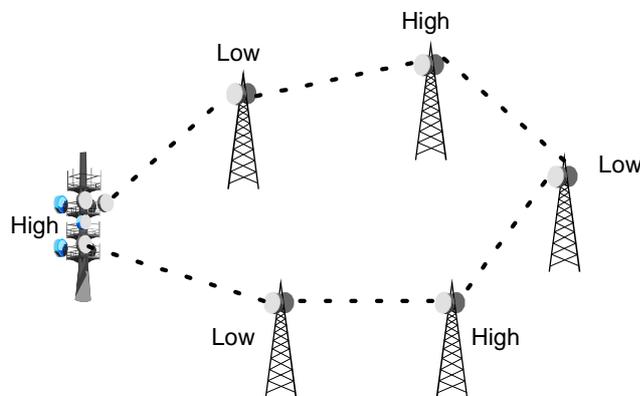


Figura 3.52 Regla “Alto y Bajo” en planificación de transmisión [3]

## 3.5.2.5 ZONA DE FRESNEL

El trayecto de la propagación entre ambos extremos de un radioenlace necesita estar libre de obstáculos. Puesto que los radioenlaces usan normalmente métodos de modulación densos tales como 64-QAM o 256-QAM pueden alcanzar ratios de datos muy altos. El inconveniente a esta ventaja es que el trayecto de transmisión necesita estar absolutamente limpio y despejada de cualquier clase de obstáculos.

Se denomina zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor y el receptor de una onda electromagnética. Los puntos centrales de la elipse son las antenas de ambos

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

extremos del enlace. La primera zona de Fresnel es la elipse (teóricamente) en la cual se causaría un desfase de  $\pi/2$  respecto al trayecto directo. Todas las señales parciales dentro de la 1ª zona de Fresnel se superponen constructivamente en el receptor y contribuyen positivamente en la señal recibida por eso la 1ª zona de Fresnel debe mantenerse despejada. Las ondas que atraviesan la 2ª elipse de Fresnel tendrían un desfase de  $\pi/2$  a  $\pi$  respecto a la onda directa, por tanto podrían superponerse de manera destructiva en el receptor y perder información.

El radio máximo de la elipse de Fresnel se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

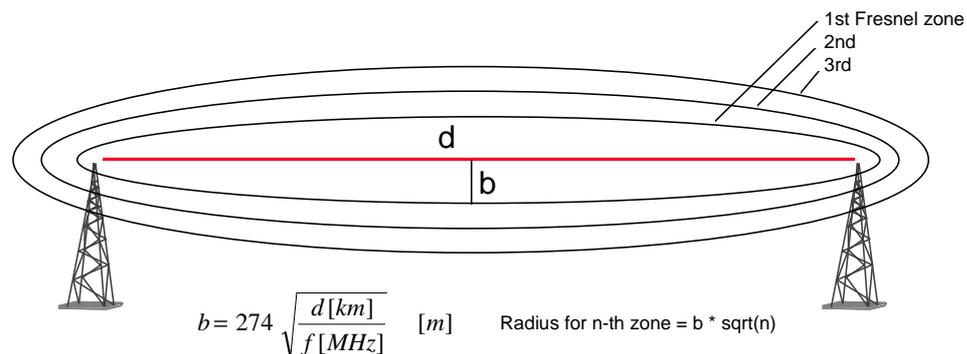


Figura 3.53 Zonas de Fresnel [3]

Si el punto de interés no está situado en medio del enlace, se puede calcular el radio del espacio libre requerido de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$b = 17.3 * \sqrt{d_1 * d_2} / (d * f),$$

Donde

b es el radio de la 1ª zona de Fresnel (en metros)

f es la frecuencia (en GHz)

d es la distancia total del enlace (en km)

d1 y d2 son las distancia desde el punto de interés a los puntos extremos (en km) tal que:

$$d_1 + d_2 = d$$

Además del despeje de la zona de Fresnel se recomienda mantener un ángulo de 15° despejado de obstáculos dentro de las primeras 100 longitudes de onda en ambos extremos del enlace para asegurar una apropiada emisión y recepción de las ondas electromagnéticas (campo electromagnético no distorsionado)

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

**3.5.3 LÍNEAS ALQUILADAS**

Las líneas alquiladas son líneas de transmisión normalmente alquiladas a un tercer operador autorizado. En el caso de la construcción de una red celular el proveedor de la línea alquilada puede ser un competidor en el mercado de las comunicaciones móviles.

Las principales ventajas de las líneas alquiladas son:

- No supone un esfuerzo de implementación por parte del comprador de la línea alquilada.
- No suponen gastos adicionales.
- Los enlaces de largas distancias dejan de ser críticos.

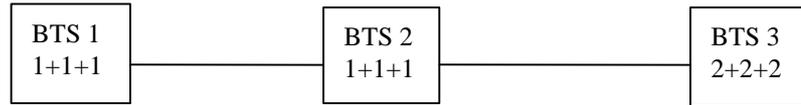
Las principales desventajas son:

- Altos costes de operación mensuales.
- Tiempos de planificación para la instalación impredecibles.
- Dificultades para desplegar la línea.
- Frecuentemente no existe línea alquilada en los emplazamientos.
- No existe control sobre la ruta física del enlace (no es posible aplicar protección de bucle)
- Muy poco control sobre la calidad de la conexión de transmisión alquilada.

Es importante analizar el tipo de tarifa para líneas alquiladas antes de decidir qué modo de transmisión se usara (gran uso de radioenlaces o no....). Aunque el precio no es único factor a tener en cuenta, ya que los operadores no siempre quieren depender de las líneas alquiladas que sus competidores les proporcionan.

A continuación se muestran un ejemplo de mapeo de time slots en el interfaz Abis:

3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL



bits	1	2	3	4	5	6	7	8
TS								
0	Synchronisation							
1	<b>BTS 1</b>							
2	<b>TRX 1</b>							
3	<b>BTS 1</b>							
4	<b>TRX 2</b>							
5					<b>BTS 1</b>			
6					<b>TRX 3</b>			
7	<b>BTS 2</b>							
8	<b>TRX 1</b>							
9	<b>BTS 2</b>							
10	<b>TRX 2</b>							
11					<b>BTS 2</b>			
12					<b>TRX 3</b>			
13	<b>BTS 3</b>							
14	<b>TRX 1</b>							
15	<b>BTS 3</b>							
16	<b>TRX 2</b>							
17					<b>BTS 3</b>			
18					<b>TRX 3</b>			
19					<b>BTS 3</b>			
20					<b>TRX 4</b>			
21	<b>BTS 3</b>							
22	<b>TRX 5</b>							
23	<b>BTS 3</b>							
24	<b>TRX 6</b>							
25	BTS 1 TRX 1 SIG		BTS 1 BCF SIG		BTS 1 TRX 2 SIG			
26	BTS 1 TRX 3 SIG				BTS 2 TRX 1 SIG		BTS 2 BCF SIG	
27	BTS 2 TRX 2 SIG				BTS 2 TRX 3 SIG			
28	BTS 3 TRX 1 SIG		BTS 3 BCF SIG		BTS 3 TRX 2 SIG			
29	BTS 3 TRX 3 SIG				BTS 3 TRX 4 SIG			
30	BTS 3 TRX 5 SIG				BTS 3 TRX 6 SIG			
31	Loop bits / LCB / MCB							

Figura 3.54 Ejemplo de mapeo en el interfaz Abis

Se utilizan los últimos time slot (del 25 al 30) para señalización, mientras que los time slot del 1 al 24 se usan para tráfico.

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

#### 3.5.3.1 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

El concepto de transmisión que se va a usar en una red debe ser definido (o al menos trazado) en las primeras fases del diseño de la red. La tradición o el pasado histórico del operador frecuentemente dan las opciones disponibles.

Los medios de transmisión pueden ser par de cobre, cable coaxial, fibra óptica o radioenlaces. Se usa una cierta técnica de transmisión en el medio, por ejemplo PDH o SDH. El método de transmisión usado (PCM, ISDN, ATM) define la estructura y contenidos de la información. Mientras que en principio cualquier combinación es técnicamente factible, aunque algunas no tienen sentido práctico y el número de opciones es limitado

Para acceder a una cierta trama de datos con un sistema "Plesiochronous Digital Hierarchy" (PDH), la trama se debe multiplexado/demultiplexar bajo el nivel de jerarquía deseado, los datos pueden ser extraídos/insertados, además necesita ser multiplexado con la misma tasa que los datos iniciales. Esto requiere un esfuerzo bastante alto de hardware.

El proceso de justificación por una parte, y por otra el hecho de que la temporización vaya ligada a cada nivel jerárquico, hace que en la práctica sea imposible identificar una señal de orden inferior dentro de un flujo de orden superior sin demultiplexar completamente la señal de línea.

Uno de los mayores inconvenientes de la demultiplexación plesiócrona es que una vez formada la señal múltiplex, no es posible extraer un tributario concreto sin demultiplexar completamente la señal.

En los sistemas "Synchronous Digital Hierarchy" (SDH) se puede acceder inmediata y directamente por medio de punteros y cabeceras de control. Los datos son encapsulados en contenedores específicos para cada tipo de señal tributaria.

Para los usuarios no existe ninguna diferencia de que combinación de medio de transmisión, técnica y método se usan en el trayecto de la comunicación mientras que todos los datos enviados lleguen a su destino. En muchas ocasiones, los medios, técnicas y métodos usados cambian varias veces entre la fuente y el destino, dependiendo de la ruta que tome la señal

##### 3.5.3.1.1 TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN

###### ❖ PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Con señales plesincrona, las transiciones de las señales ocurren casi a la misma tasa. Las variaciones entre dos tasas son extremadamente pequeñas. La velocidad del flujo de datos 2 megas es controlada por un reloj en el equipo que la genera. A esta velocidad se le permite una variación, alrededor de la velocidad exacta de 2,048 Mbps, de  $\pm 50$  ppm (partes por millón). Esto significa que dos flujos diferentes de 2 megas pueden estar (y probablemente lo están) funcionando a velocidades ligeramente diferentes uno de otro. Esta diferencia es conocida como *diferencia Plesincrona*.

El nivel de jerarquía menor en PDH es 64kbps. Este resultado se debe al espectro de la voz (es 4khz), la adecuada tasa de muestreo (8 KHz) y como se codifica cada muestras (8 bits por muestra).

$$8 \text{ bits} * 8000 \text{ Hz} = 64 \text{ 000 bits/s}$$

Además hemos considerado el maestro en un solo canal, pero como hay  $125 \mu\text{s}$  entre muestras sucesivas del mismo canal, otros canales puede ser muestreados durante ese periodo. Cada intervalo de  $125 \mu\text{s}$  se divide en 32 periodos de tiempo conocidos como *Time Slot (TS)*, de los cuales 30 se usan para tráfico y los otros dos (generalmente el TS0 y el TS 16) se utilizan para otros propósitos. La técnica de muestrear cada canal en su turno se conoce como Multiplexacion por División en Tiempo (Time Division Multiplexing - TDM)

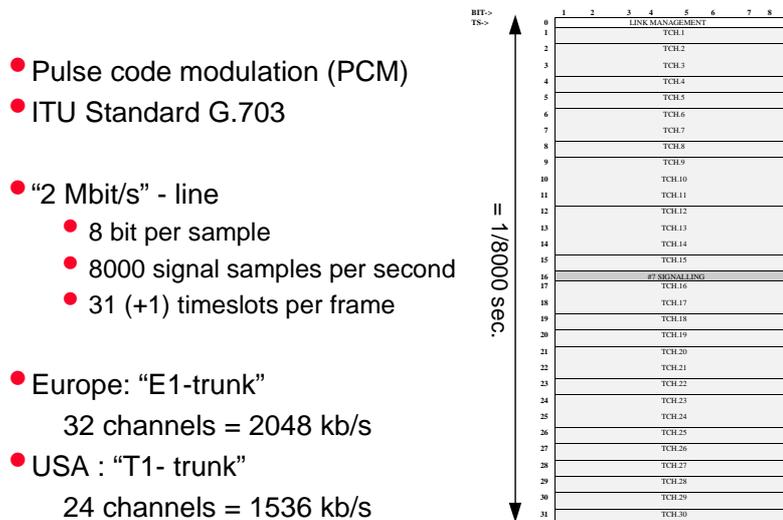


Figura 3.55 Características de PDH [3]

El estándar europeo de PDH define la multiplexación de tributarios de 2 Mbps hasta 140 Mbps. Estos niveles son especificados por ITU-T. En EE.UU y en Japón usan diferentes jerarquías de multiplexación que en Europa. Allí no existe señales de 2Mbps, en su lugar tienen una tasa primaria menor de 1,5Mbps.

## 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

Tabla 3.2 Jerarquías PDH

Hierarchical Level	Europe (Kbps)	North America (Kbps)	Japan (Kbps)
0	64	64	64
1	2048	1536	1536
2	8448	6312	6312
3	34368	44736	32064
4	139264	139264	97728

Para proporcionar la función "Add and Drop" con PDH que permite el acceso a las tramas digitales de 2Mbps es necesario demultiplexar la señal como se ilustra en el siguiente diagrama. Esto requiere dos sets de equipos de multiplexación, una para cada dirección de la interfaz de transmisión. El equipo de PDH tiene un mapeo fijo entre las jerarquías, por lo tanto cuando se planea la conexión total, hay que tener cuidado de saber donde se encuentra el tributario de 2Mbps. Si se quiere extraer más de un tributario y están en diferentes grupos de 34Mbps, además serán necesarios los dispositivos de multiplexación de 2<sup>o</sup> y 3<sup>er</sup> orden.

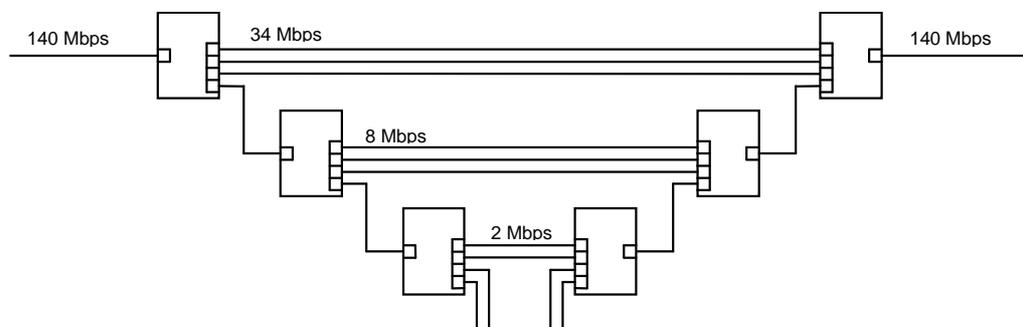


Figura 3.56 Principio de "Add &amp; Drop" en PDH [23]

## ❖ SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

La transmisión síncrona se alcanza cuando todas las tasas de bit de las señales básicas provienen de la misma referencia de temporización. Las señales están operando a la misma frecuencia nominal, pero sus relaciones de fase pueden cambiar debido a las características de la red de transmisión (dentro de unas tolerancias específicas).

SDH se ha desarrollado para vencer los problemas con PDH y los estándares se han desarrollado para encontrar los siguientes requisitos básicos:

- Interacción entre los sistemas americano y europeo.

### 3. TEORÍA SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED MÓVIL

- Estandarizar las interfaces entre equipos, para permitir interconectividad entre los suministradores.
- Insertar y extraer directamente una señal de transmisión a alta velocidad.
- Capacidad para manejar una red global

Las tramas de transmisión son:

STM-1	155.52 Mbps
STM-4	622.08 Mbps
STM-16	2488.32 Mbps
STM-64	9953.28 Mbps

La trama de transmisión mayor velocidad siempre es un múltiplo exacto de la trama básica STM-1. Esto es posible por el uso de un único temporizador de referencia primario.

#### ❖ PDH and SDH Interworking

Todos los tributarios de PDH, excepto el de 8Mbps, se pueden conectar a una red SDH. Así la tecnología SDH soporta tecnología existente y la red se hace más flexible.

## 4. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR

### 4.1. NORMA DE COBERTURA DE ZONAS ESPECÍFICAS EGSM

#### 4.1.1. OBJETO

En el presente apartado se definen los criterios técnicos de planificación para el despliegue de la red radio de telefonía móvil EGSM, que dotará de cobertura a pueblos, vías de comunicación y zonas estratégicas (centrales nucleares y complejos petroquímicos) para el cumplimiento de los compromisos adquiridos por una operadora de telefonía móvil frente al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITC), tras la concesión de parte de la banda EGSM.

El punto de partida para el adjudicatario será el conjunto de pueblos y otras áreas geográficas objetivo definidas por su denominación y coordenadas UTM nominales.

En el presente documento se dan las siguientes pautas:

- Criterios para planificación del emplazamiento:
  - o Umbrales de planificación/medidas
  - o Selección del tipo de bastidor a utilizar
  - o Selección de la antena de cobertura
  - o Selección de altura de torre
- Introducción de los datos radio en la bbdd de la operadora
- Realización del proyecto técnico del emplazamiento
- Integración de los equipos instalados en la red de operadora
- Definición de pruebas de comprobación de cobertura y documentación a entregar

#### 4.1.2. COMPROBACIÓN INICIAL DE COBERTURA Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA ADOPTADA

La lista de objetivos a cubrir será proporcionada por la operadora.

Se comprobará en primer lugar el nivel de cobertura existente en el objetivo a cubrir. Dado que la lista de objetivos incluidos en el plan EGSM ha sido realizada utilizando cálculos teóricos de cobertura a partir de los emplazamientos existentes es necesario realizar esta comprobación previa para poder comenzar los trabajos de planificación de una nueva obra.

Para considerar una zona objetivo cubierta, los niveles medidos en la zona objetivo deberán ser superiores a -84 dBm, en el 90% de las muestras. Sólo si no se cumple este objetivo podrá iniciarse una obra de construcción de un nuevo emplazamiento. En el caso de que la zona objetivo sea una población, habrá que medir dentro del casco urbano principalmente. Estas medidas se realizarán con el equipamiento indicado en el apartado 11.1.1 de esta norma, aunque únicamente será necesario presentar datos de nivel de señal recibido (RXLEV).

Si no se cumpliera el requisito anterior, pero el nivel de señal medido en el 90% de la zonas de cobertura es superior a -94 dBm, se comprobará si es posible cubrir la población mediante la sectorización de alguna estación base cercana, en cuyo caso será igualmente comunicado a la operadora.

Se comprobará también que no existe ninguna obra planificada en bbbdd que pueda afectar a la cobertura de la zona objetivo.

En caso de que no se cumplan estos requisitos se comunicará a la Comisión de Seguimiento del Proyecto EGSM y a la empresa supervisora, para que se proceda a la sustitución de este objetivo. Junto a esta comunicación deberán enviarse las medidas realizadas que justifican desechar la población por tener nivel suficiente.

En caso de que se cumplan estos requisitos, se procederá a realizar un expediente de planificación de obra (EPO), para justificar los aspectos más importantes de la planificación del emplazamiento. Este expediente contendrá los siguientes apartados:

- Indicación de estaciones bases cercanas al emplazamiento a cubrir. Para conocer este dato se utilizará la herramienta de información de cobertura de la operadora.
- Medidas de cobertura realizadas
- Justificación de la ubicación elegida para el emplazamiento
- Definición de la obra asociada a utilizar en el emplazamiento (caseta, torre,..)

## 4. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR

- Definición de la obra específica a utilizar en el emplazamiento (bastidor, cables, descargadores, antenas y fuerza)

En el caso de que se proporcionen objetivos a cubrir, donde actualmente otra de las operadoras de telefonía móvil haya indicado al MITC que dispone de cobertura, se deberá realizar igualmente una medida de comprobación de cobertura con las características indicadas anteriormente. Una vez realizada esta medida, se enviarán sus resultados a la operadora, para que los haga llegar a la Comisión de Seguimiento del MITC para solicitar la aprobación de esta obra. Hasta que esta autorización no se produzca no se realizará ningún trabajo adicional sobre este emplazamiento.

#### 4.1.3. CRITERIO PARA SELECCIÓN DE MODELO DE BASTIDOR

##### 4.1.3.1. TIPO DE BASTIDOR: INTERIOR Ó EXTERIOR

Siempre se instalarán bastidores de interior, a no ser que existan dificultades para instalar una caseta en la ubicación elegida.

Los equipos de energía para las nuevas estaciones base tendrán que ser capaces de proporcionar la alimentación solicitada (-48Vcc) y el respaldo requerido mediante baterías, asegurando una autonomía mínima de una hora, de acuerdo con el pliego ER.0017 Equipos de energía para EEBB EGSM. Sin embargo, la operadora podrá proporcionar equipos de energía disponibles en su stock, nuevos o de reutilización, pudiendo ser su tensión de -48Vcc o +27Vcc. Los tipos y cantidades de estos equipos de energía se pondrán en conocimiento de las empresas adjudicatarias y su utilización en las implantaciones será prioritaria con respecto a equipos suministrados por el adjudicatario hasta fin de existencias en el stock de la operadora. Los equipos radio suministrados deberán adecuarse a las tensiones de los equipos de fuerza disponibles.

La gestión económica y técnica y la imputación de costes relacionados con el suministro por parte de la operadora de estos equipos de fuerza, queda definido en los pliegos de la adjudicación.

Los equipos de exterior que integren dentro del mismo bastidor estos equipos de energía utilizarán baterías certificadas por la operadora.

Si los equipos de exterior utilizan bastidores de energía separados, estos equipos de energía tendrán que estar certificados por la operadora de acuerdo con lo indicado en el pliego ER.0017. Equipos de energía para EEBB EGSM.

Los equipos de transmisión para el radioenlace de la nueva estación base con otra estación base donante del entorno, deberán estar integrados en el bastidor, o bien en un bastidor adicional externo, si fuera necesario. Esto aplica a los dos extremos del radioenlace. Los equipos de transmisión tendrán que estar certificados por la operadora, o bien tener una autorización de introducción en planta para este proyecto.

#### **4.1.3.2. CAPACIDAD MÁXIMA DEL BASTIDOR**

A continuación se especifican las capacidades que deben tener los bastidores radio en función del entorno del emplazamiento y de la capacidad requerida inicialmente por la operadora en el proyecto.

##### **4.1.3.2.1. EMPLAZAMIENTOS EN POBLACIÓN**

En poblaciones iguales o superiores a 150 habitantes el modelo de bastidor radio empleado en estas estaciones base, tendrá que tener posibilidad para alojar hasta 6 portadoras EGSM/EDGE, y una portadora UMTS como mínimo, independientemente de que la capacidad inicial requerida en el proyecto sea inferior. La capacidad inicial a utilizar en estas estaciones base será de 2 portadoras para poblaciones menores de 400 habitantes, y de 3 portadoras para poblaciones iguales o superiores a 400 habitantes.

Este criterio general para poblaciones iguales o superiores a 150 habitantes podrá ser modificado a petición expresa de la operadora para algunas poblaciones donde se considere que por sus características esperadas de tráfico no sea necesario utilizar este tipo de bastidor, y pueda ser suficiente utilizar un bastidor tipo micro-estación base o mini-estación base, o algún tipo de repetidor.

Igualmente, la contabilidad de la población cubierta por una estación base puede ser la de la suma de las poblaciones cubiertas desde la estación base. En este sentido, la empresa adjudicataria siempre tratará de encontrar la localización más idónea que permita cubrir un mayor número de núcleos de población.

En poblaciones inferiores a 150 habitantes se utilizarán micro-estaciones base, si es viable la instalación de un radioenlace de un solo salto.

Para poblaciones inferiores a 150 habitantes la capacidad inicial será de 1 portadora aunque se instalaran 2 portadoras para evitar problemas.

##### **4.1.3.2.2. EMPLAZAMIENTOS PARA VÍAS DE COMUNICACIÓN**

El modelo de bastidor radio empleado en estas estaciones base, tendrá que tener posibilidad para alojar hasta 6 portadoras EGSM/EDGE, además de una portadora UMTS adicional como mínimo, independientemente de que la capacidad inicial requerida en el proyecto sea inferior.

LA OPERADORA podrá modificar este criterio general bajo petición expresa para emplazamientos concretos.

#### 4.1.4. CRITERIOS SELECCIÓN DE ANTENAS Y ALTURA DE TORRE

Se realizarán cálculos de predicción de cobertura, con la herramienta de planificación para la selección de la altura de torre y la antena de cobertura adecuadas.

Se verificará que en la ubicación de la estación, y con la altura de torre y antena seleccionadas se da cobertura de interior a la población objetivo, es decir se obtiene una predicción de nivel  $\geq -69$  dBm en toda la zona a cubrir.

En caso de que desde un emplazamiento situado en una población, se puedan cubrir también otras poblaciones cercanas situados a mayor distancia, los niveles de predicción exigidos para estas poblaciones cercanas podrán ser disminuidos hasta un nivel de -78 dBm.

En caso de que desde un emplazamiento situado en un lugar dominante, fuera de una población determinada, se puedan cubrir varias poblaciones cercanas, los niveles de predicción exigidos para estas poblaciones cercanas podrán ser disminuidos hasta un nivel de -78 dBm.

En el caso de cobertura de vías de comunicación ó zonas estratégicas, el nivel de predicción exigido disminuye igualmente a -78dBm.

Para el cálculo de cobertura con la herramienta de planificación, LA OPERADORA proporcionará información sobre el sistema y parametrizaciones iniciales generales. Al ser los objetivos de cobertura pequeñas poblaciones, normalmente no se dispondrá de cartografía 3D para las predicciones y se utilizará el modelo de cálculo para macrocélulas rurales Okumura-Hata, con correcciones por clutter. Considerando la cartografía disponible y la experiencia que vaya adquiriendo el adjudicatario en la cobertura de este tipo de objetivos, éste podrá realizar los cambios y ajuste de parámetros que considere más oportunos en beneficio de mejorar las predicciones.

El adjudicatario, siempre que sea posible intentará encontrar ubicaciones que permitan proporcionar desde una única estación base cobertura de más de un objetivo poblacional.

En cualquier caso, a la hora de configurar los cálculos de cobertura, se especifican los siguientes parámetros generales de extensión del cálculo:

- Radio de cálculo mínimo: 3.000 m (zona de cálculo de 6 km x 6 km)
- Resolución mínima: 50 m
- Para cálculo en base a radiales, paso en radiales de 50 m

Las antenas a utilizar serán las indicadas en los apartados siguientes según el tipo de emplazamiento, aunque en casos concretos podrán cambiarse estos criterios siempre que sea autorizado por la GR correspondiente.

#### 4.1.4.1. EMPLAZAMIENTOS CON ESTACIONES BASE MACRO

##### 4.1.4.1.1. ESTACIÓN BASE EN POBLACIÓN

Para cubrir una población la estación base tendrá un único sector con una antena de cobertura a seleccionar entre antena de panel de 90° de haz horizontal, o antena omnidireccional.

Se deberán realizar simulaciones de cobertura con altura de torre de 20 metros, y la antena elegida de acuerdo con el orden de prioridad fijado, hasta verificar que se obtiene una predicción de nivel  $\geq -69$  dBm en la zona objetivo.

La elección de antena deberá elegirse de acuerdo a los siguientes perfiles, y con el siguiente orden de prioridad (ver Anexo A)

- Perfil 6b: GSM 900, HH90°, FET, < 2,6m
- Perfil 7: Colineal 900, H360°

La elección de una torre de 30 metros o una altura superior está justificada si con la torre de 20 metros, y cada una de las antenas anteriores, no se consigue dotar de cobertura al objetivo, y sin embargo sí se consigue con una torre más alta.

También está justificada la elección de una torre de 30 metros o una altura superior si es posible cubrir 2 ó más pueblos desde el mismo emplazamiento con dicha torre, ó si dicha altura fuera necesaria para poder instalar el radioenlace.

El adjudicatario deberá entregar a la operadora, o en su lugar a la empresa controladora que la operadora designe, un informe con todas las predicciones de cobertura calculadas, de forma que quede justificada la elección de la antena y la torre empleadas.

En el caso de que la zona objetivo se encuentre en desnivel respecto a la localización del equipo remoto, podrá ser necesario aplicar a la antena una cierta inclinación mecánica, de forma que la antena de cobertura esté apuntando en la dirección de la zona a cubrir.

Posteriormente a la integración, la operadora o la empresa controladora que la operadora designe, podrá solicitar la reorientación y ajuste de la inclinación de la antena si fuera necesario para lograr una mejor cobertura del objetivo. Esta solicitud se podrá realizar en un plazo de seis meses, tras la aceptación de la obra.

En caso de que desde un emplazamiento situado en una población, se puedan cubrir también otras poblaciones cercanas situados a mayor distancia, los niveles de predicción exigidos para estas poblaciones podrán ser disminuidos hasta un nivel de -78 dBm. En esto casos, sería posible la utilización de antenas adicionales dirigidas a los objetivos a cubrir.

#### 4.1.4.1.2. ESTACIÓN BASE PARA VÍAS DE COMUNICACIÓN

Para la cobertura de vías de comunicación se utilizarán estaciones base sectorizadas con 2 ó 3 sectores y antenas de 65° ó 90° de haz horizontal.

Se realizarán simulaciones de cobertura con altura de torre de 30 metros, y la antena de cobertura elegida, hasta verificar que se obtiene una predicción de nivel  $\geq -78$  dBm en toda la zona objetivo.

La elección de antena deberá elegirse de acuerdo a los siguientes perfiles, y con el siguiente orden de prioridad (ver Anexo A)

- Perfil 5a: GSM900, HH65°, FET, < 2,1 m
- Perfil 5d: GSM900, HH65°, FET, < 2,6 m
- Perfil 6b: GSM900, HH90°, FET, < 2,6 m

El empleo de una torre superior a 30 metros sólo estaría justificado si con la torre de 30 metros no se consiguiera el nivel de diseño, o si fuera necesario para poder instalar el radioenlace.

#### 4.1.4.2. EMPLAZAMIENTO CON MICROCÉLULA

Si la población es menor de 150 habitantes se verificará la posibilidad de instalación de un equipo microcelular con un radioenlace para la transmisión. Para ello se comprobará la viabilidad técnica del enlace entre el emplazamiento donante y el punto del emplazamiento remoto.

En el caso de que la solución sea una microcélula la elección de las antenas de cobertura y la altura de torre se realizará según el procedimiento expuesto para el caso de estaciones base en el apartado 4.1.4.1.1. En este caso el orden de prioridad para utilización de diferentes tipos de antenas será en este caso el siguiente:

- Perfil 6a: GSM 900, HH90°, FET, < 2,1m
- Perfil 5a: GSM 900, HH65°, FET, < 2,1m
- Perfil 7: Colineal 900, H360°

#### 4.1.5. PROYECTO TÉCNICO Y CERTIFICACIÓN DE LA OBRA

La empresa adjudicataria deberá garantizar el cumplimiento en todas las instalaciones de la normativa vigente sobre emisiones radioeléctricas y exposición a campos electromagnéticos, según lo dispuesto en el Real Decreto 1066/01, desarrollado en la

## 4. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR

Orden Ministerial CTE/23/2002, y documentación adicional oficial sancionada por el MITC (p.e. formularios de entrega de datos a la SETSI)

Para ello, además de los estudios y mediciones que fueran necesarios, y utilizando los sistemas que LA OPERADORA designe para ello (GADOR<sup>16</sup> y módulo de Emisiones Radioeléctricas de GADOR en principio):

- Deberá elaborar para LA OPERADORA el Proyecto Técnico de Estación Radioeléctrica para el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, firmado por técnico competente y visado por colegio oficial. Para ello deberá emplear la aplicación informática GADOR. Este proyecto técnico una vez visado, será enviado a la Dirección de Ubicaciones de LA OPERADORA, que lo hará llegar al Ministerio. También deberá comprobar a través de la aplicación GADOR que este Proyecto Técnico ha sido admitido por el Ministerio.
- Además deberá realizar las labores necesarias para emitir las Certificaciones Anuales correspondiente a los ejercicios de los años 2006 y 2007, realizando las medidas de exposición y emitiendo certificados firmados por técnico competente cuando proceda, y realizando la revisión de datos de modificación en los emplazamientos, todo ello según los requisitos establecidos por el MITC. Estas tareas y datos deberán ser incluidos en las aplicaciones de LA OPERADORA (GADOR), que asisten y automatizan gran parte del proceso.

Como condiciones más particulares de este proyecto, debe tenerse en cuenta que se estima que gran parte de las implantaciones se efectuarán en emplazamientos sin zonas cercanas de permanencia habitual de personas, lo que simplificará notablemente los proyectos técnicos y certificaciones. Esto se desprende del análisis de las tipologías para estaciones definidas en la legislación, pues de acuerdo a lo establecido por la Orden CTE/23/2002, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones, las estaciones radioeléctricas se clasifican en:

- ER1: Estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente superior a 10 vatios.
- ER2: Estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente inferior o igual a 10 vatios.
- ER3: Estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo no urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente superior a 10 vatios, en cuyo entorno existan áreas en las que puedan permanecer habitualmente personas.

---

<sup>16</sup> GADOR es una herramienta propia de LA OPERADORA donde se elaboran los Expedientes de Planificación de Obra y Proyectos Radioeléctricos.

## 4. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR

- ER4: Estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo no urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente inferior o igual a 10 vatios, en cuyo entorno existan áreas en las que puedan permanecer habitualmente personas.

Adicionalmente, se ha concebido la tipología ER5, admitida por el MITC, definida de la siguiente manera, y que se estima se dará en muchos de los casos en el ámbito rural objetivo del presente despliegue.

- ER5: Estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo no urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente superior a 10 vatios, en cuyo entorno de 50 metros no existan áreas en las que puedan permanecer habitualmente personas, ni en un entorno de 100 metros existan espacios considerados sensibles.

Los proyectos técnicos deben incluir estudios de emisiones, planos detallados, volúmenes de protección, etc. pero sin embargo el PT de las estaciones ER5 tiene mayor simplicidad. En este caso, el PT sólo incluirá fundamentalmente las características técnicas de la estación proyectada y su cobertura teórica prevista (características generales, designación y situación del emplazamiento, características radioeléctricas y configuración de los sistemas radiantes, predicciones de cobertura teórica, y fotografías como información adicional), y como aspecto más específico de emisiones radioeléctricas, el cálculo del nivel de emisión de la estación en base a los correspondientes balances de potencia (no se precisa, por tanto, del cálculo de los volúmenes de protección).

El proceso básico de generación de los PTT estará soportado por el sistema GADOR. Las tipologías para hacer un proyecto están diferenciadas en ER1/ER3, ER2/ER4 y ER5. El usuario, selecciona emplazamiento y código de obra, y junto con la tipología que corresponda, introducirá los datos para la elaboración del PT. El sistema analiza, en función de la tipología, si el PT está finalizado correctamente, con los mínimos exigidos por la SETSI, pasando entonces a estado "PT correcto PTE visado". A partir de esa situación, el adjudicatario lo pueden imprimir para su visado en el Colegio Profesional y proceder a su envío a LA OPERADORA para su trámite. Una vez LA OPERADORA recibe el PTT, éste es procesado y se genera el XML (CD-Rom) en el formato compatible de las BBDD del MITC, para finalmente ser entregada toda la información al MITC por parte de LA OPERADORA.

En la certificación anual, se distinguen los tres casos habituales contemplados en la normativa:

- Tipo B: Nuevas estaciones, estaciones con modificaciones técnicas, o estaciones que hayan superado los límites de decisión en los años anteriores (25% de los niveles de referencia, en potencia). Se realizarían medidas en las áreas cercanas de permanencia habitual de personas.

## 4. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR

- Tipo C: Estaciones tipo ER1, ER2, ER3 y ER4, cuyos valores de los niveles de emisión, comunicados en certificaciones correspondientes a años anteriores, no hayan sido modificadas. La certificación deberá constatar que en el entorno de la estación, en las áreas donde pueden habitar normalmente personas, no se superan los límites de referencia.
- Tipo D: Estaciones tipo ER1 y ER2, donde existan espacios considerados sensibles en un entorno de 100 metros. Se realizarán medidas de exposición.

En las estaciones ER5 no se exigen de forma general medidas de certificación pues no hay zonas cercanas de permanencia habitual de personas en las que medir. Sin embargo en algunas ocasiones, será necesaria la realización de medidas, bajo petición de alguna Administración local, o según la legislación vigente en zonas concretas.

De este modo, a efectos de Certificación Anual, la labor principal del adjudicatario será consignar en las aplicaciones informáticas que las EEBB ER5 no cambian de tipología por cambios en el entorno o modificaciones posteriores en la EEBB, siendo ambos casos presumiblemente muy poco frecuentes en el contexto de despliegue a pequeñas poblaciones objeto del proyecto.

El contenido de los proyectos técnicos y certificaciones se deberá ajustar a lo exigido por la legislación nacional, autonómica y municipal aplicable para cada emplazamiento para garantizar que se puedan obtener todas las licencias necesarias.

#### **4.1.6. PRUEBAS DE COMPROBACIÓN DE COBERTURA y DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR**

Tras poner en servicio los equipos, el adjudicatario realizará las tareas de apoyo consistentes en trabajos de campo de comprobación de medidas, calidad de llamadas, calidad de trasposos entre células, etc.

##### **4.1.6.1. MEDIDAS**

###### **4.1.6.1.1. EQUIPAMIENTO NECESARIO**

Para la comprobación de la cobertura de estaciones base se utilizará un equipo de medida TEMS, formado básicamente por un teléfono de ingeniería, un ordenador portátil (PC) donde se ejecuta el software de control del teléfono y las aplicaciones de interfaz y de seguimiento y gestión de la medida, y un módulo GPS que proporciona información geográfica (coordenadas) a las medidas. Se realizará una llamada continua recorriendo el área de servicio de la célula. El producto será un fichero y un mapa con información perteneciente a las medidas realizadas.

## 4. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR

El móvil con antena externa se dispondrá con las siguientes especificaciones:

- *Tipo de antena:* omnidireccional
- *Ganancia:* 0 dBi máximo
- *Ubicación:* Sobre el techo del vehículo

**4.1.6.1.2. DATOS DE MEDIDAS**

Se dispondrá de un registro de las medidas reportadas por el móvil con localización geográfica, presentándose el parámetro de cobertura con los umbrales que se especifiquen sobre mapas.

Los parámetros a recoger contendrán como mínimo:

- Medidas de nivel recibido (RXLEV) cada medio segundo
- Medidas de calidad percibida por el móvil (RXQUAL)
- Principales mensajes de capa 3

Las coordenadas serán UTM. El datum utilizado para el GPS es el ED-1950. Las coordenadas tomadas con el GPS deberán ser corregidas con ficheros de corrección diferencial DGPS, de forma que la precisión de las posiciones sea suficiente.

Las medidas se realizarán sobre la BCCH de la célula hasta dónde sea previsible su influencia en las colindantes. Se realizarán los ajustes del sistema radiante necesarios para la consecución de la cobertura deseada.

En el caso de poblaciones el nivel de medida deberá ser superior a -75 dBm en el 90% de las muestras. En caso de que desde un emplazamiento situado en una población, se puedan cubrir también otras poblaciones cercanas situados a mayor distancia, los niveles de medida exigidos para estas poblaciones podrán ser disminuidos hasta un nivel de -84 dBm (y ser cumplidos en el 90% de las muestras).

En el caso de vías de comunicación y zonas estratégicas el nivel de medida deberá ser superior a -84 dBm.

#### 4.1.6.2. MAPAS DE COBERTURA

Los mapas de cobertura generados con la herramienta de la operadora, o la herramienta utilizada por la empresa adjudicataria, que acompañarán al proyecto técnico serán los siguientes:

Mapas con el nivel de potencia recibida para la altura de torre y antena seleccionada. En cada mapa se representarán dos umbrales: uno en color verde y otro en color azul. El color verde representa un umbral de cobertura de -78 dBm. El color azul representa la cobertura para móviles en interior de edificios clase 1, con un umbral de cobertura de -69 dBm. Se representarán igualmente los objetivos de cobertura y las principales referencias geográficas de la zona: poblaciones, carreteras y otros puntos de interés.

De forma general los mapas de cobertura se incluirán como imágenes en los EPO y en los Proyectos Técnicos.

## 4. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR

**4.1 ZONA A DOTAR DE COBERTURA**

La operadora dentro de la totalidad del proyecto, asigna a cada suministrador una zona a la cual dotar de cobertura teniendo en cuenta la tecnología existente en esas áreas.

En este caso las zonas asignadas son:

- Comunidad de Aragón: Teruel, Zaragoza y Huesca. (1)
- País Vasco: Vizcaya, Guipúzcoa y Álava. (4)
- La Rioja (3)
- Navarra (2)
- Cantabria (5)
- Albacete (6)
- Sevilla, Córdoba y Huelva. (7)
- Islas Canarias (8)

A continuación se puede observar un mapa con las zonas asignadas marcadas.

4. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO A REALIZAR



4.1 Zonas asignadas

## 5. DEFINICIÓN DE LA ZONA CONCRETA DONDE REALIZAR LA IMPLANTACIÓN

## 5. DEFINICIÓN DE LA ZONA CONCRETA DONDE REALIZAR LA IMPLANTACIÓN

En este apartado se especificará la zona concreta en la que se aplica los conceptos teóricos vistos hasta ahora.

Dentro de la zona asignada por la operadora para el despliegue, se opta por la zona próxima a las estaciones ya existente Codos ER y Picacho EB. Ambas estaciones son puntos dominantes que actuarán como concentradores de transmisión. A continuación se pueden observar varios mapas de la zona

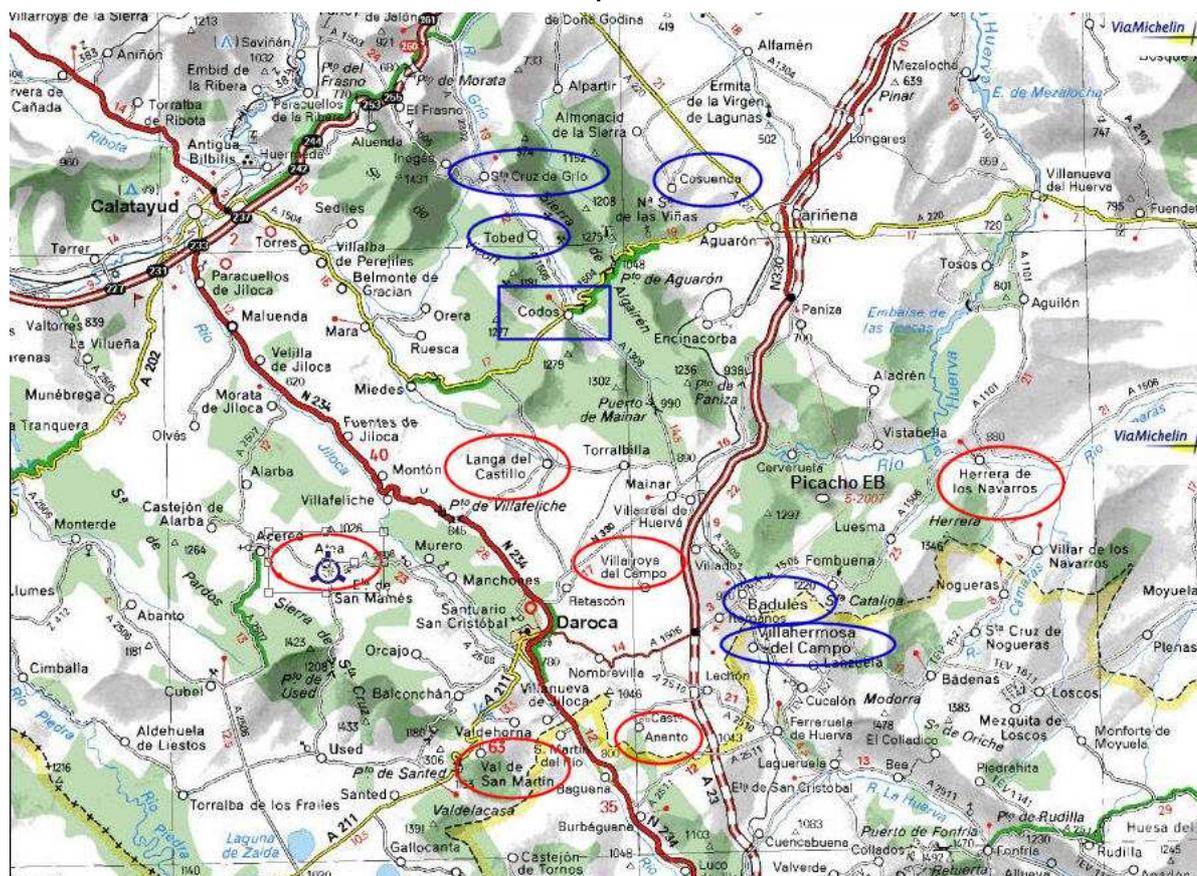


Figura 5.1 Mapa geográfico (Vía Michelin)

En el mapa anterior se señalan en rojo y azul todos aquellos pueblos que perteneciendo al listado facilitado por la operadora serán analizados en el próximo capítulo.

Se opta por esta zona, porque se tratan de poblaciones, próximas entre sí, con distintas necesidades y dificultades en el diseño, teniendo en cuenta la orografía del terreno, los diferentes modos de transmisión y las características radio de las EBs.

## 5. DEFINICIÓN DE LA ZONA CONCRETA DONDE REALIZAR LA IMPLANTACIÓN

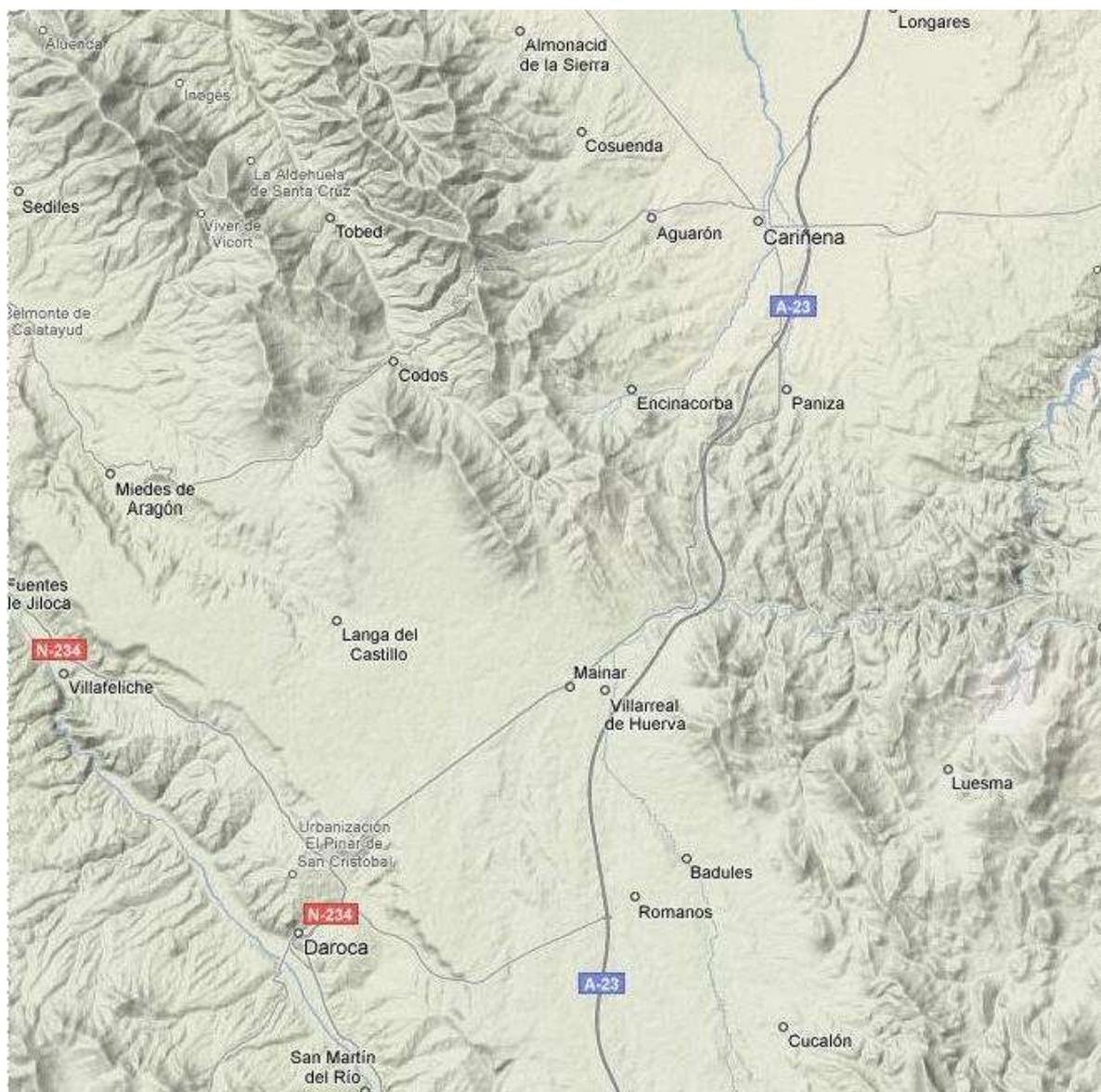


Figura 5.2 Mapa del relieve de la zona (google map)

En los mapas anteriores se puede ver claramente el relieve de la zona, donde apreciamos la existencia de obstáculos naturales entre los diferentes emplazamientos. Como se ha explicado en capítulos anteriores este aspecto condiciona la localización del emplazamiento, siendo más crítico para el diseño de la transmisión por tratarse de una zona donde es difícil implementar la transmisión mediante línea alquilada, quedando como única opción la transmisión por radioenlace.

A continuación se muestra un mapa con las EBs existentes (rojo), las EBs en funcionamiento pertenecientes al proyecto (verde) y las EBs planificadas que aun no están integradas (azul), además también aparecen puntos que han tenido que ser rechazados, ya sea por ausencia de salida de transmisión o por causas técnico-económicas



## 5. DEFINICIÓN DE LA ZONA CONCRETA DONDE REALIZAR LA IMPLANTACIÓN

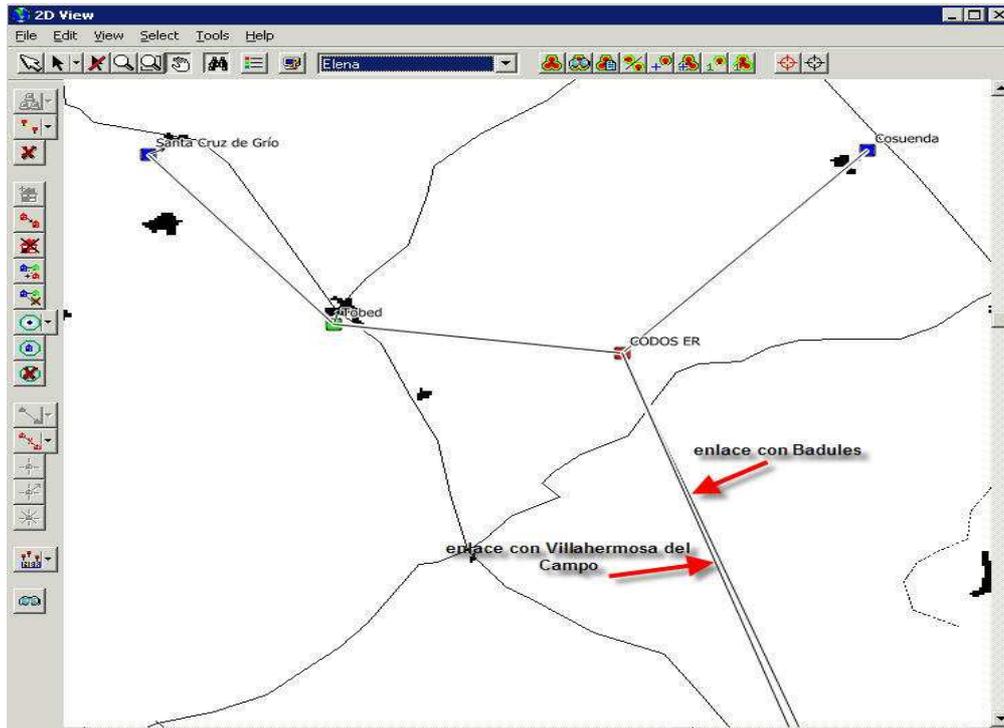


Figura 5.4 Planificación en los alrededores Codos ER

Esta imagen muestra las estaciones cercanas a Codos ER: Tobed, Santa Cruz del Grío y Cosuenda, que depende directa o indirectamente de Codos ER. Además se indica los enlaces con Badules y Villahermosa del Campo.

## 5. DEFINICIÓN DE LA ZONA CONCRETA DONDE REALIZAR LA IMPLANTACIÓN

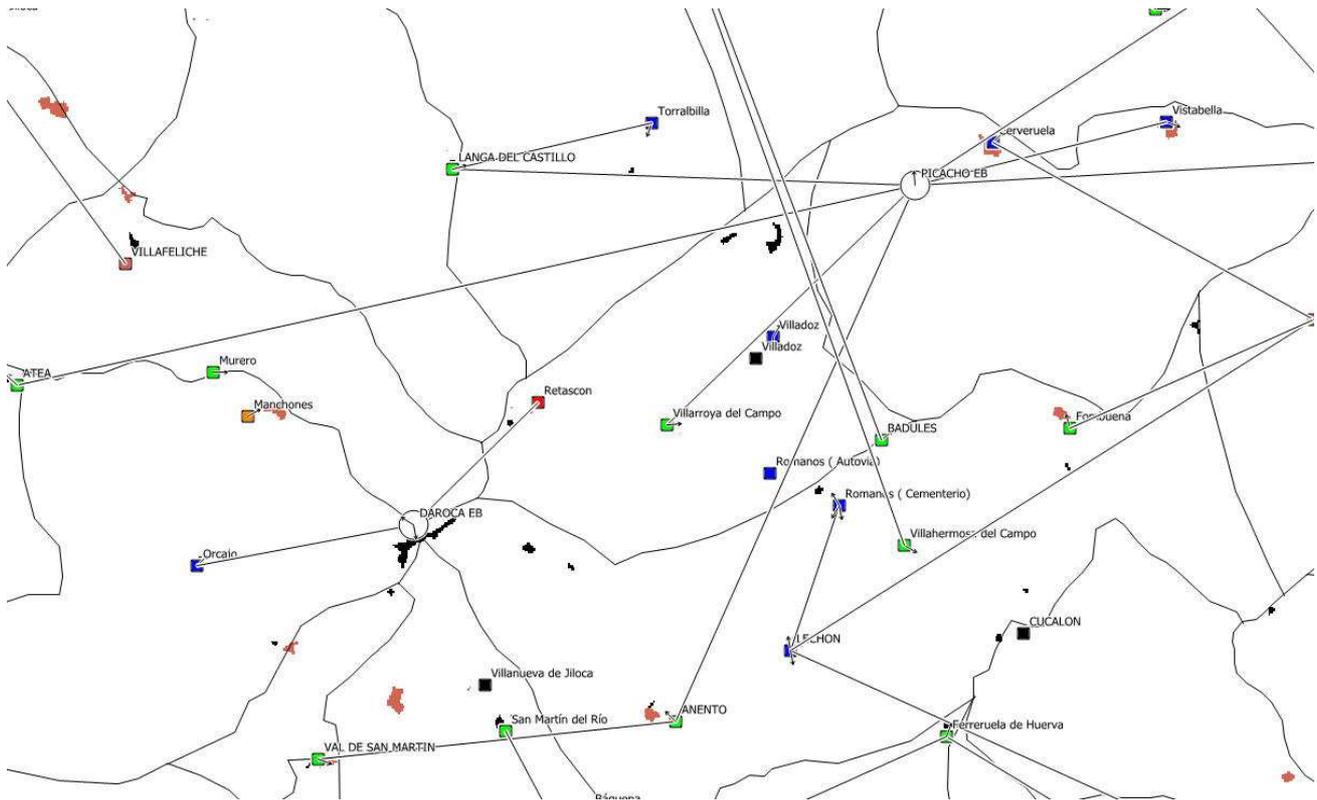


Figura 5.5 Planificación en los alrededores de Picacho EB

En la imagen anterior se muestran los emplazamientos próximos a Picacho Eb, además de todos los radioenlaces que tienen a Picacho EB como remoto, son de nuestro interés Anento, Val de San Martín, Villarroja del Campo, Atea y Langa del Castillo. Cabe mencionar que Retascón aparece como emplazamiento anulado debido al elevado coste de la instalación.

Se aplican los conocimientos de planificación radio, de la transmisión, los análisis de SAR, LOS y acta de replanteo para diseñar correctamente las nuevas EBs pertenecientes a la red móvil de la operadora.

## 6. PLANIFICACION

En este capítulo se engloba el análisis de medidas de cobertura y los distintos métodos que existen. A continuación se realiza el análisis de los documentos básicos para la planificación radio y transmisión, SAR y LOS. Para finalizar el capítulo aplicaremos los conocimientos técnicos al caso real.

### 6.1. ANALISIS MEDIDAS DE COBERTURA

El apartado 6.1 engloba los diferentes métodos de medidas, la elección de las rutas en función del método y la interpretación de las medidas, para a continuación aplicarlo al caso práctico de este documento.

#### 6.1.1. MÉTODOS DE MEDIDA

En este apartado se explicaran los diferentes métodos de elaboración de medidas de cobertura (más conocido como *drive test*), los propósitos de dichas medidas y el periodo en el que se realizan.

Se pueden diferenciar tres tipos de medida:

- ❖ Medidas de propagación: Cuyo principales propósitos son:
  - revisar el área de cobertura de un emplazamiento.
  - ajustar el modelo de propagación
  - evaluar el emplazamiento candidato

Los métodos que se utilizan para realizar este tipo de drive test son un transmisor de prueba, mástil y antenas omni o direccionales. Además se utiliza señal de onda continua (CW-signal). Este tipo de medidas se realiza en la fase de planificación.

- ❖ Análisis Funcional, se realizan después de la puesta en servicio del emplazamientos, verificando completamente la instalación de la EB y la configuración de los principales parámetros (HO, Control de potencia). Se realiza una "auditoría" de cobertura con antenas reales, y sus orientaciones e inclinaciones reales, para ello se utilizan móviles especiales, para comprobar las configuraciones y grabar los resultados.
- ❖ Medidas de rendimiento, cuyo propósito son revisar las perspectivas de los usuarios del rendimiento de la red real, obtener información para el OMC e identificar áreas con problemas dentro de la red. Los métodos utilizados son drive test sobre una red en funcionamiento, dichas medidas se suelen hacer en la fase comercial, es decir una vez que estación esta en servicio.

#### 6.1.2. ELECCIÓN DE RUTAS

En función del método de medidas se elige una determinada ruta con ciertas características:

## 6. PLANIFICACIÓN

- ❖ Medidas de propagación:
  - Mantenerse dentro del área de cobertura de la celda
  - Es preferible estar dentro de un solo tipo de uso de superficie
- ❖ Análisis funcional:
  - Seguir una ruta radial desde el emplazamiento hacia las celdas vecinas
  - Comprobar los handover dentro y fuera de la celda.
- ❖ Medidas de rendimiento:
  - Se define una ruta aleatoria
  - Se recorre la ruta en varias ocasiones para comparar los resultados.

## 6.1.3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como cada método de medida se corresponde a una etapa diferente del despliegue de la red, en cada medida se tienen que tener en cuenta distintos datos, como se explica a continuación:

- ❖ Medidas de propagación, los datos más importante que debemos obtener de estas medidas son:
  - Nivel medio de señal
  - Criterio de Lee: mínimo de 50 muestras por 40λ
  - Estimar la exactitud de la predicción
  - Resolución de la base de datos
  - Modelo de ajuste
- ❖ Análisis funcional , en este caso los dos datos más importantes son:
  - Identificar parámetros con configuraciones incorrectas.
  - Comprobar si existen relaciones de handover sin definir.
- ❖ Medidas de rendimiento, estas medidas se utilizan para :
  - Detectar comportamientos extraños de la red.
  - Calcular el ratio de llamadas con éxito
  - KPIs (Key Performance Indicators), indicadores de rendimiento claves.
  - Evaluar el comportamiento de la red bajo condiciones nominales.

## 6.1.4. ANÁLISIS DE DRIVE TEST

En este apartado analizaremos las medidas realizadas antes y después de la integración de una nueva EB en varios de los emplazamientos del despliegue.

En las imágenes se representa la población con un polígono rojo y las muestras de cobertura tomadas con puntos, teniendo diferente color en función del nivel:

- Negro: de -120 a -94 dBm
- Azul: de -94 a -84 dBm
- Verde: de -84 a -70 dBm
- Amarillo: de -70 a -60 dBm
- Rojo: de -60 a -10 dBm

## 6. PLANIFICACIÓN

## 6.1.4.1. ANÁLISIS DE MEDIDAS SIN ESTACIÓN BASE

Escogemos los drive test de Anento, Val de San Martín y Langa del Castillo, ya que el proceso es similar para el resto de los emplazamientos:

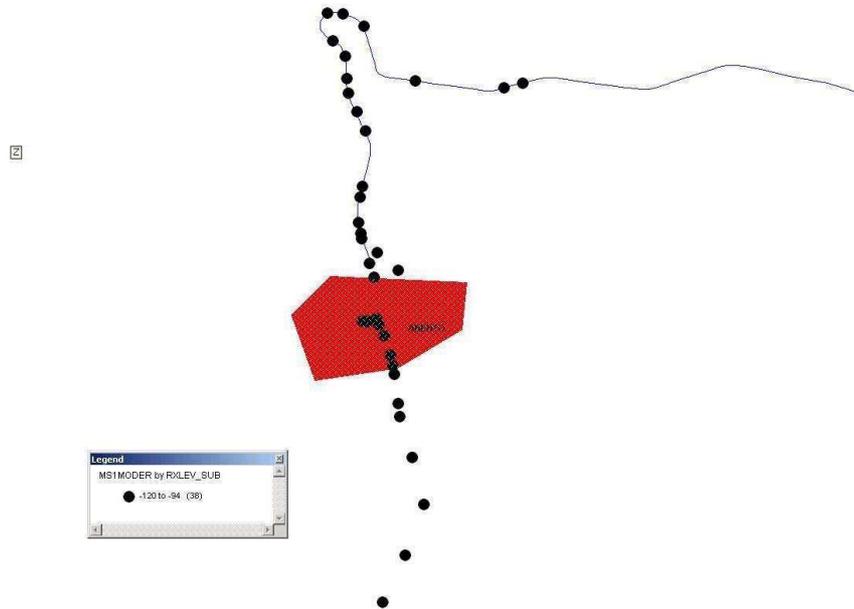


Figura 6.1 Medidas de cobertura de Anento<sup>17</sup>

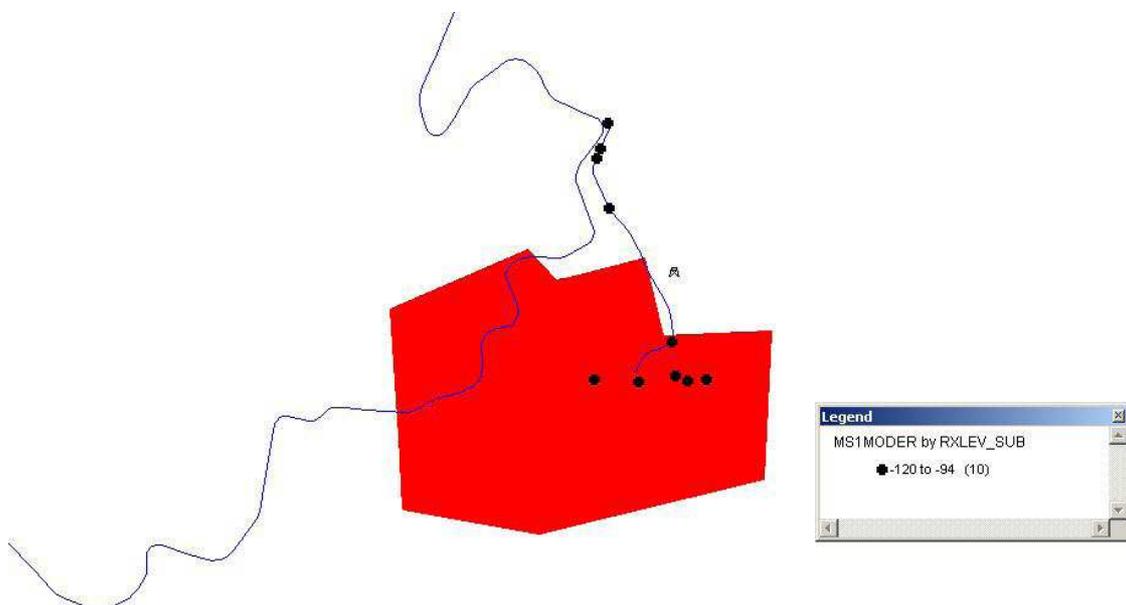


Figura 6.2 Medidas de cobertura de Val de San Martín

<sup>17</sup> Medidas capturadas con TEMS y procesadas con Mapinfo.

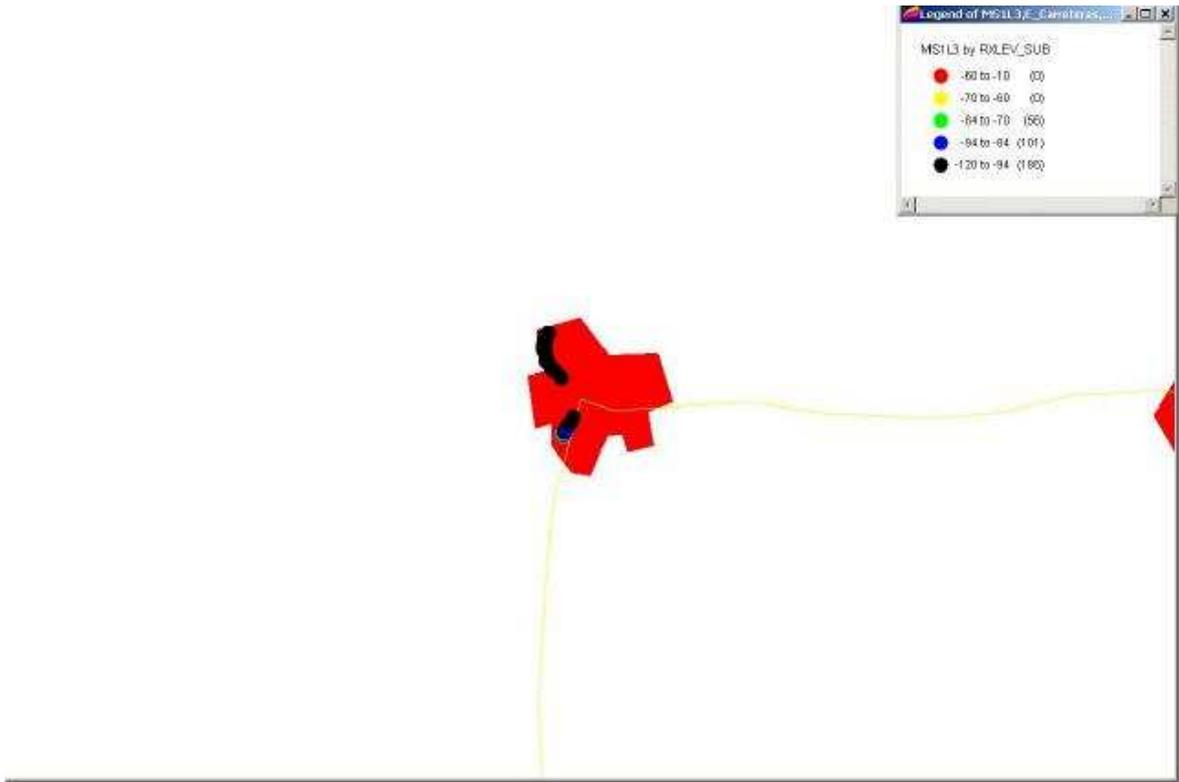


Figura 6.3 Medidas de cobertura de Langa del Castillo

En los tres casos se puede observar que el nivel de cobertura está muy por debajo de las especificaciones de la operadora (*para considerar una zona objetivo cubierta, los niveles medidos en la zona objetivo deberán ser superiores a -84 dBm, en el 90% de las muestras*).

En concreto para el caso de Anento no posee cobertura alguna, como se muestra en la figura anterior estando el total de las muestras por debajo de -94dBm. Lo mismo ocurre en el caso de Val de San Martín donde el nivel de cobertura es muy deficiente, solo es posible capturar 10 muestras por debajo de -96dBm.

En Langa del Castillo sí que existen pequeñas zonas donde la cobertura es mejor, pero aun así no se cumplen las especificaciones, ya que el 83,6% de las muestras son menores de -84dBm.

#### 6.1.4.2. ANÁLISIS DE MEDIDAS POST-INTEGRACIÓN

Siguiendo con los tres emplazamientos elegidos en el apartado anterior, ahora se analizan las medidas de cobertura realizadas después de la puesta en servicio de la EB. En este caso aparece otro símbolo en las imágenes, el triángulo simboliza un handover ejecutado exitosamente.

En el caso de Anento más del 90% de las muestras tienen un nivel superior a -75dBm, siendo el porcentaje de llamadas caídas del 3,7% y el porcentaje de fallos en el establecimiento de llamada del 0%.

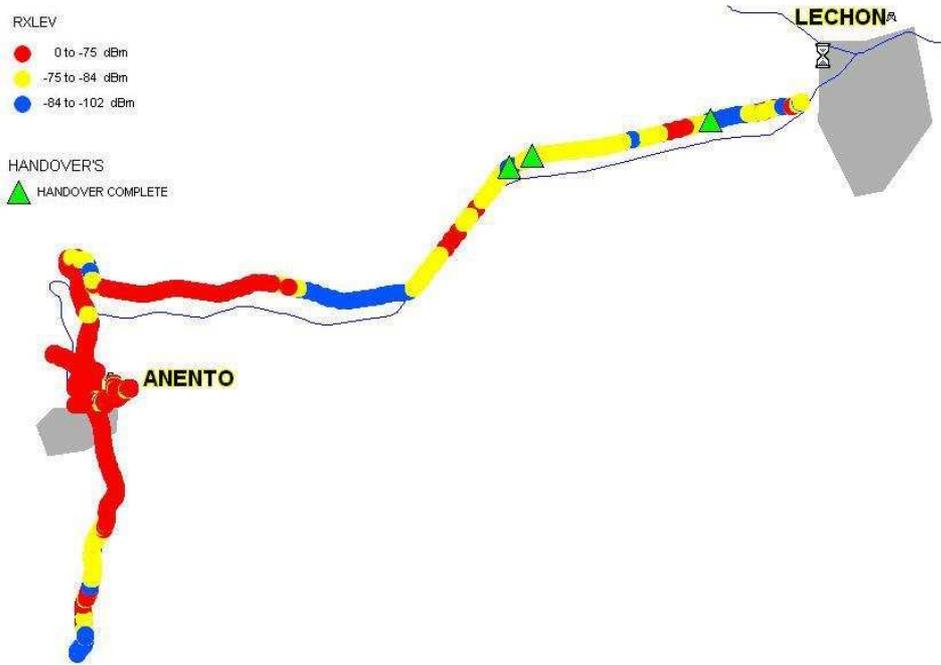


Figura 6.5 Medidas de Cobertura de Anento

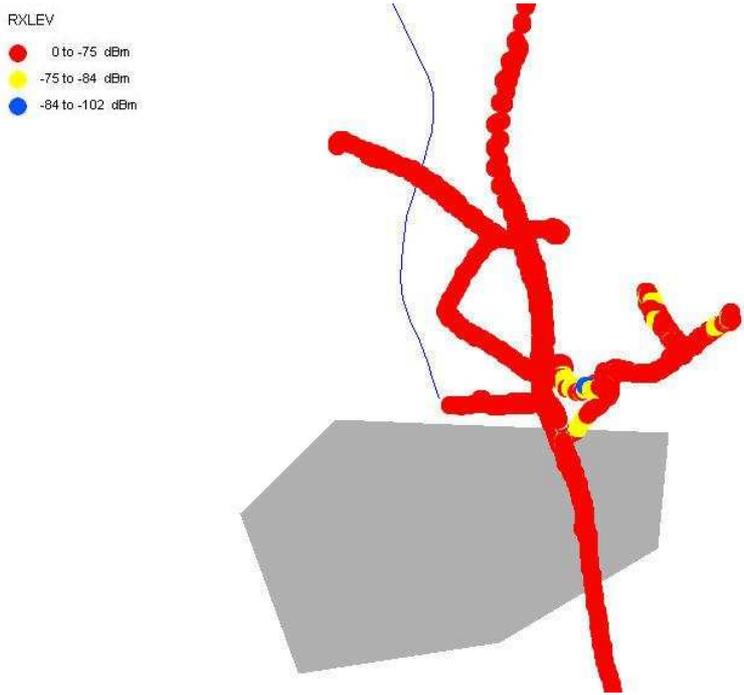


Figura 6.6 Ampliación del casco urbano de Anento

Para la población de Val de San Martín el resultado es similar, siendo el nivel del 90% las muestras capturadas superior a -75dBm, con un porcentaje de llamadas caídas del 6,9% y un porcentaje del 0% en fallo en el establecimiento de las llamadas.

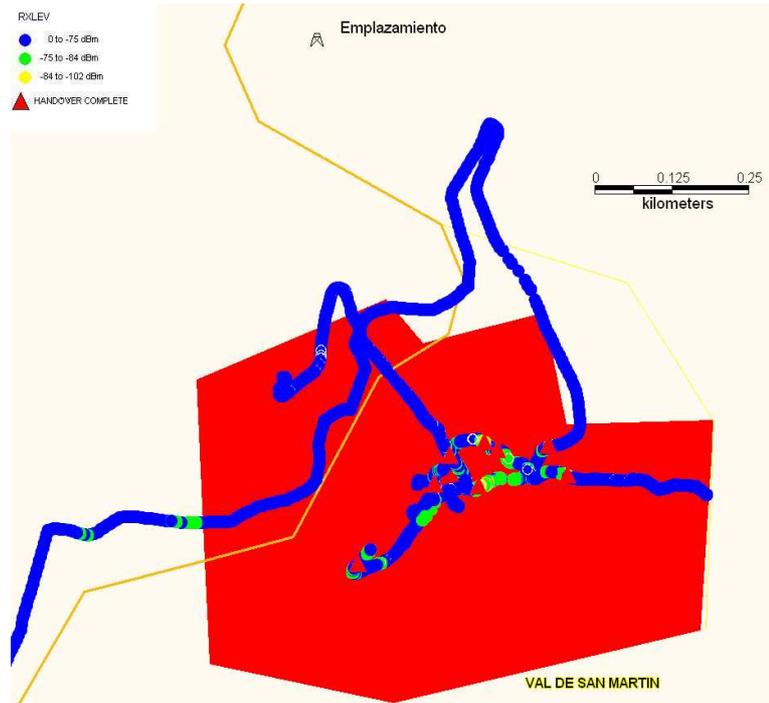


Figura 6.7 Medidas de Cobertura de Val de San Martín

Por último las medidas de cobertura de Langa del Castillo posteriores a la integración de la EB, reflejan que más del 90% de las muestras tienen un nivel superior a -75 dBm, un porcentaje de llamadas caídas del 1,3% y 0% de fallos en el establecimiento de la llamada.

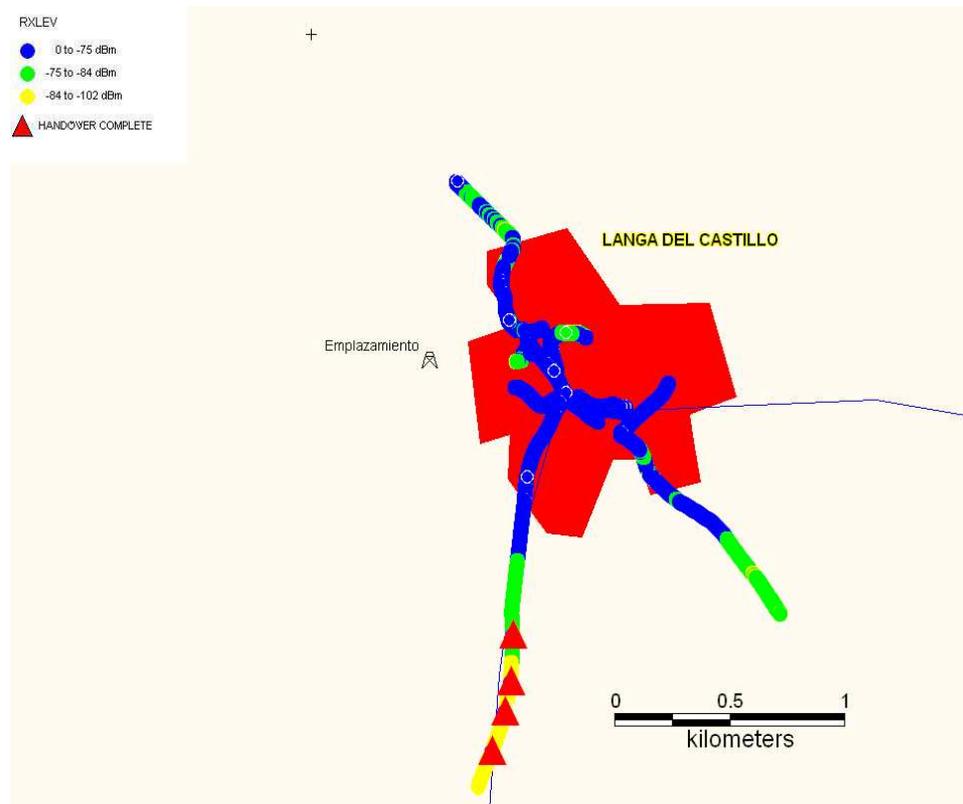


Figura 6.7 Medidas de Cobertura de Langa del Castillo.

## 6. PLANIFICACIÓN

## 6.2. ANÁLISIS SAR (Site Adquisition Report)

A continuación se muestra un SAR, que es el primer contacto que se tiene con un candidato a emplazamiento, consta de los siguientes apartados:

- Información General
- Datos Geográficos
- Prospección
- Obra Asociada
- Transmisión
- Radiofrecuencia
- Diagrama de obstáculos y puntos de transmisión.
- Croquis del emplazamiento y mapas.
- Informe fotográfico.

En este caso hemos elegido el SAR de Morata de Jiloca, en el resto de casos el procedimiento es similar.

## Site Acquisition Response - SAR

### INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Emplaz: <b>MORATA DE JILOCA</b>	Provincia: <b>ZARAGOZA</b>
Ref. Obra Ingeniería:	
Código Emplazamiento: <b>5000944</b>	
Número del candidato sobre el total: <b>1 de 1</b>	

### DATOS GEOGRÁFICOS

LATITUD (UTM)	LONGITUD (UTM)	COTA	HUSO	DATUM
0619452	45677947	623	30	ED-50

DIRECCIÓN:  
**CAMPO BLANCA "LA VENTA"**

### PROSPECCIÓN

Calificación del terreno	
Agrícola	<b>X</b>
Residencial	
Industrial	
Equipamiento	
Otros:	

Calificación del terreno	
Urbano	
Rural	<b>X</b>
Urbanizable	
Edificio Catalogado (Si/No)	

Tipo emplazamiento	Altura (m)	Comentarios
Edificio		
Nueva Torre	<b>X</b>	
Torre Existente		
Deposito de Agua		
Otros (detallar)		

¿Disponible 24 Horas?		Detallar medio de acceso (Llave/portero/guardia de seguridad etc.)
Si	No	
X		

Zona Habitada a menos de 50 metros del emplazamiento propuesto: Si No **X**

### **OBRA ASOCIADA**

CONDICIONES DE TME	Si	No	Comentarios (metros, limitaciones, etc)
Ayuntamiento Cede Terreno	X		
Ayuntamiento Cede Enganche (BT)	X		
Ayuntamiento asume consumo eléctrico	X		
Si no hay enganche cercano, ¿Esta el ayuntamiento dispuesto a ponemos una acometida?	X		
En caso necesidad técnica, el ayunt. esta dispuesto a aumentar la línea eléctrica	X		

TIPO DE ENGANCHE	
Monofasico / Trifasico	
Tensión (v)	
Potencia Total O NÚMERO DE CONTADOR	
Potencia que consume actualmente	
Sección de cable de la acometida	
Comentarios: <b>EN POSTE CERCANO HAY UN TRANSFORMADOR DE DONDE SALE LA ALIMENTACION PARA LA GASOLINERA CERCANA(EL AYUNTAMIENTO SE HACE CARGO DE LAS GESTIONES DEL ENGANCHE)</b>	

Estado del camino: Bueno  Malo

Habilitación de camino: Si  No  Longitud a subsanar: **70mts**

¿Está dispuesto el ayuntamiento a arreglar el camino?: Si  No

Comentarios: **El ayuntamiento arreglará los 70m de camino que hay hasta el emplazamiento**

#### **Descripción del Acceso de Medios para los siguientes puntos:**

Acceso de caseta EB-5/Mini: Fácil  Complicado  Comentarios:

Acceso de Torre: Fácil  Complicado  Comentarios:

Acceso de Hormigón: Fácil  Complicado  Comentarios:

**TRANSMISIÓN***Posibles salidas por radio enlace:*

EB ADYACENTE	AZIMUT
VILLAFELICE	150°
MALUENDA E.B	300°

*Posible salida por línea telefónica: SI NO**Comentarios:*

POSIBLES SALIDAS SEGÚN EL INFORME FOTOGRAFICO ADJUNTADO:  
150° VILLAFELICE O 300° MALUENDA

**RADIOFRECUENCIA***Posibles obstáculos (alturas):*

NO HAY OBSTÁCULOS

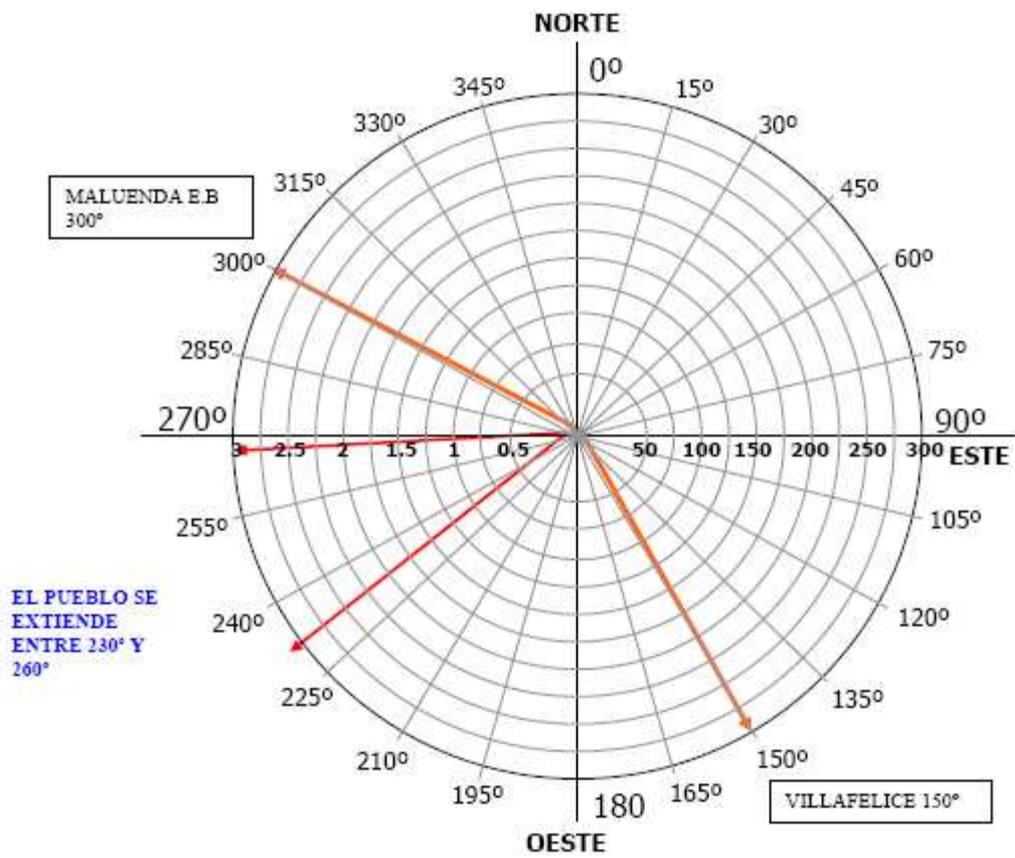
*Cobertura Movistar:*

CANAL	RxLev	LAC	CID
13	-67	5004	4233
VODAFONE			
113	-98	44720	28603

*Poblaciones cubiertas:*

NÚCLEO POBLACIÓN	CODIGO INE	NÚMERO DE HABITANTES
MORATA DE JILOCA		320

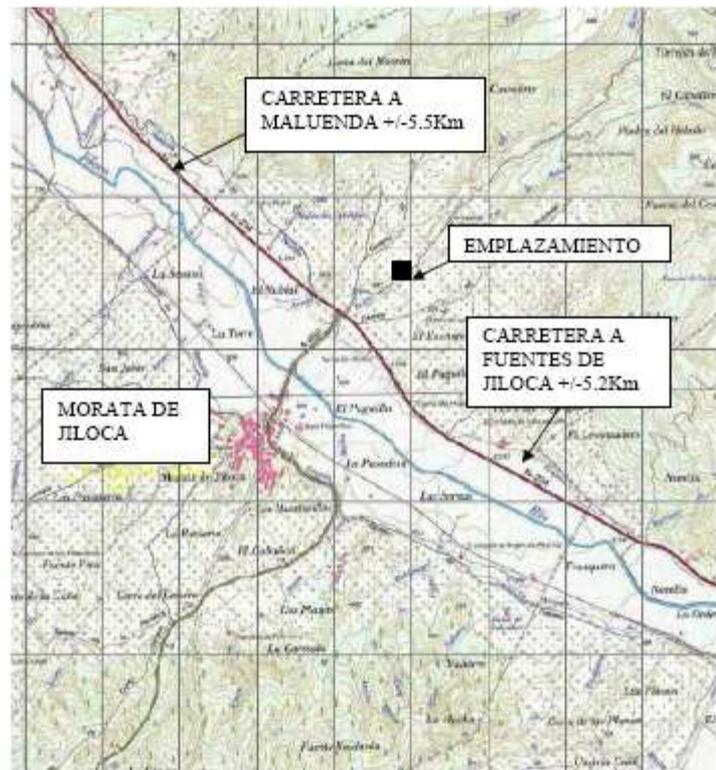
### DIAGRAMA DE OBSTÁCULOS Y PUNTOS DE TRANSMISIÓN



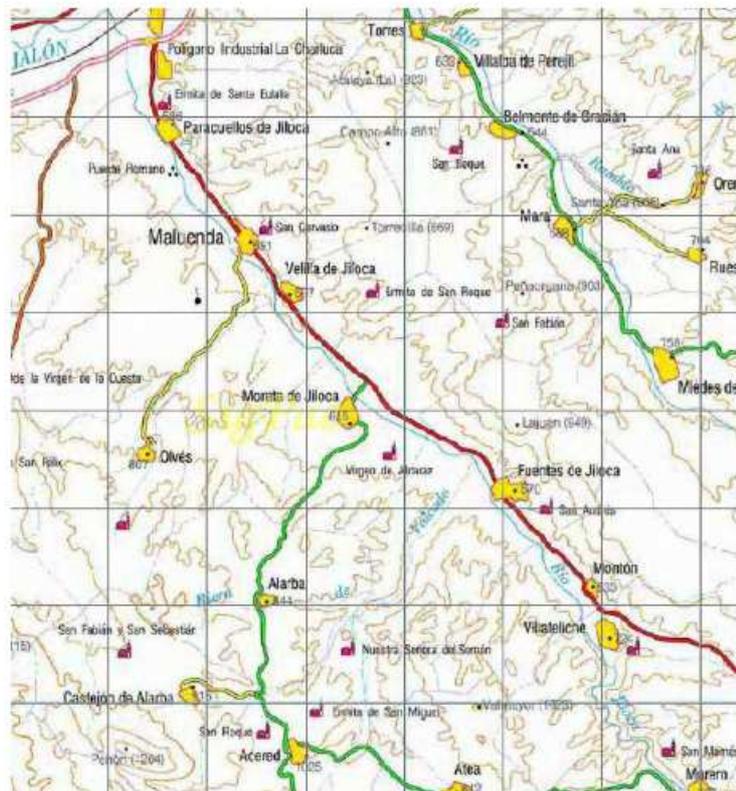
**Comentarios:** EL PUEBLO ESTA A UNA DISTANCIA DE 500m(MENCIONO QUE EN EL CENTRO DEL PUEBLO ENTRE LAS DOS LOMITAS QUE SE VEN HAY ZONA HABITADA)

0

### CROQUIS EMPLAZAMIENTO



### MAPAS

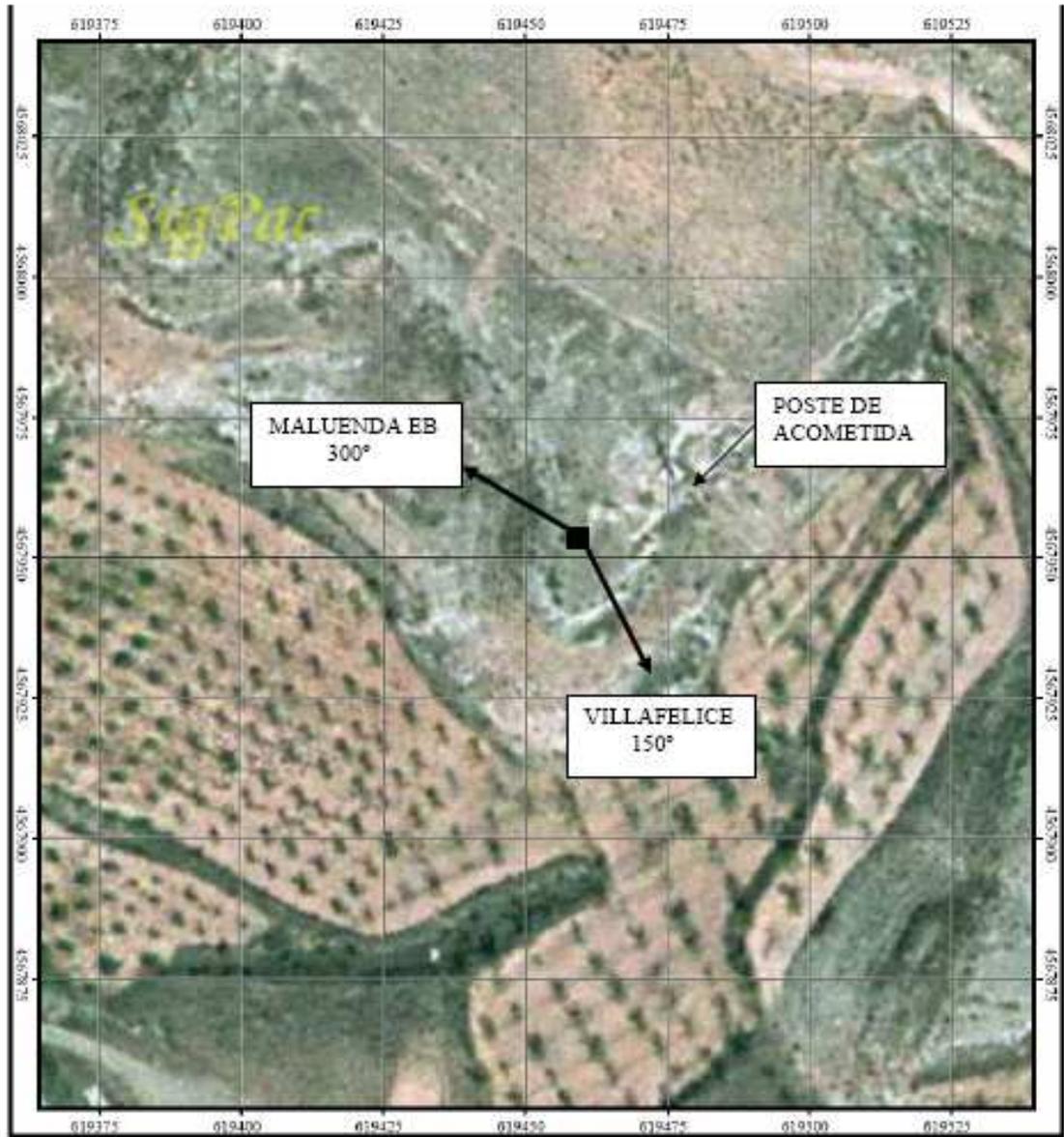


1 – Mapa de carreteras para acceder al pueblo

## 6. PLANIFICACIÓN



2 – Vista Aérea. Ubicación del punto respecto al objetivo de cobertura. Indicar Coordenadas SigPac en pantalla.



3 – Vista Aérea. Detalle del emplazamiento (SigPac)

## INFORME FOTOGRAFICO



4 – Foto a nivel de suelo del futuro emplazamiento



5 – Vista Aérea del Detalle indicando punto de referencia de dónde se van a tomar las siguientes fotos. (SigPac)



6 – Panorámica 0° desde pto. ref.



8 – Panorámica 90° desde pto. ref.



7 – Panorámica 45° desde pto. ref.



9 – Panorámica 135° desde pto. ref.



10 – Panorámica 180° desde pto. ref.



12 – Panorámica 270° desde pto. ref.



11 – Panorámica 225° desde pto. ref.



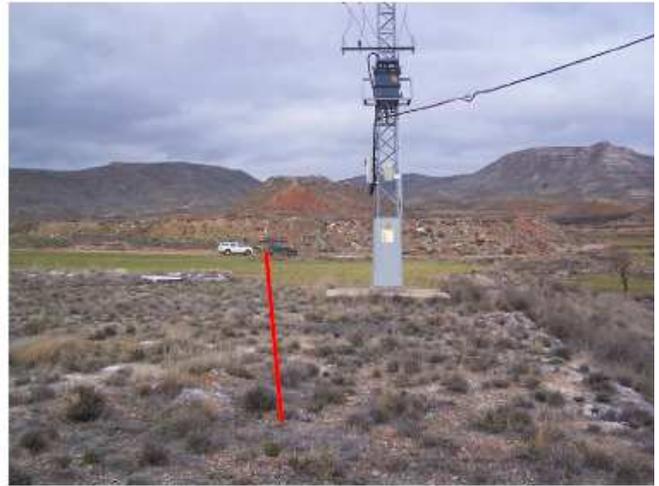
13 – Panorámica 315° desde pto. ref.

*Panorámica desde el emplazamiento propuesto*

6. PLANIFICACIÓN



14 – Vista del pueblo desde el emplazamiento.



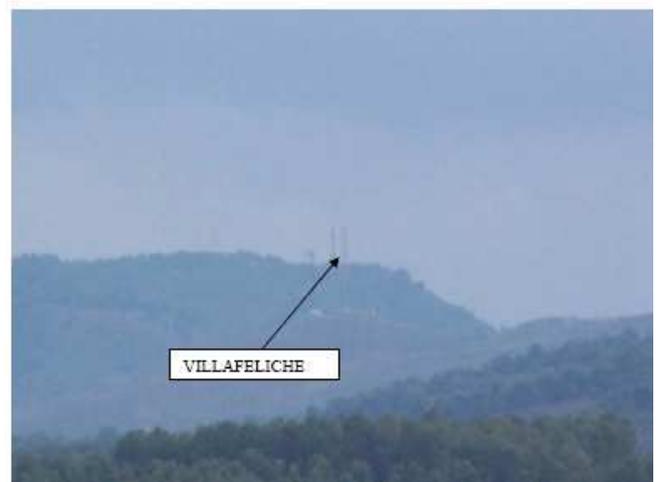
16 – Detalle del camino a realizar.



15 – Detalle del camino de acceso.



17.-Detalle de la acometida eléctrica.





18 y siguientes – Zoom de la salida TRS (tantas fotos como salidas haya), identificando con una flecha la torre destino.

De este documento se obtiene importante datos, se describen los aspectos más importantes dentro de cada apartado.

Lo primero a tener en cuenta dentro de *Datos Geográficos* son las coordenadas y cota del candidato a emplazamiento. En este caso son coordenadas UTM:

X: 619452  
 Y: 45677947  
 Huso: 30  
 Cota: 623

Del apartado *Prospección* los datos a tener en cuenta son la clasificación: *RURAL AGRICOLA* y si existe habitantes a menos de 50m del futuro emplazamiento, que en este caso es NEGATIVO.

Del apartado *Obra Asociada* se pueden concluir lo que el ayuntamiento está dispuesto a ceder para la construcción del emplazamiento. En Morata de Jiloca, el Ayuntamiento cede el terreno, el enganche a baja tensión, asume el consumo eléctrico y está dispuesto a poner una acometida y aumentar la capacidad de la línea eléctrica si fuese necesario. Además se especifica que será necesario acondicionar los últimos 70m del camino de acceso al emplazamiento

En *Transmisión* se indican las posibles salidas de transmisión por radioenlace: VILLAFELICHE Y MALUENDA.

De *Radiofrecuencia* destacamos la cobertura que se recibe en el candidato, tanto de la operadora en cuestión como de la competencia, y la población a cubrir, esto último es importante para planificar el número de portadoras.

## 6. PLANIFICACIÓN

En el siguiente apartado, *Diagrama de obstáculos y punto de transmisión*, se indica mediante un diagrama lo que se puede observar en el informe fotográfico, es decir la situación de Morata de Jiloca respecto al emplazamiento y las orientaciones de las posibles salidas de transmisión.

En los apartados *Croquis y Mapas* se indica la situación del candidato y los elementos más importantes en los alrededores del mismo.

El *Informe fotográfico* contiene una foto a nivel del suelo del futuro emplazamiento, una panorámica desde dicho punto, la vista del pueblo desde el emplazamiento y las posibles salidas de transmisión.

Con todos los datos extraídos del SAR, en primer lugar se sitúa el punto en mapas cartográficos para saber si realmente no existe obstáculos en la visibilidad con la población, Después con ayuda de las herramientas de planificación se sitúa correctamente el emplazamiento y se estudian los diferentes perfiles respecto a la población para seleccionar la orientación y altura de la antena o antenas de RF para cubrir la población de forma óptima.

Por otra parte los responsables de transmisión deben comprobar la viabilidad de las distintas salidas por radioenlace y la altura mínima necesaria para que dicho radioenlace no sufra indisponibilidad, después de dicho estudio se pide la elaboración de un LOS con el remoto que mejores condiciones cumple tanto de despeje como de capacidad.

En este caso concreto, después del análisis del SAR se decide la siguiente configuración:

Provincia	Población	Candidato
Zaragoza	Morata de Jiloca	A

Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
263	Macro	2	37,5	K739650	230	0

Y se solicita LOS con Villafeliche EB.

### 6.3. ANALISIS DE LOS (Line of Sight)

El objetivo principal del informe LOS es comprobar la visibilidad entre la estación planificada y una existente, denominada *remoto*. Además de comprobar la altura mínima en la que existe visibilidad directa.

A continuación se puede observar un LOS, posteriormente analizaremos los datos más relevantes:

**LOS SURVEY REPORT**

Date of issue	27/03/06
LoS surveyed	POSITIVO
Report issued	

LINK NUMBER		
Hop Length	(Km)	22,71
Frequency Planned	(GHz)	

LOS Result	LoS	X
	No LoS	
	LoS but	

A-END							
Site Name:	BADULES						
Address							
Checked Coordinates (UTM )	X 4555579,59 Y 646383,05						
Address	JUNTO REPETIDOR TV						
Site Type	<table border="1"> <tr> <td>Rooftop</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Climbing Structure</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Green Field</td> <td>X</td> </tr> </table>	Rooftop		Climbing Structure		Green Field	X
Rooftop							
Climbing Structure							
Green Field	X						
Azimuth Surveyed	340°						
Structure height (m)	0mt						
Minimum LOS height (m)	0mt						
Comments:	<u>POSITIVA DESDE 0 METROS</u>						
Photo references:	A-End Site Photograph A-End survey position LOS confirmatio NF+FF						

A-END							
Site Name:	ZAR_1101 (CODOS ER)						
Address							
Checked Coordinates (UTM )	X 4576918 Y 638621						
Address	PUERTOS DE CODOS						
Site Type	<table border="1"> <tr> <td>Rooftop</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Climbing Structure</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Green Field</td> <td></td> </tr> </table>	Rooftop		Climbing Structure	X	Green Field	
Rooftop							
Climbing Structure	X						
Green Field							
Azimuth Surveyed	160°						
Structure height (m)	30mt						
Minimum LOS height (m)	0mt						
Comments:	<u>POSITIVA DESDE 0 METROS</u>						
Photo references:	B-End Site Photograph B-End survey position LOS confirmatio NF+FF						

Name/Signature

Name/Signature

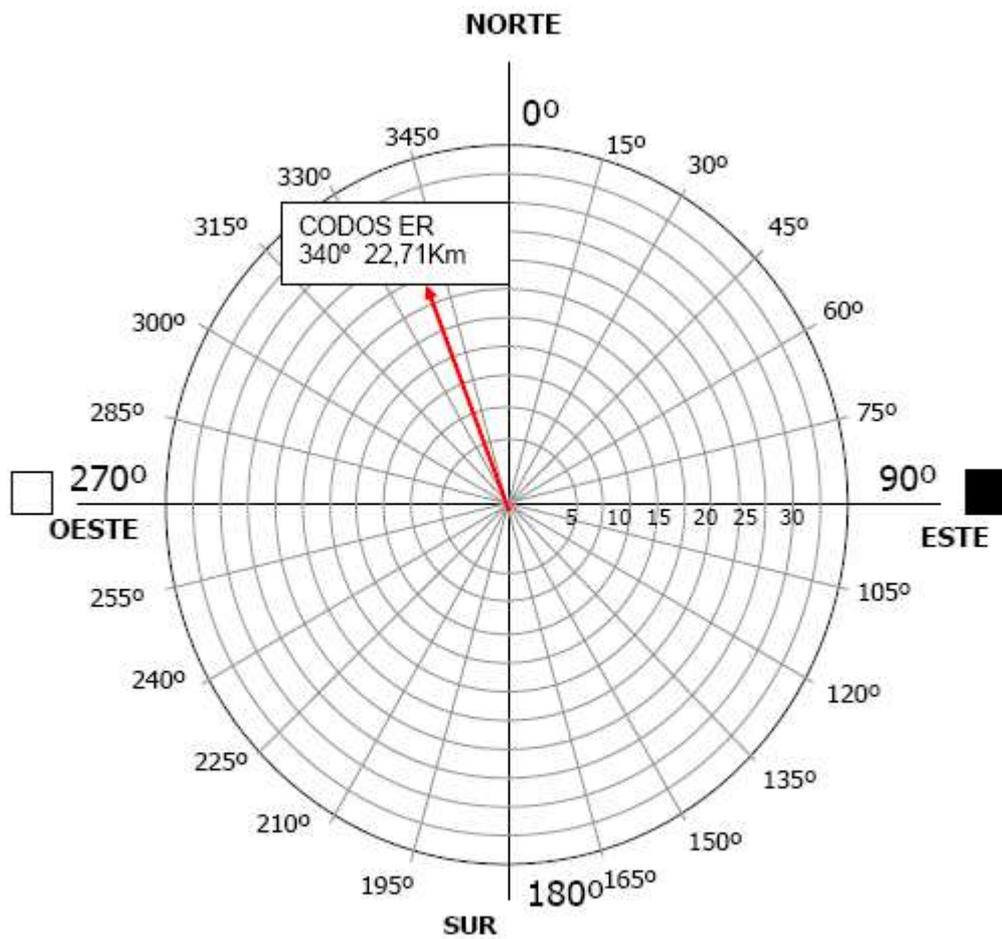
## 6. PLANIFICACIÓN

-Additional information requires in the report are:

- Pictures of site A
- Pictures of site B
- Two sketches from where to put the mass/antenna heights in both ends
- Two Pictures one from each end (A and B) where we can see the LOS checking from both ends
- Terrain profile
- Preferred two ends checking only acceptable only one end checking for difficult acces.

-LOS report results:

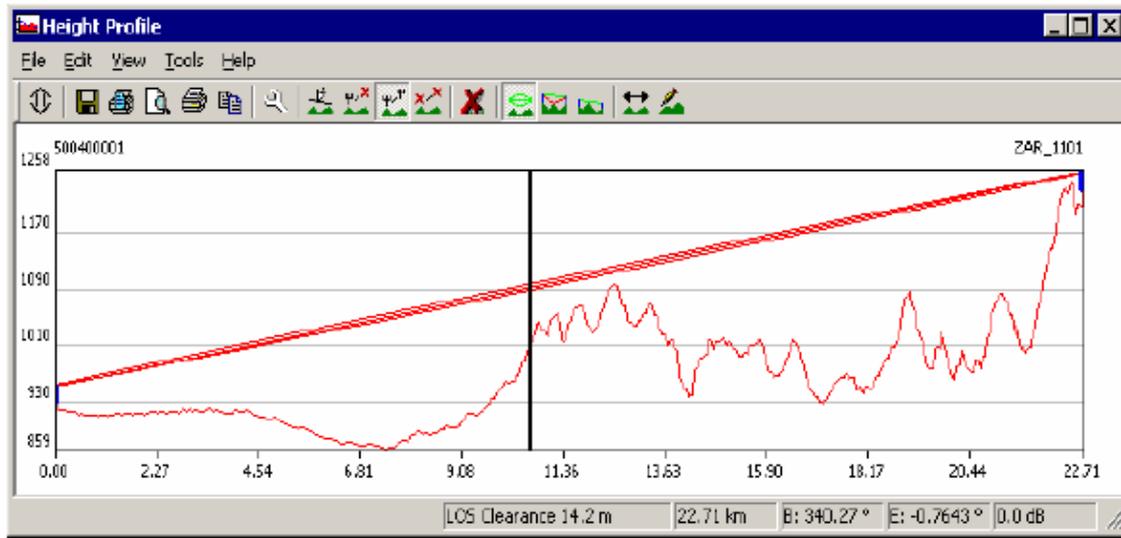
- **YES/NO/ CRITICAL** status of the report
- **Minimum height** for antenna
- Infrastructure sharing



*Comments:*

**LÍNEA DE VISTA POSITIVA. DISTANCIA APROX 22,71 KM**

PERFIL A-B



Perfil A-B

6. PLANIFICACIÓN

DESPLIEGUE EGSM EN ZONAS ESPECÍFICAS

EMPLAZAMIENTO A



LINEA DE VISTA SIN ZOOM A-B



UBICACION LOS A



LINEA DE VISTA CON ZOOM A-B

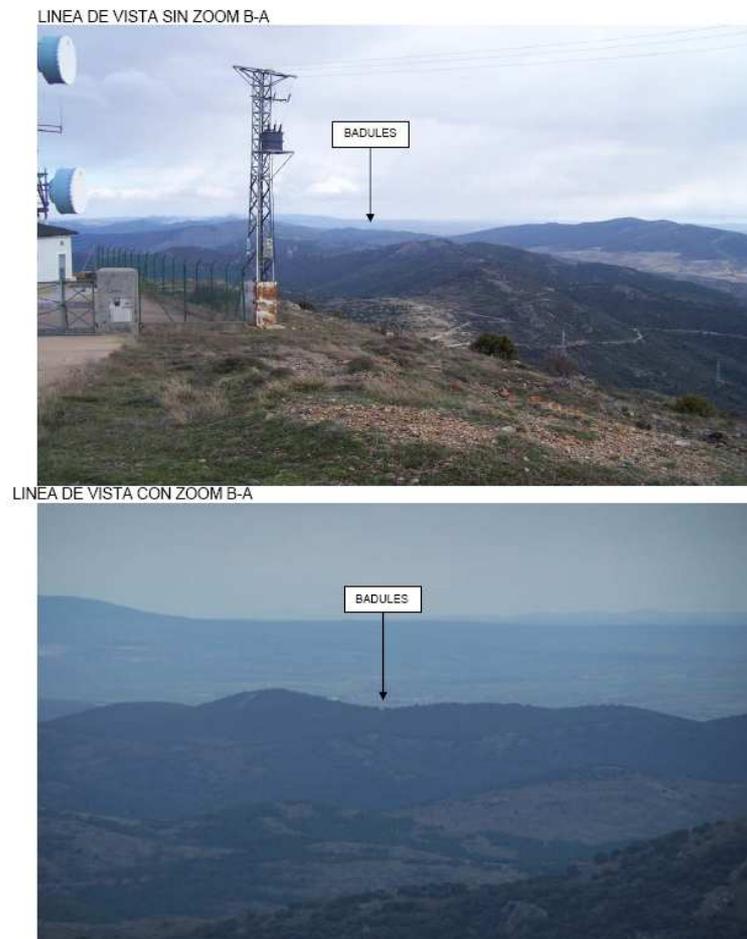


EMPLAZAMIENTO B



UBICACION LOS B





Situación del emplazamiento, remoto y línea de vista entre ambos

Analizando el documento LOS desde el inicio podemos obtener los siguientes datos relevantes:

- El estudio del LOS es POSITIVO.
- La distancia entre las estaciones es de 22,71km
- Las coordenadas UTM de ambos emplazamientos:

BADULES:	CODOS ER:
X=646383,05	X= 638621
Y=4555579,59	Y= 4576918
COTA: 915m	COTA: 1212m

Aunque no se especifican las cotas, no es difícil averiguarlas gracias a herramientas como sigpac, googleEarth...

6. PLANIFICACIÓN

- La tipología del emplazamiento, evidentemente el emplazamiento de Badules es rural, ya que no se ha construido nada, Codos ER es del tipo torre.
- El azimut desde Badules a Codos ER es de 340° y desde Codos ER a Badules es de 160°.
- Se especifica la altura mínima necesaria para que exista línea de vista en ambos extremos (A y B).

En las siguientes páginas del documento se muestra gráficamente lo expresado anteriormente, para comprobar que efectivamente existe línea de vista entre los dos emplazamientos. Cabe destacar el perfil entre ambos emplazamientos, donde se indica una zona de despeje de 14,2m (los clearance de 14,2m)

#### 6.4. DISEÑO RADIO Y TRANSMISIÓN

A continuación se describe la configuración de radio y transmisión de las nuevas estaciones planificadas dentro de la zona objetivo de este documento. Esto se ha realizado teniendo en cuenta los conceptos de planificación radio y transmisión, además de los análisis de los informes SAR y LOS.

En primer lugar se enumeran los emplazamientos para, a continuación, describir la configuración de cada uno de ellos.

##### 6.4.1. NUEVOS EMPLAZAMIENTOS

En este apartado solamente se enumerarán los emplazamientos planificados dentro de nuestra zona objetivo y su población entre parentesis:

En la provincia de Zaragoza nos encontramos con :

- Santa Cruz del Grio (188)
- Cosuenda (377)
- Tobed (251)
- Langa del Castillo (164)
- Atea (172)
- Villarroya del Campo (78)
- Badules (101)
- Anento (102)
- Val de San Martin (84)
- Herrera de los Navarros (647)

Y en la provincia de Teruel se encuentra Villahermosa del Campo (91).

##### 6.4.2. CONFIGURACION DE LOS EMPLAZAMIENTOS

## 6. PLANIFICACIÓN

Comenzaremos por los emplazamientos próximos a la estación existente de Codos ER y seguidamente los emplazamientos cercanos a Picacho EB.

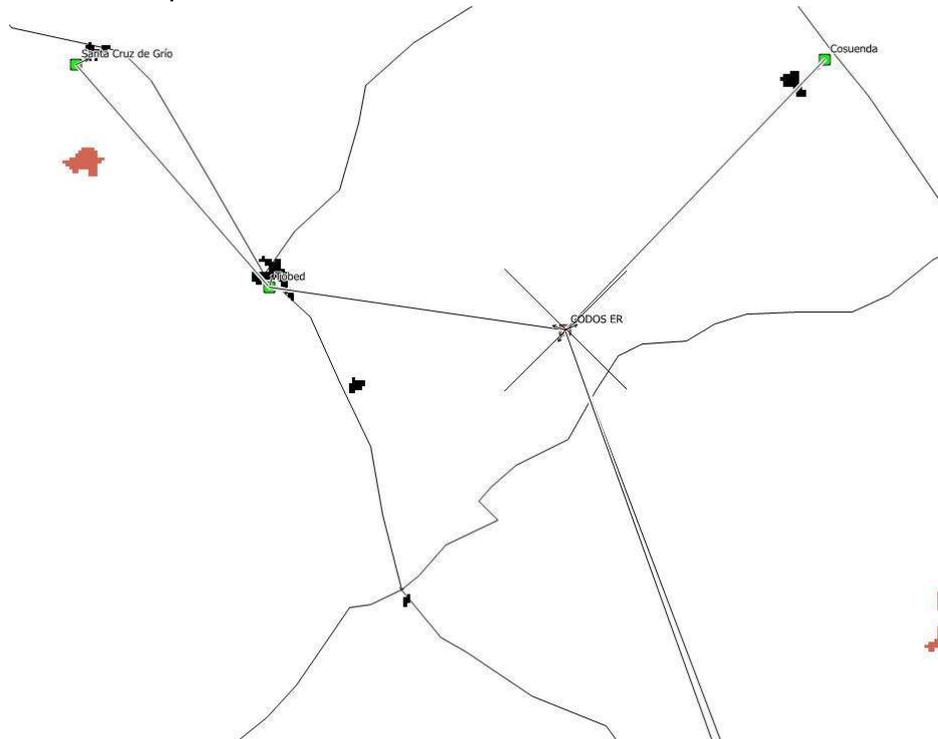


Figura 6.8 Emplazamientos próximos a Codos ER (I)

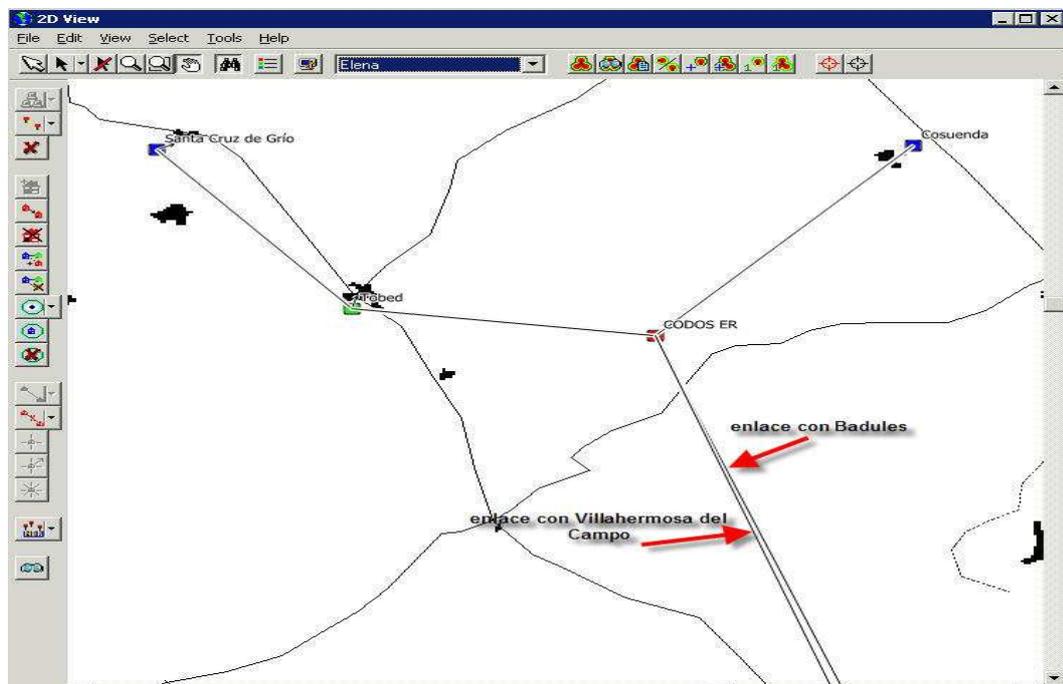


Figura 6.9 Emplazamientos próximos a Codos ER (II)

6. PLANIFICACIÓN

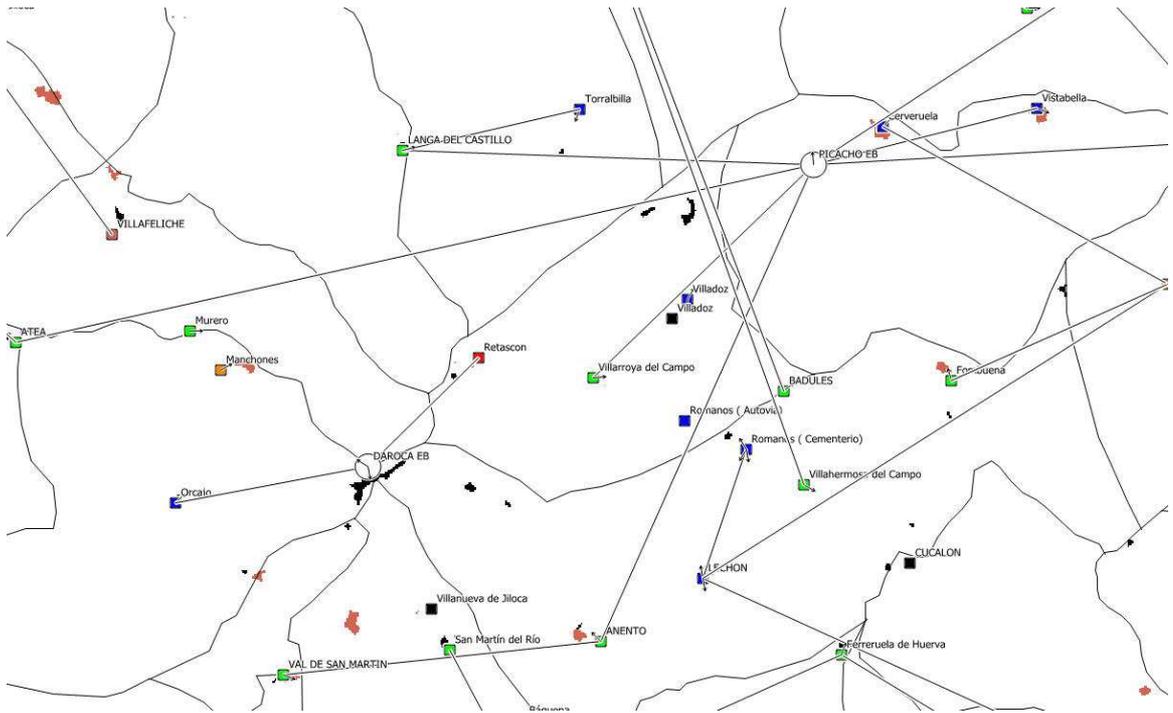


Figura 6.10 Emplazamientos proximos a Picacho EB (I)

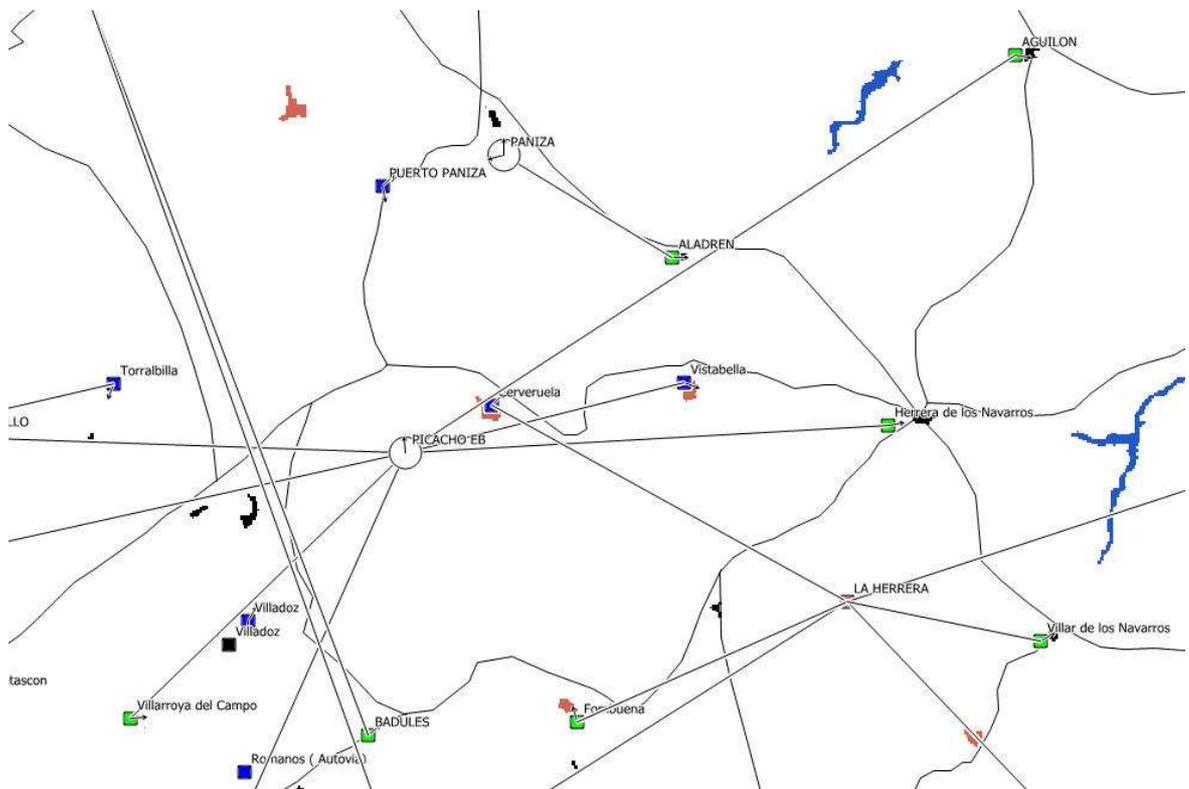


Figura 6.11 Emplazamientos proximos a Picacho EB (II)

## 6. PLANIFICACIÓN

## 6.4.2.1. TOBED

Tobed cuenta con una población de 251 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MACRO con 2 portadoras , la antena utilizada sera K739650 y se situara a 16,7m ( la parte baja de la antena, serian 18 m al centro de la antena) con una orientacion de 15° y downtilt mecánico de 10°.

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Tobed	251	Macro	2	16,7	K739650	15	10

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:



Figura 6.12 Situación del emplazamiento

## 6. PLANIFICACIÓN

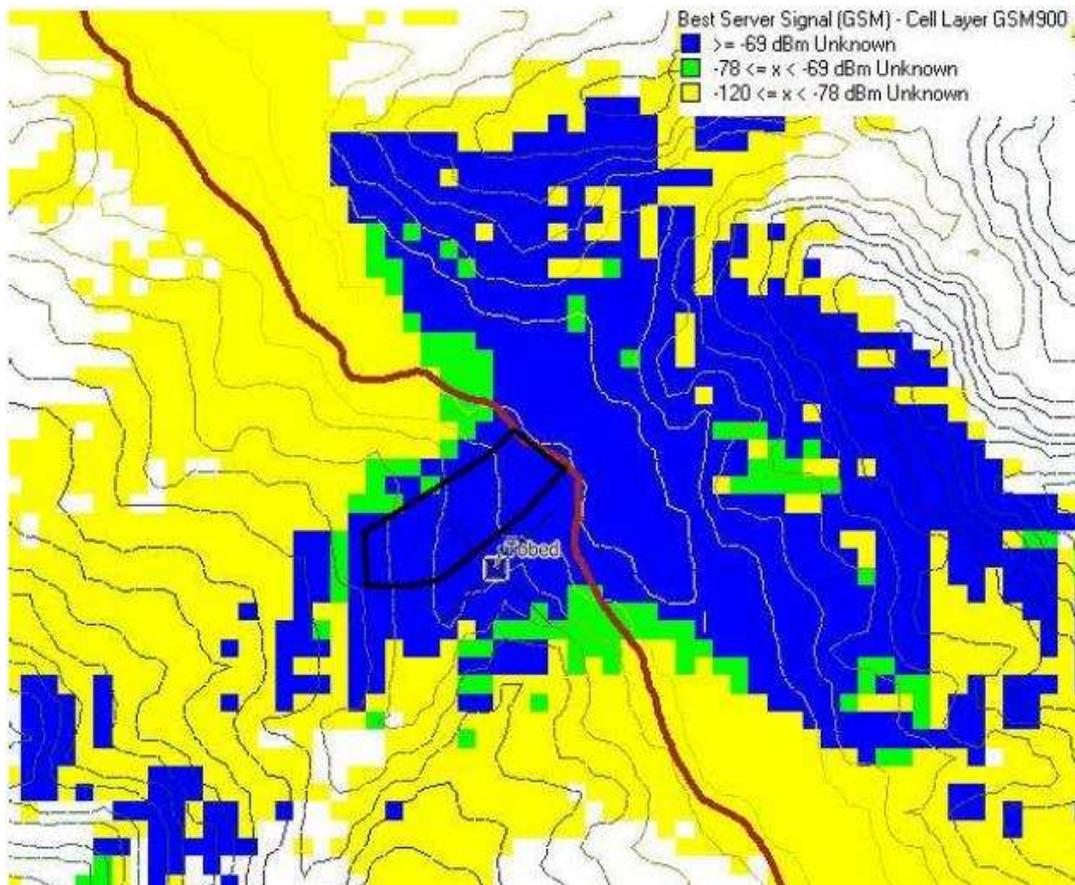


Figura 6.13 Estimación de cobertura para Tobed

En referencia a la transmisión tras comprobar la capacidad de los posibles remotos de Tobed y ,posteriormente, la existencia de línea de vista con la opción elegida, en este caso es Codos ER, la operadora nos confirmará la viabilidad de este enlace.

Para ello nosotros calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Tobed-Codos ER) con diferentes parabolos y altura, en función de la distancia y de las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolos de 0,3 en ambos extremos , 20m de altura en Tobed y 25m en Codos ER y las frecuencias 23,33275 GHz (alta) en Codos ER y 22,32475 GHz (baja) en Tobed.

			Extremo A	Codós ER		
			Extremo B	Tobed		
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	Tipo	MW	Frec. A-B (GHz)	23.33275
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	Longitud (Km)	4.74	Frec. B-A (GHz)	22.32475
	Banda Frec (GHz)	23	Polarización (A-B)	Vertical	Polarización (B-A)	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (º)	277.19	Diámetro (m)	0.3
	Protección	1+0	Elevación (º)	7.07	Ganancia (dBi)	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	38.4	Potencia Tx (dBm)	3
	Protección	1+0	Altura (m)	25	Potencia Rx (dBm)	-60.1766
					FM efectivo (dBm)	43.5804
	Indisponibilidad Anual (%)	0.0003578		Fiabilidad Anual Total (%)		
				99.9996418		
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (º)	97.19	Diámetro (m)	0.3
	Protección	1+0	Elevación (º)	-7.07	Ganancia (dBi)	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	38.4	Potencia Tx (dBm)	3
	Protección	1+0	Altura (m)	20	Potencia Rx (dBm)	-60.1766
					FM efectivo (dBm)	43.6609
	Indisponibilidad Anual (%)	0.0004333		Fiabilidad Anual Total (%)		
				99.9995662		

Figura 6.14 Configuración del vano

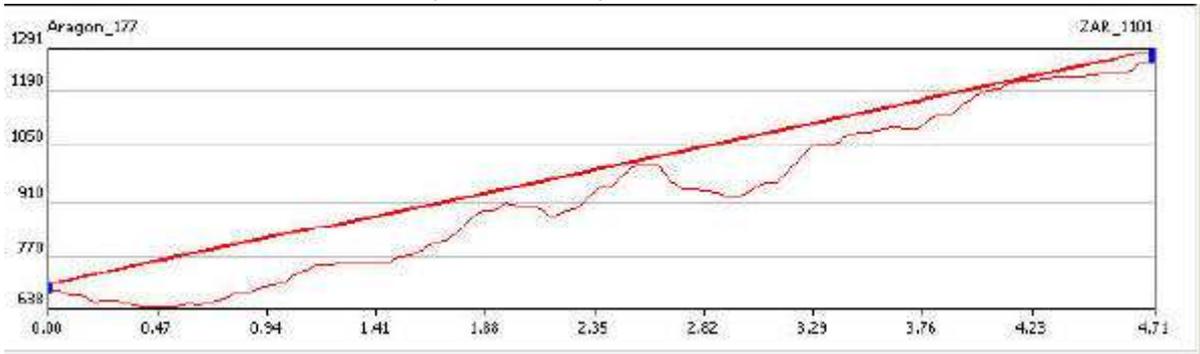


Figura 6.15 Perfil Tobed- Codós ER

6.4.2.2. SANTA CRUZ DEL GRIO

Santa Cruz del Grio tiene una población de 188 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MACRO con 2 portadoras, la antena utilizada sera K739650 y dado que por motivos de transmisión se necesitara una torre de 30m la antena de RF se situara a 26,7m ( la parte baja de la antena, serian 28 m al centro de la antena) con una orientacion de 65º y downtilt mecánico de 6º.

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Santa Cruz del Grio	188	Macro	2	26,7	K739650	65	6

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:



Figura 6.16 Situación del emplazamiento

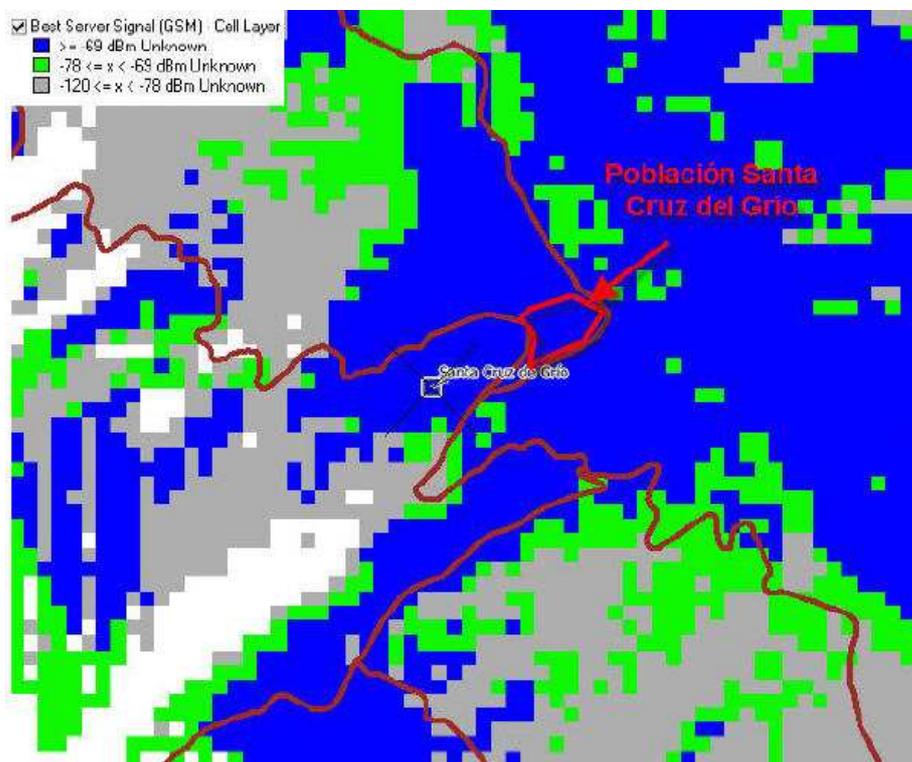


Figura 6.17 Estimación de cobertura para Santa Cruz del Grio

## 6. PLANIFICACIÓN

En transmisión tras comprobar la capacidad de los posibles remotos para Santa Cruz del Grio y ,posteriormente, la existencia de línea de vista con la opcion elegida, en este caso es la nueva estacion de Tobed, la operadora nos confirmará la viabilidad de este enlace. Para ello nosotros calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Santa Cruz del Grio-Tobed) con diferentes parabolas y altura, en funcion de la distancia y de las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolas de 0,3 en ambos extremos , 18 m de altura en Tobed y 28 m en Santa Cruz del Grio y las frecuencias 22,32825 GHz (baja) en Tobed y 23,33625GHz (alta) en Santa Cruz del Grio.

		Extremo A	Tobed			
		Extremo B	Santa Cruz de Grio			
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	Tipo	MW	Frec. A-B (GHz)	22.32825
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	Longitud (Km)	4.62	Frec. B-A (GHz)	23.33625
	Banda Frec (GHz)	23	Polarización (A-B)	Vertical	Polarización (B-A)	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (°)	319.31	Diámetro (m)	0.3
	Protección	1+0	Elevación (°)	-0.42	Ganancia (dBi)	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	38.4	Potencia Tx (dBm)	3
	Protección	1+0	Altura (m)	18	Potencia Rx (dBm)	-59.9166
					FM efectivo (dBm)	44.0481
Indisponibilidad Anual (%)			0.0003862		Fiabilidad Anual Total (%)	
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (°)	139.31	Diámetro (m)	0.3
	Protección	1+0	Elevación (°)	0.42	Ganancia (dBi)	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	38.4	Potencia Tx (dBm)	3
	Protección	1+0	Altura (m)	28	Potencia Rx (dBm)	-59.9166
					FM efectivo (dBm)	44.0834
Indisponibilidad Anual (%)			0.0003178		Fiabilidad Anual Total (%)	
99.9996551						

Figura 6.18 Configuración del vano

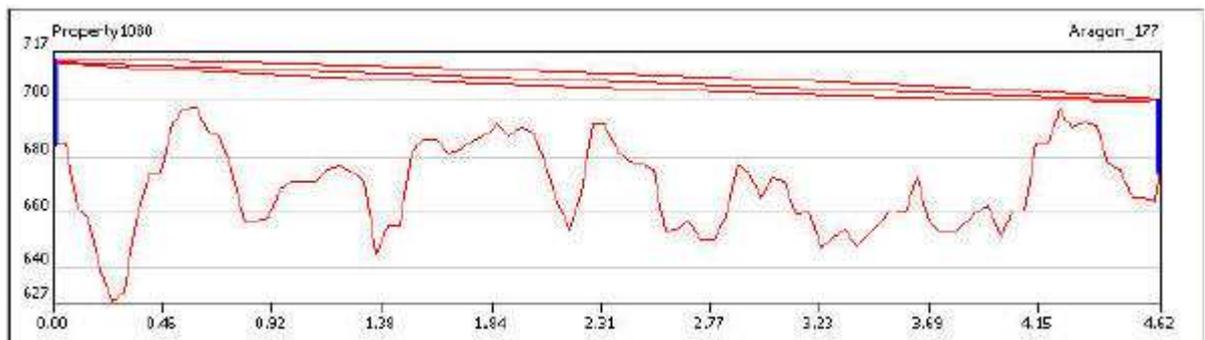


Figura 6.19 Perfil Santa Cruz del Grio- Tobed

## 6.4.2.3. COSUENDA

Cosuenda tiene una población de 377 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MACRO con 2 portadoras , la antena utilizada sera K739650 ,la antena de RF se situara a 17,5m ( la parte baja de la antena, serian 18,8 m al centro de la antena) con una orientacion de 22° y downtilt mecánico de 8°.

## 6. PLANIFICACIÓN

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Cosuenda	377	Macro	2	17,5	K739650	220	8

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:



Figura 6.20 Situación del emplazamiento

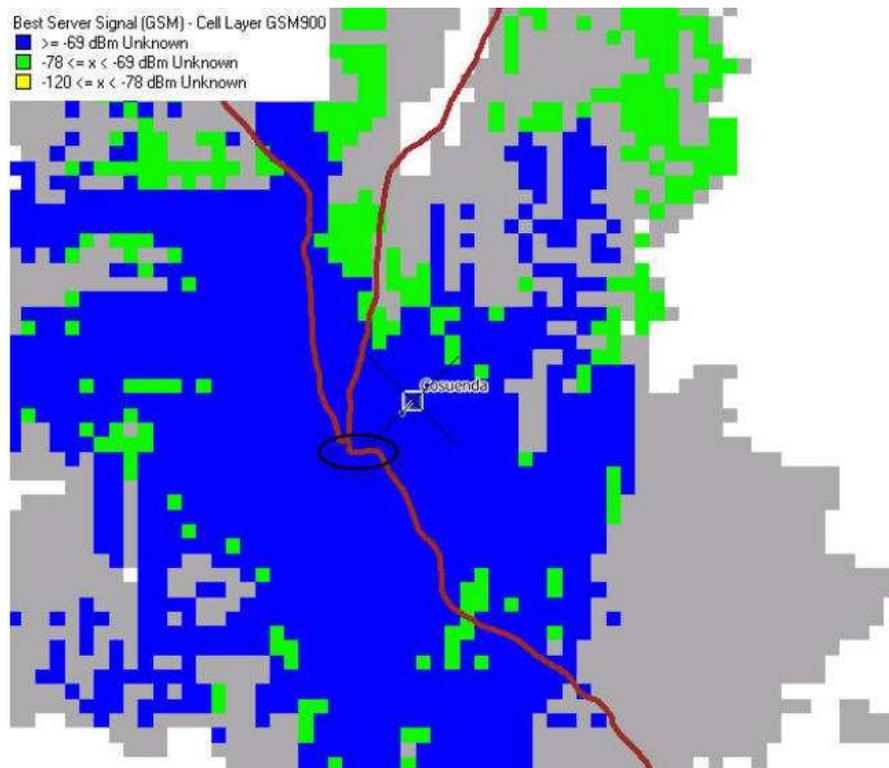


Figura 6.21 Estimación de cobertura para Cosuenda

## 6. PLANIFICACIÓN

En transmisión, el proceso es el mismo que en los emplazamientos anteriores: se comprueba la capacidad de los posibles remotos para Cosuenda y la existencia de línea de vista con la opción elegida, Codos ER que también es el remoto de Tobed.

Para ello nosotros calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Cosuenda-Codos ER) con diferentes parabolos y altura, en función de la distancia y de las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolos de 0,3 en ambos extremos, 10 m de altura en Cosuenda y 24 m en Codos ER y las frecuencias 22,32825 GHz (baja) en Cosuenda y 23,33625GHz (alta) en Codos ER

		Extremo A	Codos ER			
		Extremo B	Cosuenda			
<b>Código de Obra:</b>	5000935	<b>Nº Administrativo:</b>	500000000225M		<b>Nº Aceptación:</b>	078101225
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	<b>Tipo</b>	MW	<b>Frec. A-B (GHz)</b>	23.33625
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	<b>Longitud (Km)</b>	5.78	<b>Frec. B-A (GHz)</b>	22.32825
	Banda Frec (GHz)	23	<b>Polarización (A-B)</b>	Vertical	<b>Polarización (B-A)</b>	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	<b>Acimut (º)</b>	43.61	<b>Diámetro (m)</b>	0.3
	Protección	1+0	<b>Elevación (º)</b>	6.23	<b>Ganancia (dBi)</b>	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	<b>PIRE (dBm)</b>	39.4	<b>Potencia Tx (dBm)</b>	4
	Protección	1+0	<b>Altura (m)</b>	24	<b>Potencia Rx (dBm)</b>	-61.0819
					<b>FM efectivo (dBm)</b>	40.2135
<b>Indisponibilidad Anual (%)</b>				0.0007547	<b>Fiabilidad Anual Total (%)</b>	
99.9992444						
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	<b>Acimut (º)</b>	223.61	<b>Diámetro (m)</b>	0.3
	Protección	1+0	<b>Elevación (º)</b>	-6.23	<b>Ganancia (dBi)</b>	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	<b>PIRE (dBm)</b>	39.4	<b>Potencia Tx (dBm)</b>	4
	Protección	1+0	<b>Altura (m)</b>	10	<b>Potencia Rx (dBm)</b>	-61.0819
					<b>FM efectivo (dBm)</b>	41.7439
<b>Indisponibilidad Anual (%)</b>				0.0007917	<b>Fiabilidad Anual Total (%)</b>	
99.9992074						

Figura 6.22 Configuración del vano

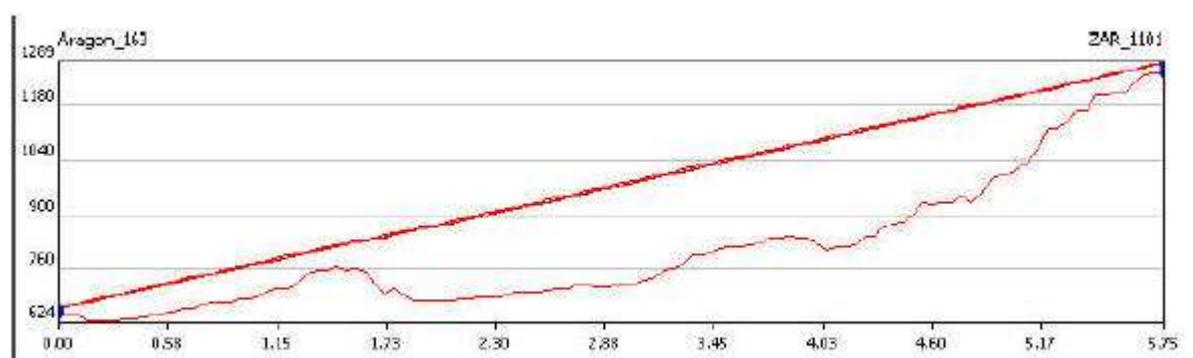


Figura 6.23 Perfil Cosuenda- Codos ER

## 6.4.2.4. BADULES

Badules cuenca con una población de 101 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MICRO con 1 portadora, la antena utilizada sera K739650, la antena de RF se situara a 17,5m (la parte baja de la antena, serian 18,8 m al centro de la antena) con una orientación de 50º y downtilt mecánico de 2º.

## 6. PLANIFICACIÓN

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Badules	101	Micro	1	17,5	K739650	50	2

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:

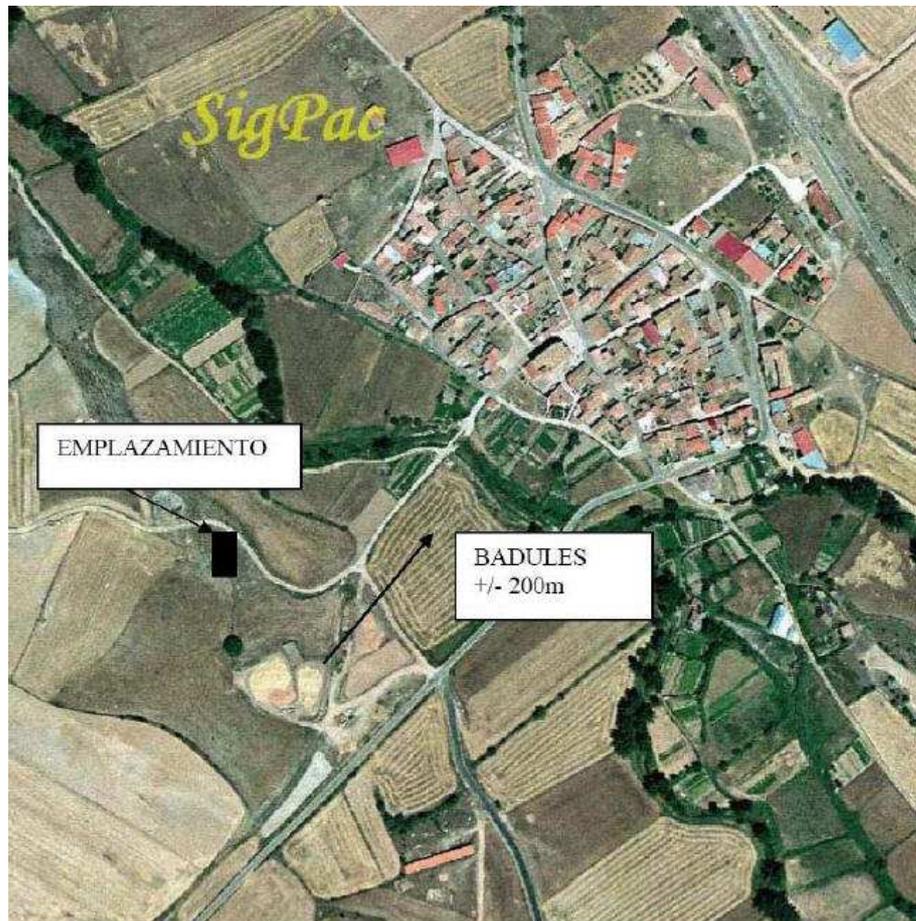


Figura 6.24 Situación del emplazamiento

6. PLANIFICACIÓN

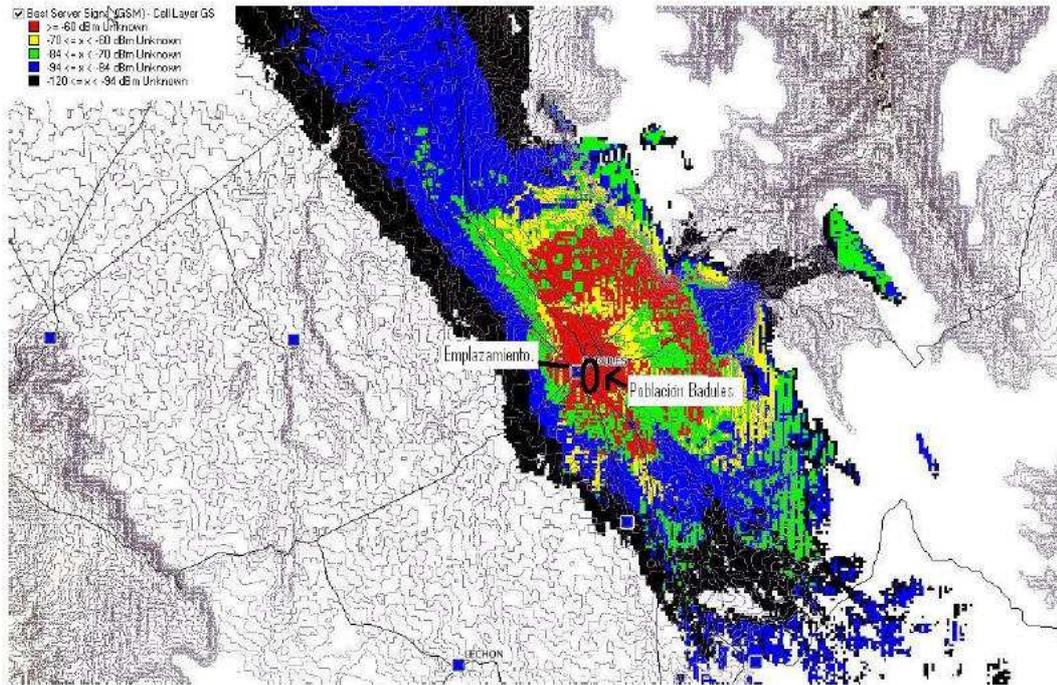


Figura 6.25 Estimación de cobertura en Badules

En transmisión, se comprueba la capacidad de los posibles remotos para Badules y la existencia de línea de vista con la opción elegida, Codos ER .

Para ello nosotros calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Badules-Codos ER) con diferentes parabolas y altura, en función de la distancia, que en este caso es de 22,6 km, y de las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolas de 0,6 en ambos extremos , 15 m de altura en Badules y 25 m en Codos ER y las frecuencias 22.32475GHz (baja) en Cosuenda y 23.33275GHz (alta) en Codos ER

		Extremo A	Codos ER			
		Extremo B	Badules			
<b>Código de Obra:</b>	5000554	<b>Nº Administrativo:</b>	5000000000157M	<b>Nº Aceptación:</b>	066069057	
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	Tipo	MW	Frec. A-B (GHz)	23.33275
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	Longitud (Km)	22.6	Frec. B-A (GHz)	22.32475
	Banda Frec (GHz)	23	Polarización (A-B)	Vertical	Polarización (B-A)	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	Acimut (º)	159.64	Diámetro (m)	0.6
	Protección	1+0	Elevación (º)	0.86	Ganancia (dBi)	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	50.6	Potencia Tx (dBm)	10
	Protección	1+0	Altura (m)	25	Potencia Rx (dBm)	-59.4699
					FM efectivo (dBm)	37.1293
<b>Indisponibilidad Anual (%)</b>			0.0083489		<b>Fiabilidad Anual Total (%)</b>	
99.9910957						
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	Acimut (º)	339.64	Diámetro (m)	0.6
	Protección	1+0	Elevación (º)	-0.86	Ganancia (dBi)	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	50.6	Potencia Tx (dBm)	10
	Protección	1+0	Altura (m)	15	Potencia Rx (dBm)	-59.4699
					FM efectivo (dBm)	37.5301
<b>Indisponibilidad Anual (%)</b>			0.0097661		<b>Fiabilidad Anual Total (%)</b>	
99.9896648						

Figura 6.26 Configuración del vano

## 6. PLANIFICACIÓN

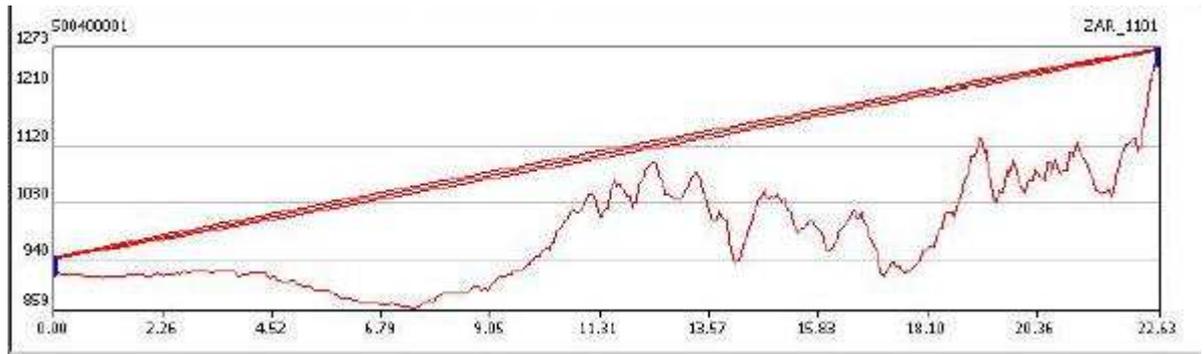


Figura 6.27 Perfil Badules-Codos ER

## 6.4.2.5. VILLAHERMOSA DEL CAMPO

Villahermosa del Campo tiene una población de 89 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MICRO con 2 portadoras, la antena utilizada sera K739655, la antena de RF se situara a 13m (la parte baja de la antena, serian 14m al centro de la antena) con una orientación de  $120^{\circ}$  y downtilt mecánico de  $2^{\circ}$ .

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Villahermosa del Campo	89	Micro	2	13	K739655	120	2

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:

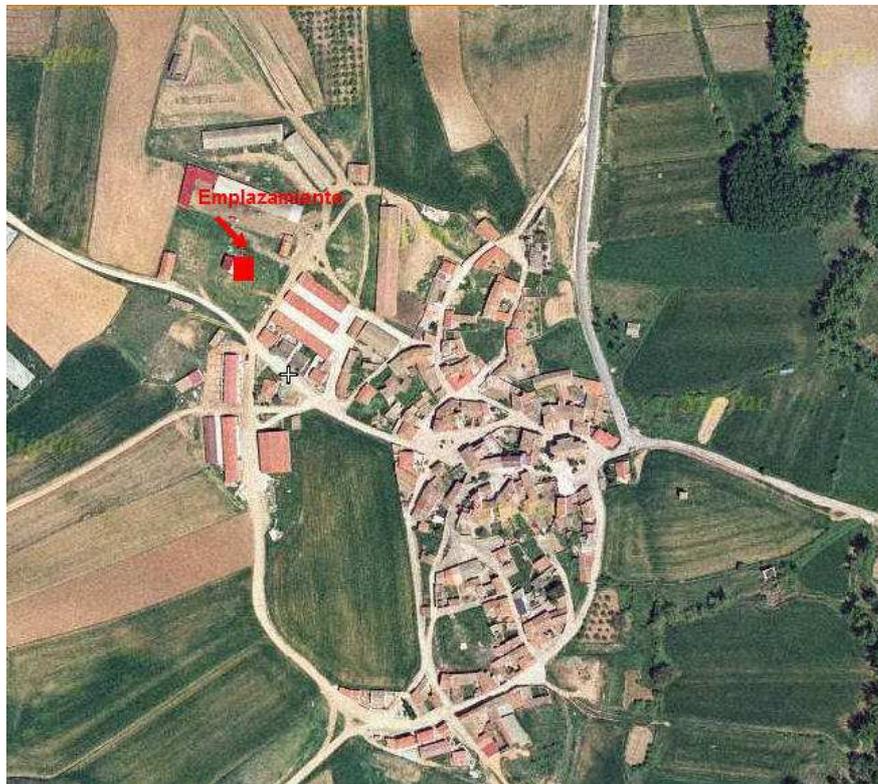


Figura 6.28 Situación del emplazamiento

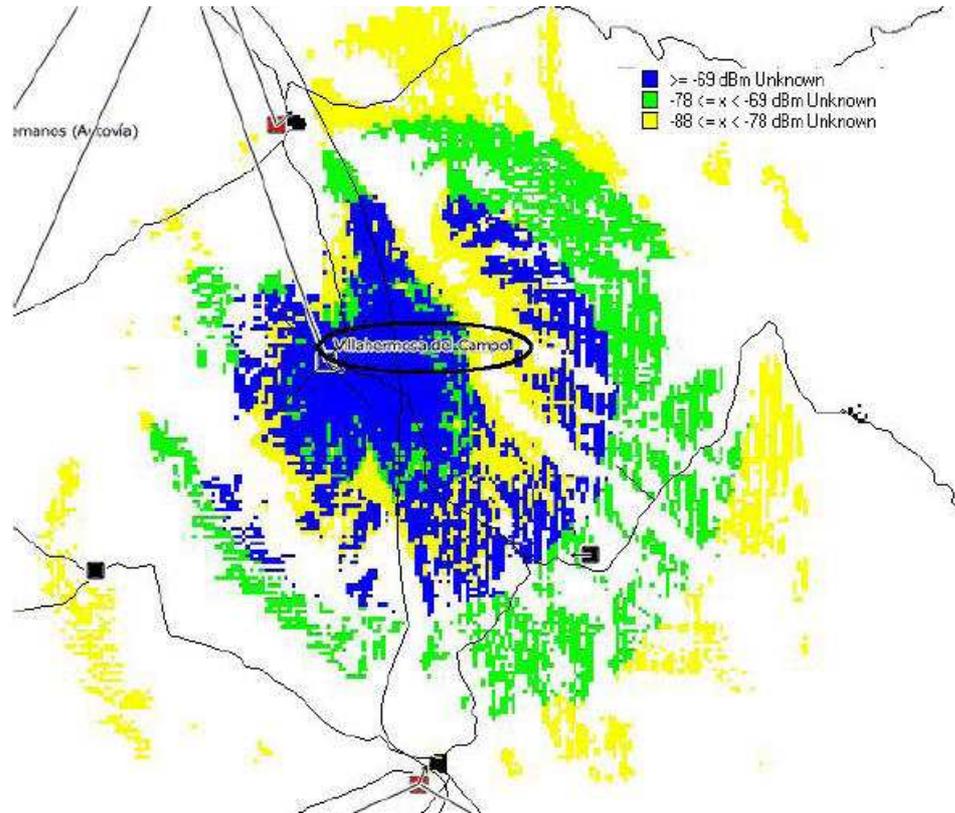


Figura 6.29 Estimacion de cobertura prevista para Villahermosa del Campo

En transmisión, este sera el ultimo nuevo emplazamiento cuyo remoto es Codos ER, debido a viabilidad de capacidad. Se trata de un radioenlace de 25,7 km de longitud. Para ello nosotros calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Villahermosa del Campo-Codos ER) con diferentes parabolas y altura, y de las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolas de 0,6 en ambos extremos , 13 m de altura en Villahermosa de Campo y 20 m en Codos ER y las frecuencias 22.47175GHz (baja) en Villahermosa del Campo y 23.47975GHz (alta) en Codos ER

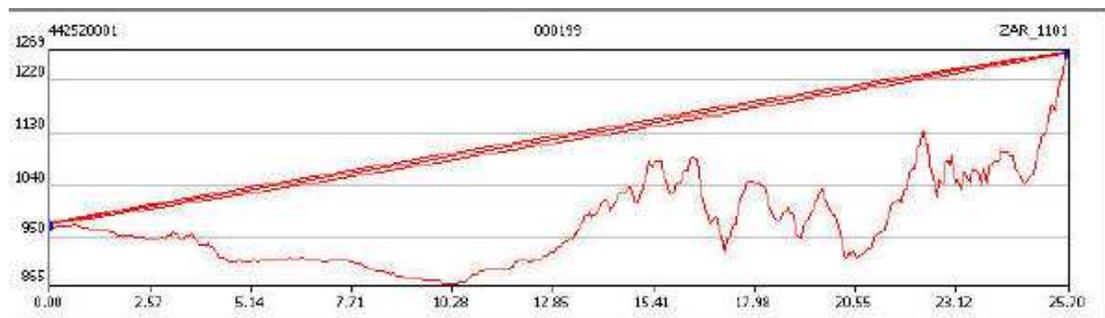


Figura 6.30 Perfil Villahermosa del Campo-Codos ER

## 6. PLANIFICACIÓN

		Extremo A	Codos ER			
		Extremo B	Villahermosa del Campo			
<b>Código de Obra:</b>	4400258	<b>Nº Administrativo:</b>	4400000000161M		<b>Nº Aceptación:</b>	078220961
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Tenuel	Tipo	MW	Frec. A-B (GHz)	23.47975
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	Longitud (Km)	25.7	Frec. B-A (GHz)	22.47175
	Banda Frec (GHz)	23	Polarización (A-B)	Vertical	Polarización (B-A)	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	Acimut (º)	160.66	Diámetro (m)	0.6
	Protección	1+0	Elevación (º)	0.65	Ganancia (dBi)	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	54.6	Potencia Tx (dBm)	14
	Protección	1+0	Altura (m)	20	Potencia Rx (dBm)	-57.1726
					FM efectivo (dBm)	35.8274
Indisponibilidad Anual (%)			0.0080951	Fiabilidad Anual Total (%)		
				99.9908059		
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	Acimut (º)	340.66	Diámetro (m)	0.6
	Protección	1+0	Elevación (º)	-0.65	Ganancia (dBi)	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	54.6	Potencia Tx (dBm)	14
	Protección	1+0	Altura (m)	13	Potencia Rx (dBm)	-57.1726
					FM efectivo (dBm)	35.8274
Indisponibilidad Anual (%)			0.0097892	Fiabilidad Anual Total (%)		
				99.9690787		

Figura 6.31 Configuración del vano

## 6.4.2.6. HERRERA DE LOS NAVARROS

Herrera de los Navarros tiene una población de 647 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MACRO con 3 portadoras, la antena utilizada sera K739650 situada a 38m al centro de la antena con una orientación de 80º y downtilt mecánico de 5º.

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Herrera de los Navarros	647	Macro	3	38	k739650	80	5

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:

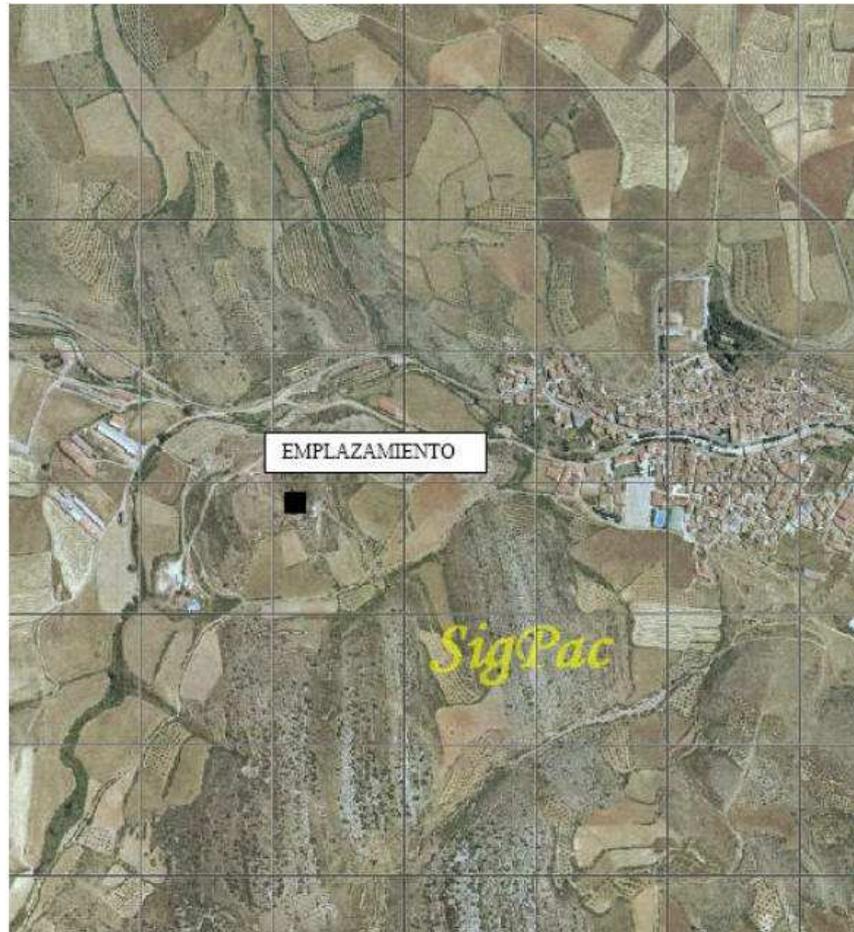


Figura 6.32 Situación del emplazamiento

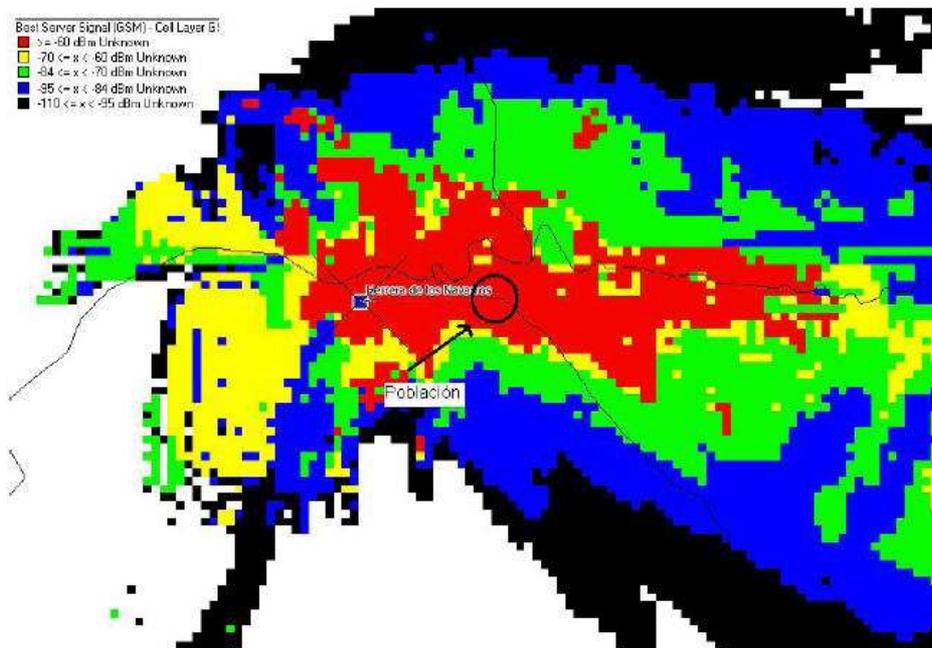


Figura 6.33 Estimación de cobertura para Herrera de los Navarros

## 6. PLANIFICACIÓN

En transmisión, este es el primer emplazamiento cuyo radioenlace planificado es Picacho EB se comprueba la capacidad del remoto y la visibilidad con él debido a viabilidad de capacidad. Se trata de un radioenlace de 12,54 km de longitud.

Calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Herrera de los Navarros-Picacho EB) teniendo en cuenta parabolos de disitntos diametros , alturas y las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolos de 0,6 en ambos extremos , 36 m de altura en Herrera de los Navarros y 30 m en Picacho EB y las frecuencias 22.32825GHz (baja) en Herrera de los Navarros y 23.33625GHz (alta) en Picacho EB.

		Extremo A	Picacho EB			
		Extremo B	Herrera de los Navarros			
<b>Código de Obra:</b>	5000750	<b>Nº Administrativo:</b>	5000000000179M		<b>Nº Aceptación:</b>	076651479
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	<b>Tipo</b>	MW	<b>Frec. A-B (GHz)</b>	23.33625
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	<b>Longitud (Km)</b>	12.54	<b>Frec. B-A (GHz)</b>	22.32825
	Banda Frec (GHz)	23	<b>Polarización (A-B)</b>	Horizontal	<b>Polarización (B-A)</b>	Horizontal
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	<b>Acimut (º)</b>	86.87	<b>Diámetro (m)</b>	0.6
	Protección	1+0	<b>Elevación (º)</b>	1.38	<b>Ganancia (dBi)</b>	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	<b>PIRE (dBm)</b>	40.6	<b>Potencia Tx (dBm)</b>	0
	Protección	1+0	<b>Altura (m)</b>	30	<b>Potencia Rx (dBm)</b>	-62.5861
					<b>FM efectivo (dBm)</b>	44.4139
<b>Indisponibilidad Anual (%)</b>			0.0073732		<b>Fiabilidad Anual Total (%)</b>	
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	<b>Acimut (º)</b>	266.87	<b>Diámetro (m)</b>	0.6
	Protección	1+0	<b>Elevación (º)</b>	-1.38	<b>Ganancia (dBi)</b>	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	<b>PIRE (dBm)</b>	40.6	<b>Potencia Tx (dBm)</b>	0
	Protección	1+0	<b>Altura (m)</b>	36	<b>Potencia Rx (dBm)</b>	-62.5861
					<b>FM efectivo (dBm)</b>	44.4139
<b>Indisponibilidad Anual (%)</b>			0.0089526		<b>Fiabilidad Anual Total (%)</b>	
99.9925712						
99.9909928						

Figura 6.34 Configuración del vano

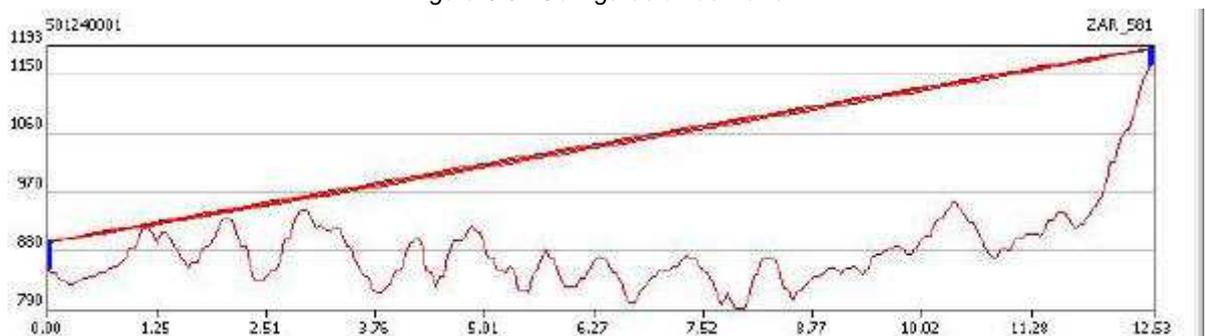


Figura 6.35 Perfil Herrera de los Navarros- Picacho EB

## 6.4.2.7. ANENTO

Anento cuenta con una población de 102 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MICRO con 1 portadora , la antena utilizada sera K739650 situada a 13,8 m al centro de la antena con una orientación de 315º y downtilt mecánico de 4º.

## 6. PLANIFICACIÓN

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Anento	102	Micro	1	12,5	K739650	315	4

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:

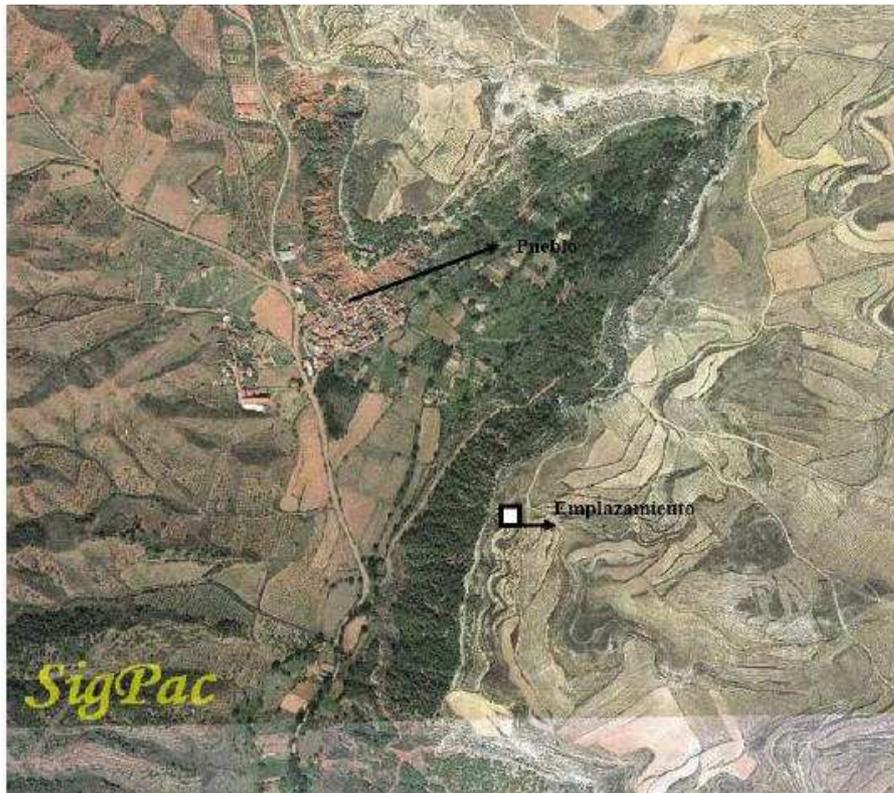


Figura 6.36 Situación del emplazamiento

## 6. PLANIFICACIÓN

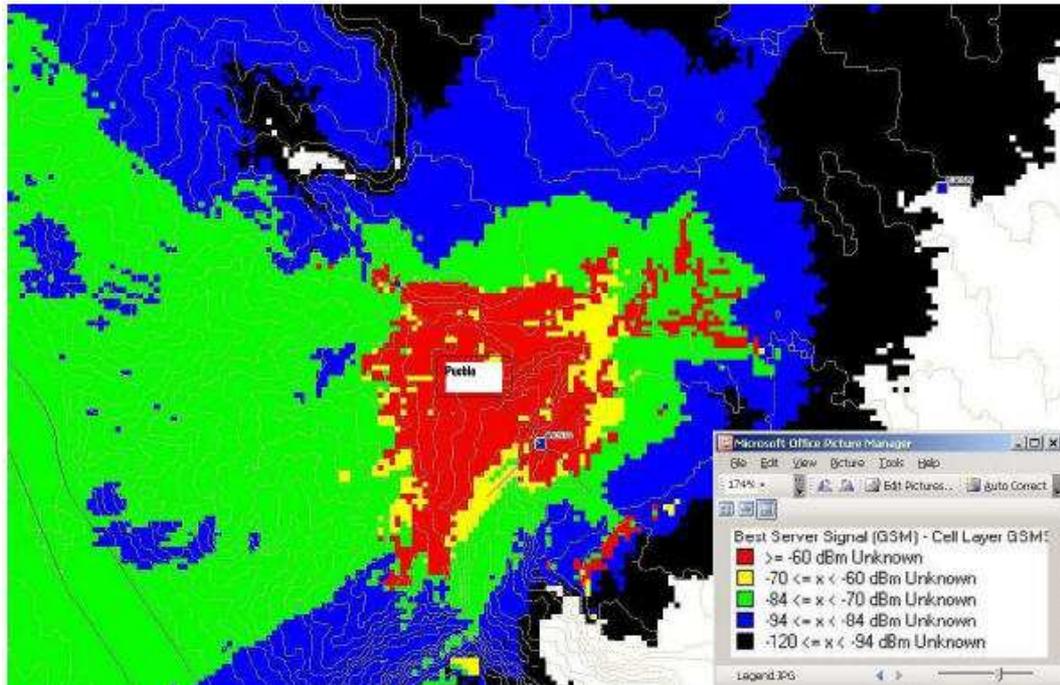


Figura 6.37 Estimación de cobertura prevista para Anento

Respecto a la transmisión, se opta por Picacho como remoto porque cumple los requisitos necesarios, se trata de un radioenlace de 17,15 km de longitud. Calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Anento-Picacho EB) teniendo en cuenta parabolos de distintos diámetros, alturas y las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolos de 0,6 Picacho EB y 0,3 en Anento, 14 m de altura en Anento y 35 m en Picacho EB y las frecuencias 22.32475 GHz (baja) en Anento y 23.33275 GHz (alta) en Picacho EB.

		Extremo A		Picacho		
		Extremo B		Anento		
<b>Código de Obra:</b>	5000333	<b>Nº Administrativo:</b>	5000000000141M	<b>Nº Aceptación:</b>	065877241	
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	Tipo	MW	Frec. A-B (GHz)	23.33275
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	Longitud (Km)	17.15	Frec. B-A (GHz)	22.32475
	Banda Frec (GHz)	23	Polarización (A-B)	Vertical	Polarización (B-A)	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	Acimut (º)	204.27	Diámetro (m)	0.6
	Protección	1+0	Elevación (º)	0.62	Ganancia (dBi)	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	49.6	Potencia Tx (dBm)	9
	Protección	1+0	Altura (m)	35	Potencia Rx (dBm)	-62.7179
					FM efectivo (dBm)	33.1794
	Indisponibilidad Anual (%)	0.0090916		Fiabilidad Anual Total (%)	99.9905124	
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (º)	24.27	Diámetro (m)	0.3
	Protección	1+0	Elevación (º)	-0.62	Ganancia (dBi)	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	44	Potencia Tx (dBm)	9
	Protección	1+0	Altura (m)	14	Potencia Rx (dBm)	-62.7179
					FM efectivo (dBm)	34.2397
	Indisponibilidad Anual (%)	0.0098343		Fiabilidad Anual Total (%)	99.9897733	

Figura 6.38 Configuración del vano

## 6. PLANIFICACIÓN

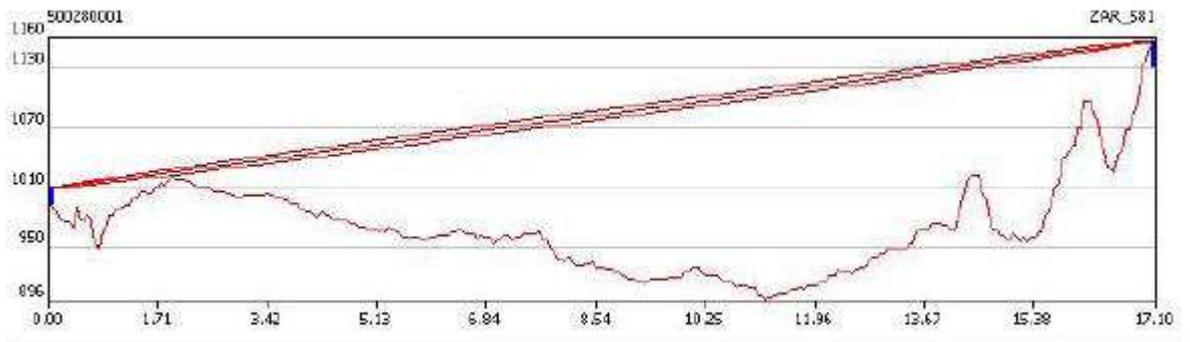


Figura 6.39 Perfil Anento-Picacho EB

## 6.4.2.8. VAL DE SAN MARTIN

Anento cuenca con una población de 84 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MICRO con 2 portadoras, la antena utilizada sera K739655 situada a 14,5 m al centro de la antena con una orientación de  $110^{\circ}$  y downtilt mecánico de  $10^{\circ}$ .

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Val de San Martín	84	Micro	2	13,5	K739655	110	10

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:



Figura 6.40 Situación del emplazamiento

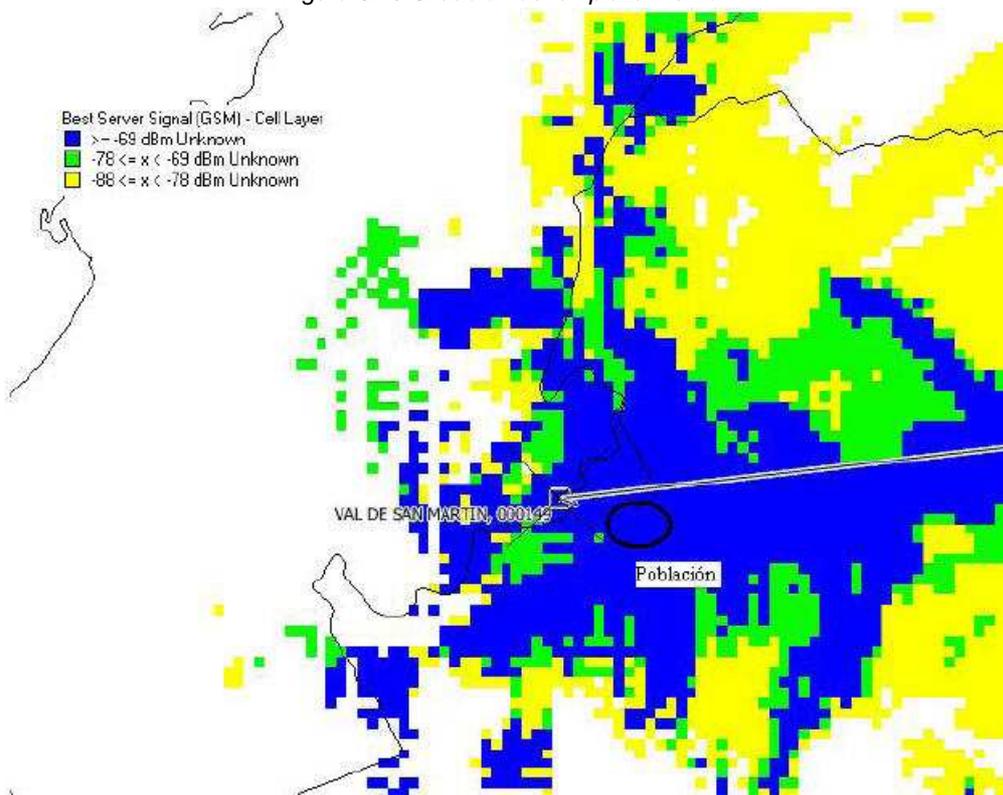


Figura 6.41 Estimación de cobertura para Val de San Martín

Respecto a la transmisión, se opta por Anento como remoto porque cumple los requisitos necesarios, se trata de un radioenlace de 10,29 km de longitud. Calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Val de San Martín-Anento) teniendo en cuenta parabolos de distintos diámetros, alturas y las interferencias de otros enlaces.

## 6. PLANIFICACIÓN

próximos, obteniendo los resultados finales con parabolos de 0,3 en ambos extremos , 10 m de altura en Val de San Martin y 12 m en Anento y las frecuencias 23.33275 GHz (alta) en Val de San Martin y 22.32475 GHz (baja) en Anento.

		Extremo A	Anento			
		Extremo B	Val de San Martin			
<b>Código de Obra:</b>	5000777	<b>Nº Administrativo:</b>	5000000000190M	<b>Nº Aceptación:</b>	076744590	
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	Tipo	MW	Frec. A-B (GHz)	22,32475
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	Longitud (Km)	10,29	Frec. B-A (GHz)	23,33275
	Banda Frec (GHz)	23	Polarización (A-B)	Vertical	Polarización (B-A)	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (º)	263,48	Diámetro (m)	0,3
	Protección	1+0	Elevación (º)	-0,33	Ganancia (dBi)	35,4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	43,4	Potencia Tx (dBm)	8
	Protección	1+0	Altura (m)	12	Potencia Rx (dBm)	-62,8774
					FM efectivo (dBm)	36,0371
Indisponibilidad Anual (%)			0,0034079	Fiabilidad Anual Total (%)		
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (º)	83,48	Diámetro (m)	0,3
	Protección	1+0	Elevación (º)	0,33	Ganancia (dBi)	35,4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	43,4	Potencia Tx (dBm)	8
	Protección	1+0	Altura (m)	10	Potencia Rx (dBm)	-62,8774
					FM efectivo (dBm)	36,0361
Indisponibilidad Anual (%)			0,0027586	Fiabilidad Anual Total (%)		

Figura 6.42 Configuración del vano

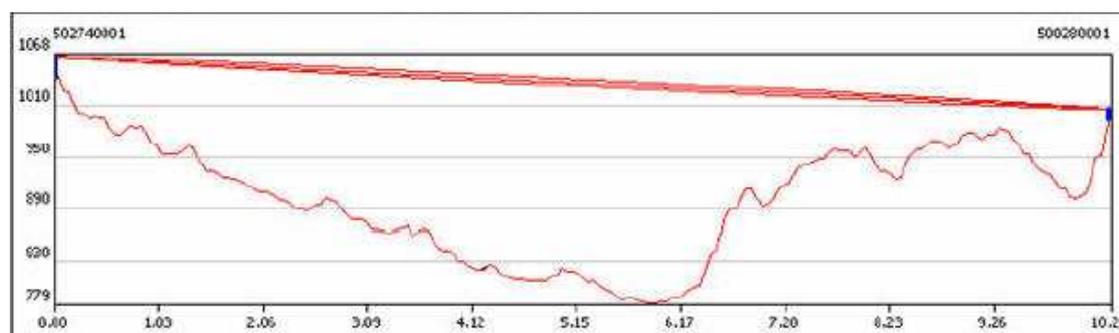


Figura 6.43 Perfil Val de San Martin- Anento

## 6.4.2.9. VILLARROYA DEL CAMPO

Villarroya del Campo tiene una población de 78 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MICRO con 1 portadora , la antena utilizada sera K739655 situada a 19 m al centro de la antena con una orientacion de 85º y downtilt mecánico de 2º.

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Villarroya del Campo	78	Micro	2	18	K739655	85	2

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:

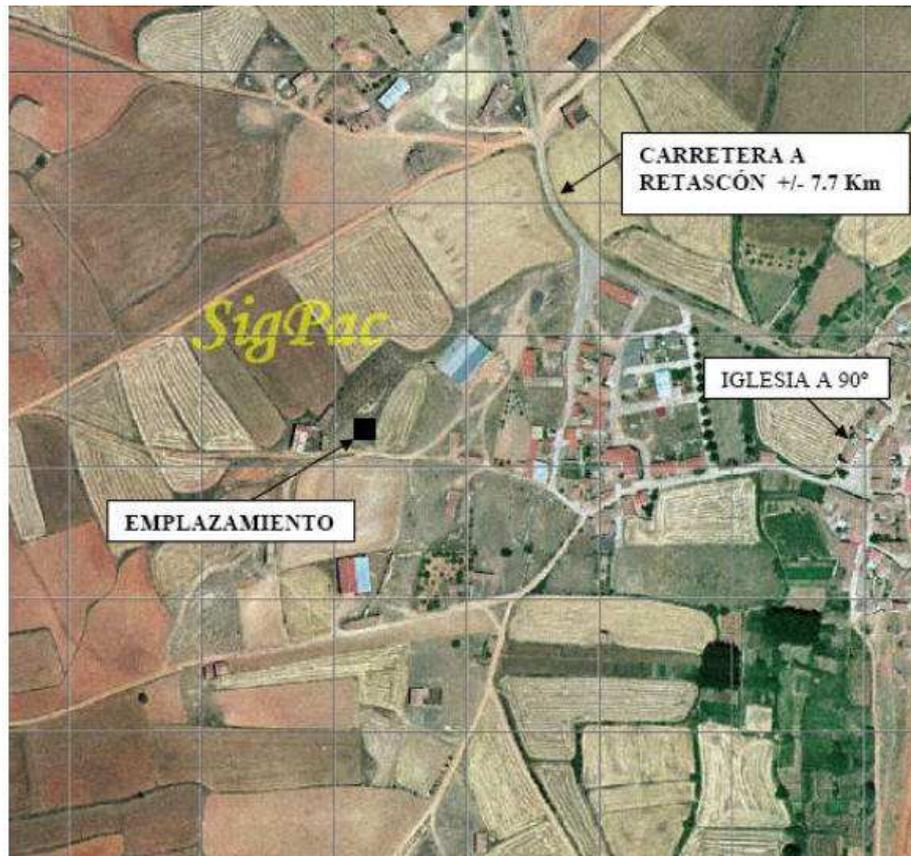


Figura 6.44 Situación del emplazamiento

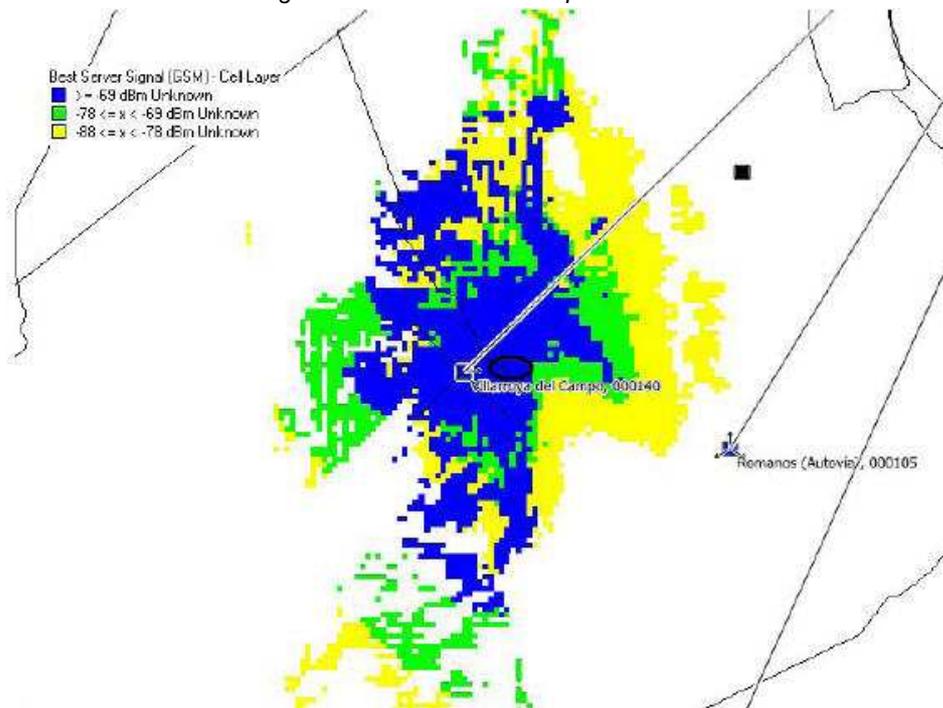


Figura 6.45 Estimación de cobertura para Villarroja del Campo

Respecto a la transmisión, se opta por Picacho como remoto porque cumple los requisitos necesarios de capacidad y visibilidad, se trata de un radioenlace de 10,16 km de longitud

## 6. PLANIFICACIÓN

Calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Villarroya del Campo-Picacho EB) teniendo en cuenta parabolos de disitntos diametros, alturas y las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolos de 0,3 enamobs extremos, 10 m de altura en Villarroya del Campo y 9 m en Picacho EB y las frecuencias 22.32825 GHz (baja) en Villarroya del Campo y 23.33625 GHz (alta) en Picacho EB.

		Extremo A	Picacho EB			
		Extremo B	Villarroya del Campo			
<b>Código de Obra:</b>	5000852	<b>Nº Administrativo:</b>	5000000000181M	<b>Nº Aceptación:</b>	076651681	
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	Tipo	MW	Frec. A-B (GHz)	23.33625
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	Longitud (Km)	10.16	Frec. B-A (GHz)	22.32825
	Banda Frec (GHz)	23	Polarización (A-B)	Horizontal	Polarización (B-A)	Horizontal
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (º)	225.45	Diámetro (m)	0.3
	Protección	1+0	Elevación (º)	1.38	Ganancia (dBi)	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	41.4	Potencia Tx (dBm)	6
	Protección	1+0	Altura (m)	9	Potencia Rx (dBm)	-64.7445
					FM efectivo (dBm)	35.6062
	Indisponibilidad Anual (%)	0.0064206		Fiabilidad Anual Total (%)	99.9935522	
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (º)	45.45	Diámetro (m)	0.3
	Protección	1+0	Elevación (º)	-1.38	Ganancia (dBi)	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	41.4	Potencia Tx (dBm)	6
	Protección	1+0	Altura (m)	10	Potencia Rx (dBm)	-64.7445
					FM efectivo (dBm)	34.1251
	Indisponibilidad Anual (%)	0.009298		Fiabilidad Anual Total (%)	99.9906716	

Figura 6.46 Configuración del vano

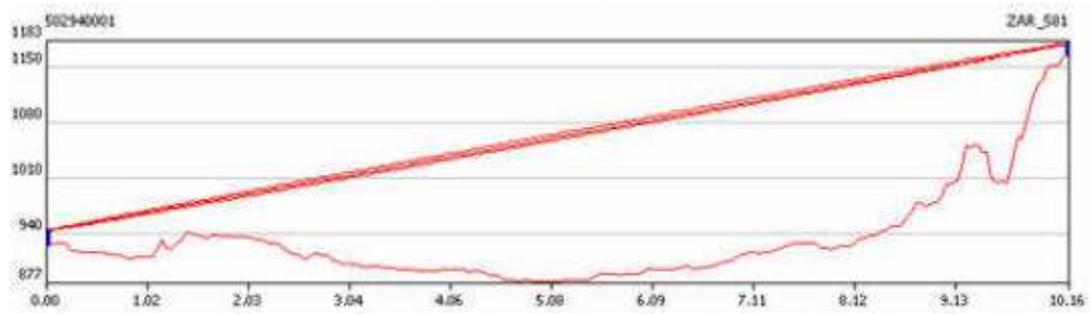


Figura 6.47 Perfil Villarroya del Campo- Picacho EB

## 6.4.2.10. ATEA

Atea cuenta con una población de 172 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MICRO con 2 portadoras, la antena utilizada sera K739655 situada a 29 m al centro de la antena con una orientacion de 320º y downtilt mecánico de 6º.

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Atea	172	Micro	2	28	K739655	320	6

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:

## 6. PLANIFICACIÓN



Figura 6.48 Situación del emplazamiento

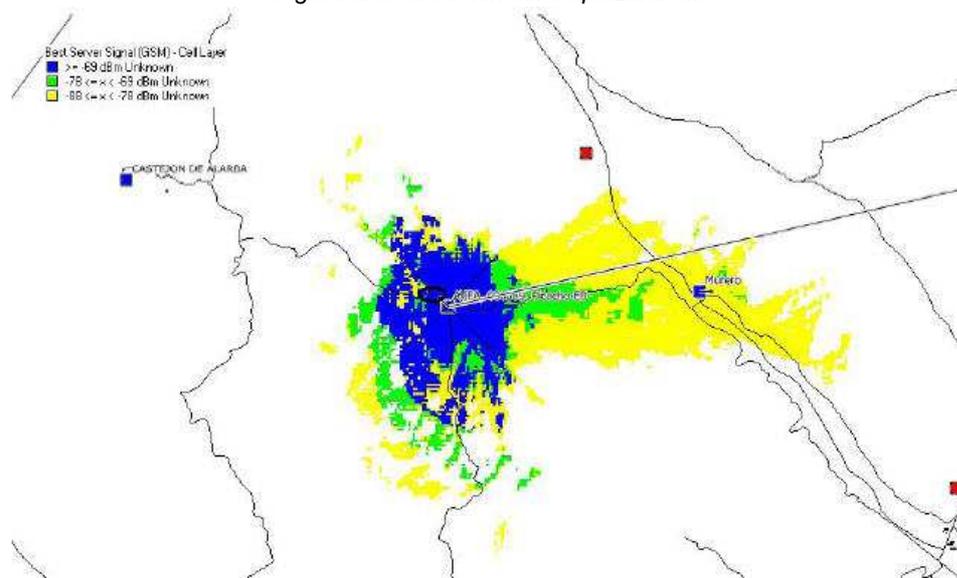


Figura 6.49 Estimación de cobertura para Atea

Respecto a la transmisión, se opta por Picacho como remoto porque cumple los requisitos necesarios de capacidad y visibilidad, se trata de un radioenlace de 26,61 km de longitud

Calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Atea-Picacho EB) teniendo en cuenta parabolos de disitntos diámetros, alturas y las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolos de 0,9 en Atea y 0,6 en Picacho EB, 25 m de altura en Atea y 22 m en Picacho EB y las frecuencias 22.32825 GHz (baja) en Atea y 23.33625 GHz (alta) en Picacho EB.

## 6. PLANIFICACIÓN

		Extremo A	Picacho EB			
		Extremo B	Atea			
<b>Código de Obra:</b>	5000739	<b>Nº Administrativo:</b>	5000000000176M	<b>Nº Aceptación:</b>	066429476	
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	<b>Tipo</b>	MW	<b>Frec. A-B (GHz)</b>	23.33625
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	<b>Longitud (Km)</b>	26.61	<b>Frec. B-A (GHz)</b>	22.32825
	Banda Frec (GHz)	23	<b>Polarización (A-B)</b>	Vertical	<b>Polarización (B-A)</b>	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	<b>Acimut (º)</b>	257.13	<b>Diámetro (m)</b>	0.6
	Protección	1+0	<b>Elevación (º)</b>	0.64	<b>Ganancia (dBi)</b>	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	<b>PIRE (dBm)</b>	50.6	<b>Potencia Tx (dBm)</b>	10
	Protección	1+0	<b>Altura (m)</b>	22	<b>Potencia Rx (dBm)</b>	-58.8946
					<b>FM efectivo (dBm)</b>	36.7574
	<b>Indisponibilidad Anual (%)</b>	0.0103804		<b>Fiabilidad Anual Total (%)</b>	99.9883258	
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2.5-23	<b>Acimut (º)</b>	77.13	<b>Diámetro (m)</b>	0.9
	Protección	1+0	<b>Elevación (º)</b>	-0.64	<b>Ganancia (dBi)</b>	43.3
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	<b>PIRE (dBm)</b>	53.3	<b>Potencia Tx (dBm)</b>	10
	Protección	1+0	<b>Altura (m)</b>	25	<b>Potencia Rx (dBm)</b>	-58.8946
					<b>FM efectivo (dBm)</b>	36.5079
	<b>Indisponibilidad Anual (%)</b>	0.0128321		<b>Fiabilidad Anual Total (%)</b>	99.9858942	

Figura 6.50 Configuración del vano

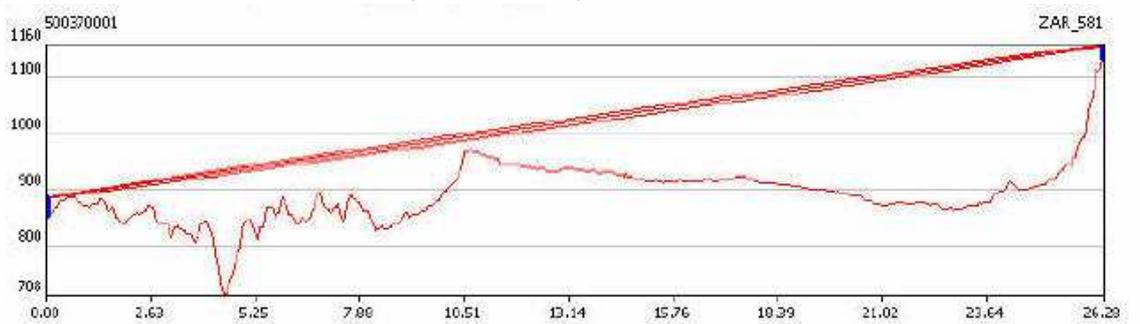


Figura 6.51 Perfil Langa del Castillo- Picacho EB

## 6.4.2.11. LANGA DEL CASTILLO

Langa del Castillo tiene una población de 164 habitantes, por lo que según la NIR-171, se instalara una estación MICRO con 2 portadoras, la antena utilizada sera K739655 situada a 9 m al centro de la antena con una orientación de 75° y downtilt mecánico de 3°.

Población	Nº hab.	Equipo	Portadoras	Alt. RX	Tipo S1	Azimº S1	MTº S1
Langa del Castillo	164	Micro	2	8	K739655	75	3

A continuación se puede observar la situación del emplazamiento respecto a la población y la estimación de cobertura prevista para el emplazamiento:

## 6. PLANIFICACIÓN



Figura 6.52 Situación del emplazamiento

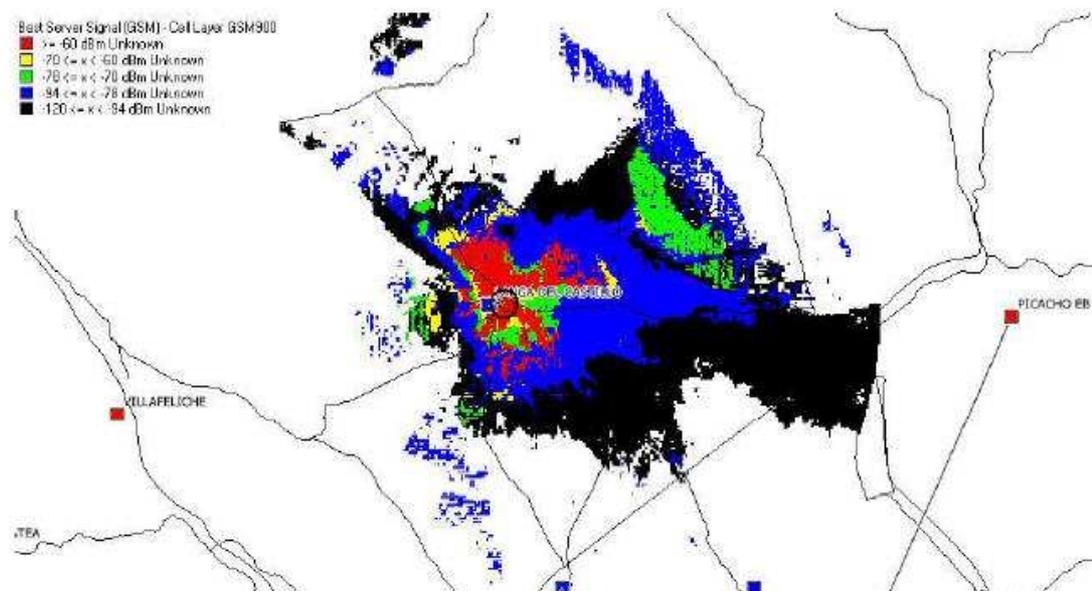


Figura 6.53 Estimación de cobertura para Langa del Castillo

Respecto a la transmisión, se opta por Picacho como remoto porque cumple los requisitos necesarios de capacidad y visibilidad, se trata de un radioenlace de 13,41 km de longitud

Calculamos los parámetros y perfil de dicho vano (Langa del Castillo-Picacho EB) teniendo en cuenta parabolos de disitntos diametros, alturas y las interferencias de otros enlaces próximos, obteniendo los resultados finales con parabolos de 0,6 en Langa del Castillo y 0,3 en Picacho EB, 9 m de altura en Langa del Castillo y 27 m en Picacho EB y las frecuencias 22.47175 GHz (baja) en Langa del Castillo y 23.47975 GHz (alta) en Picacho EB.

	Extremo A	Picacho EB				
	Extremo B	Langa del Castillo				
<b>Código de Obra:</b>	5000826	<b>Nº Administrativo:</b>	5000000000159M	<b>Nº Aceptación:</b>	076735759	
<b>Plan Frecuencias</b>	Provincia	Zaragoza	Tipo	MW	Frec. A-B (GHz)	23.47975
	Capacidad (Mbps)	2 x 2	Longitud (Km)	13.41	Frec. B-A (GHz)	22.47175
	Banda Frec (GHz)	23	Polarización (A-B)	Vertical	Polarización (B-A)	Vertical
<b>Información Enlace A-B</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP1-23	Acimut (º)	271.28	Diámetro (m)	0.3
	Protección	1+0	Elevación (º)	1.15	Ganancia (dBi)	35.4
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	40.4	Potencia Tx (dBm)	5
	Protección	1+0	Altura (m)	27	Potencia Rx (dBm)	-63.5729
					FM efectivo (dBm)	38.4271
	Indisponibilidad Anual (%)	0.0053213		Fiabilidad Anual Total (%)	99.9946022	
<b>Información Enlace B-A</b>						
<b>Antena</b>	Modelo	VHLP2-23	Acimut (º)	91.28	Diámetro (m)	0.6
	Protección	1+0	Elevación (º)	-1.15	Ganancia (dBi)	40.6
<b>Equipo Radio</b>	Modelo	Flexi 23GHz 2x2	PIRE (dBm)	45.6	Potencia Tx (dBm)	5
	Protección	1+0	Altura (m)	9	Potencia Rx (dBm)	-63.5729
					FM efectivo (dBm)	38.4271
	Indisponibilidad Anual (%)	0.0064801		Fiabilidad Anual Total (%)	99.9934305	

Figura 6.54 Configuración del Vano

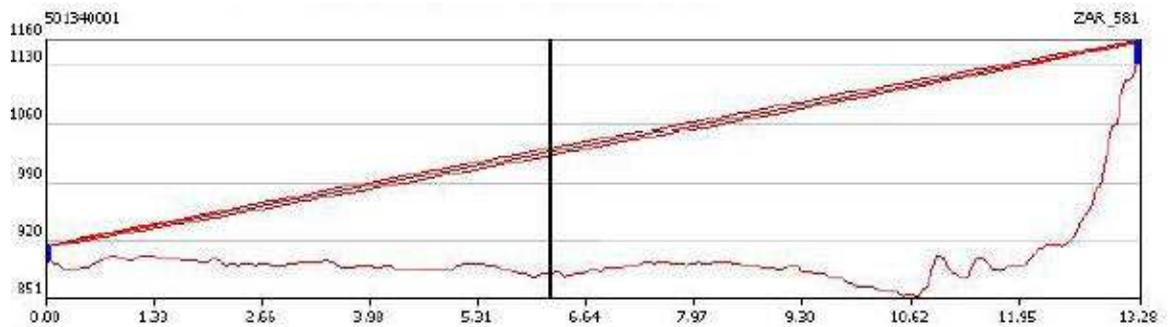


Figura 6.53 Perfil Langa del Castillo- picacho EB

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

## 7. IMPLEMENTACIÓN E INGENIERÍA CIVIL

En este capítulo se pueden diferenciar dos apartados en el primero de ellos se explicara el proceso del replanteo de la planificación a través del análisis de un acta de replanteo. En el segundo apartado se describe el proceso de monitorización de los radioenlaces de las EBs tras su puesta en servicio.

## 7.1. REPLANTEO DE LA PLANIFICACIÓN

A continuación se puede observar un acta de replanteo de planificación. Esta acta tiene como principal objetivo plasmar todo los aspectos que se han mencionado en la visita al emplazamiento. Este documento ratifica los datos de radio y transmisión, y además aporta información de ingeniería civil.

Elegimos el acta de replanteo de Tobed para explicar los distintos apartados y datos que nos aporta este documento:

## ACTA DE REPLANTEO

Proyecto llave en mano para cobertura en zonas específicas

<b>CÓDIGO DEL EMPLAZAMIENTO</b>	S000949
<b>CÓDIGO DE OBRA</b>	S02550001
<b>NOMBRE EMPLAZAMIENTO</b>	TOBED
<b>NOMBRE LOCALIZACION</b>	JUNTO A TORRE RTV

<b>Zona</b>	NORTE	
<b>Dirección</b>		
<b>Población</b>	TOBED	
<b>Provincia</b>	ZARAGOZA	<b>C.P.:</b> 50325
<b>Persona de contacto</b>		
<b>Teléfono</b>		

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

**1. CONSTRUCCIÓN.****Tipo de emplazamiento:**

Reflex       Micro       Macro/Indoor       Macro/Outdoor

**Tipo de infraestructura:**➤ Caseta:

Nueva     Existente

Chapa     Hormigón     Otros

➤ Torre:

Nueva       Existente

Tubular  Celosia       Hormigón       Otros

Altura de la torre:  metros

➤ Soportes antenas:

Soportes Radio

Número

Altura (m.)

1er Sect.	2do. Sect.	3er. Sector
<input type="text" value="17"/>		

Soportes Transmisión

Número

Altura (m.)

EB	Remoto	
<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="30"/>	

**- Acometida eléctrica:**

➤  Acometida existente       Acometida nueva

➤ Potencia necesaria para la nueva instalación:  W

➤ Compañía eléctrica: ER2-ENDESA

En caso de acometida nueva:

➤ Responsable de la acometida: Ayuntamiento

➤ Fecha prevista para la instalación: \_\_\_\_\_

➤ Potencia a contratar: \_\_\_\_\_ W

En caso de acometida existente:

➤ Potencia contratada: \_\_\_\_\_ W

➤ Potencia en uso actualmente: \_\_\_\_\_ W

➤ Marca y número del contador: \_\_\_\_\_

➤ Necesidad de aumentar potencia:  Si     No

➤ Responsable y fecha del aumento de potencia: \_\_\_\_\_

*El cable llegará a acometida hasta el pto del emplazamiento*

8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

- > Sección del cable existente es adecuada para la nueva instalación:  Si  No
- > Responsable y fecha del cambio de sección: \_\_\_\_\_
- > Necesidad de permisos de paso:  Si  No
- > Necesidad de proyecto:  Si  No

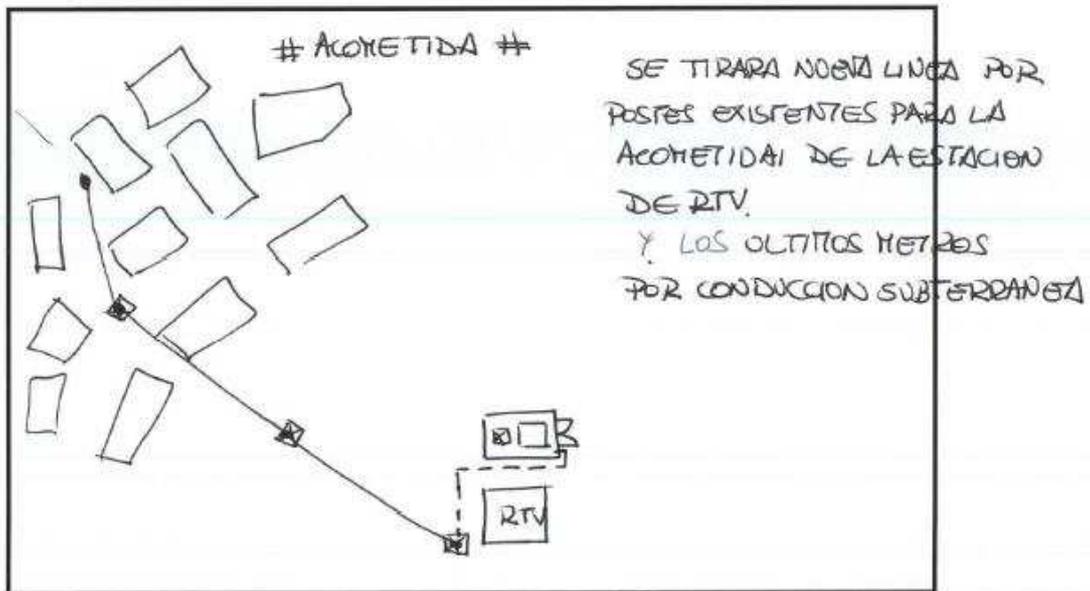
**- Enganche a la acometida:**

- > Tipo de tensión:
  - Baja Tensión  Media Tensión  Ambas
- > Tipo de instalación **M.T.:**
  - Enganche con instalación aérea  Enganche con instalación subterránea
- Longitud del enganche M.T.: \_\_\_\_\_ metros
- Lugar del enganche M.T.: \_\_\_\_\_
- > Tipo de instalación **B.T.:**
  - Enganche con instalación aérea  Enganche con instalación subterránea
- Longitud del enganche B.T.: 100 metros
- Lugar del enganche B.T.: Línea en el pueblo

**- Red de Tierras**

- > Existe obligación de conectarse a red de tierras existente:  Si  No

**CROQUIS BAJADA TIERRA** (Si es distinto de especificaciones)



## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

**- Acceso:**

➤ Necesidad de reparar el camino:  Si  No

➤ Si aplica, metros y tipo de reparación: \_\_\_\_\_

➤ Necesidad de permisos de paso:  Si  No

➤ Posibilidad de transporte con camiones por el acceso:  Si  No

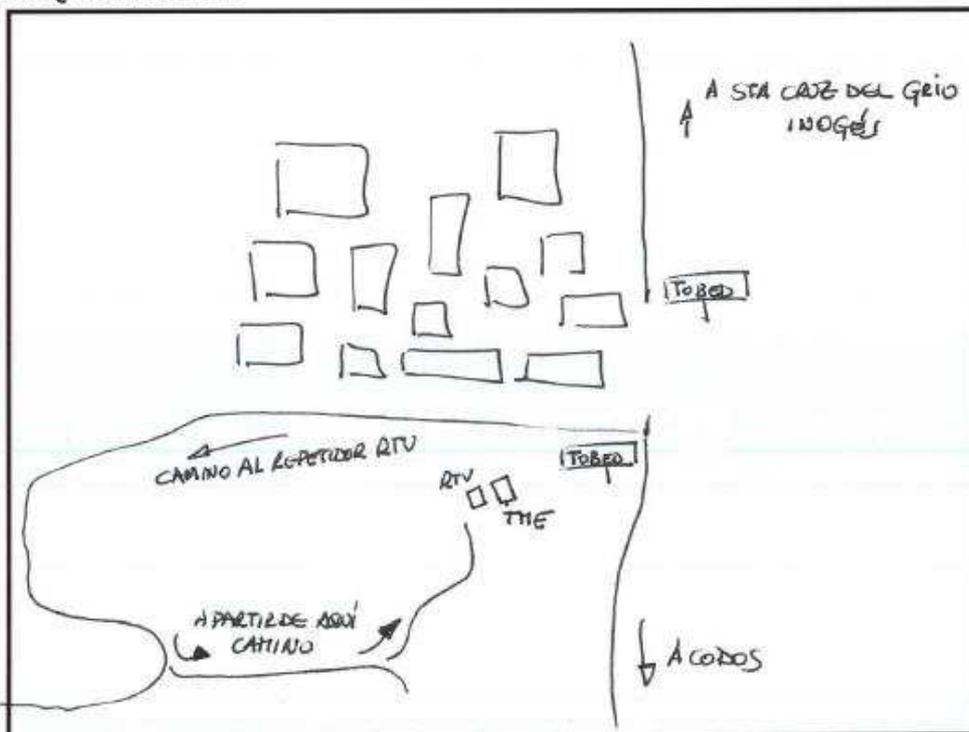
➤ Cajetín de llaves:  Si  No

**Observaciones**

EL CAMINO ESTA ASFALTADO HASTA UNOS 300m. ANTES DEL SITIO.

+ IMPACTO VISUAL: TENDIO, CON TORRE DE 20m.

+ SENSIBILIDAD RADIO ELECTRICA: CASAS A MAS DE 80m.

**CROQUIS ACCESO**

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

**2. INSTALACIÓN RADIO.**

➤ Tipo de equipo a instalar:

Reflex     Metrosite     Ultrasite

➤ Información R.F.:

	SECTOR 1/OMNI	SECTOR 2	SECTOR 3
Número de TRX	2		
Marca de antena	KATHREIN		
Tipo de antena Tx/Rx	K739,650		
Inclinación mecánica	10°		
Azimut	15°		
Altura de la base de la antena medida sobre el nivel del suelo de la terraza	16,7		
Tipo de cable	7/8"		
Longitud de cable	20		

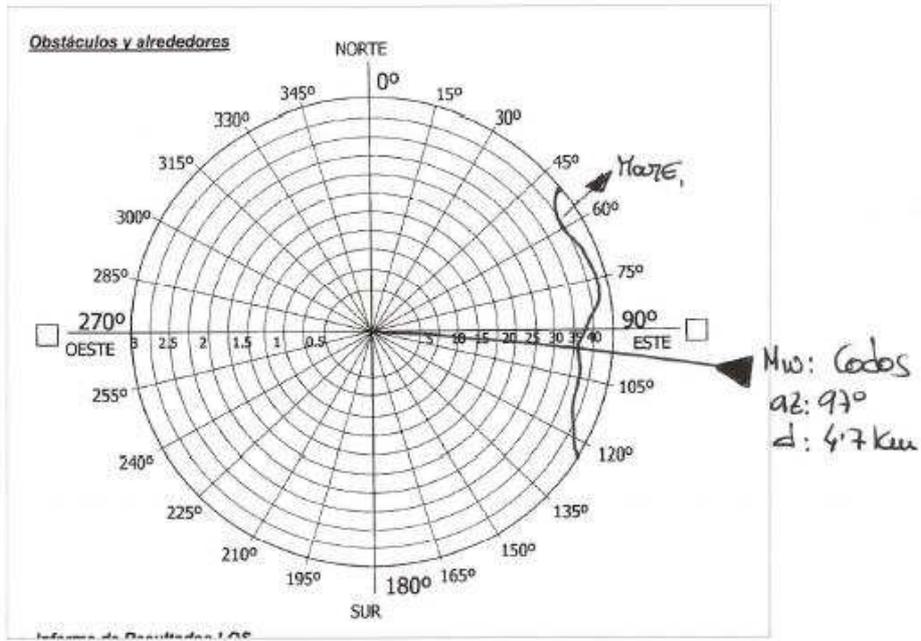
➤ Coordenadas:

Latitud	0633957	metros
Longitud	4577545	
Cota	689,6	
Huso	30	

8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

3. TRANSMISIÓN.

- Indicar la posición de todos los elementos enlazados con el emplazamiento (otras BTS, Hubs, etc). Indicar asimismo todos los obstáculos que se divisan desde el emplazamiento.



- Tipología de Obstáculos

A — DESDE EL QUELO SEVE TORRE DE COBOS (PARTE SUPERIOR)

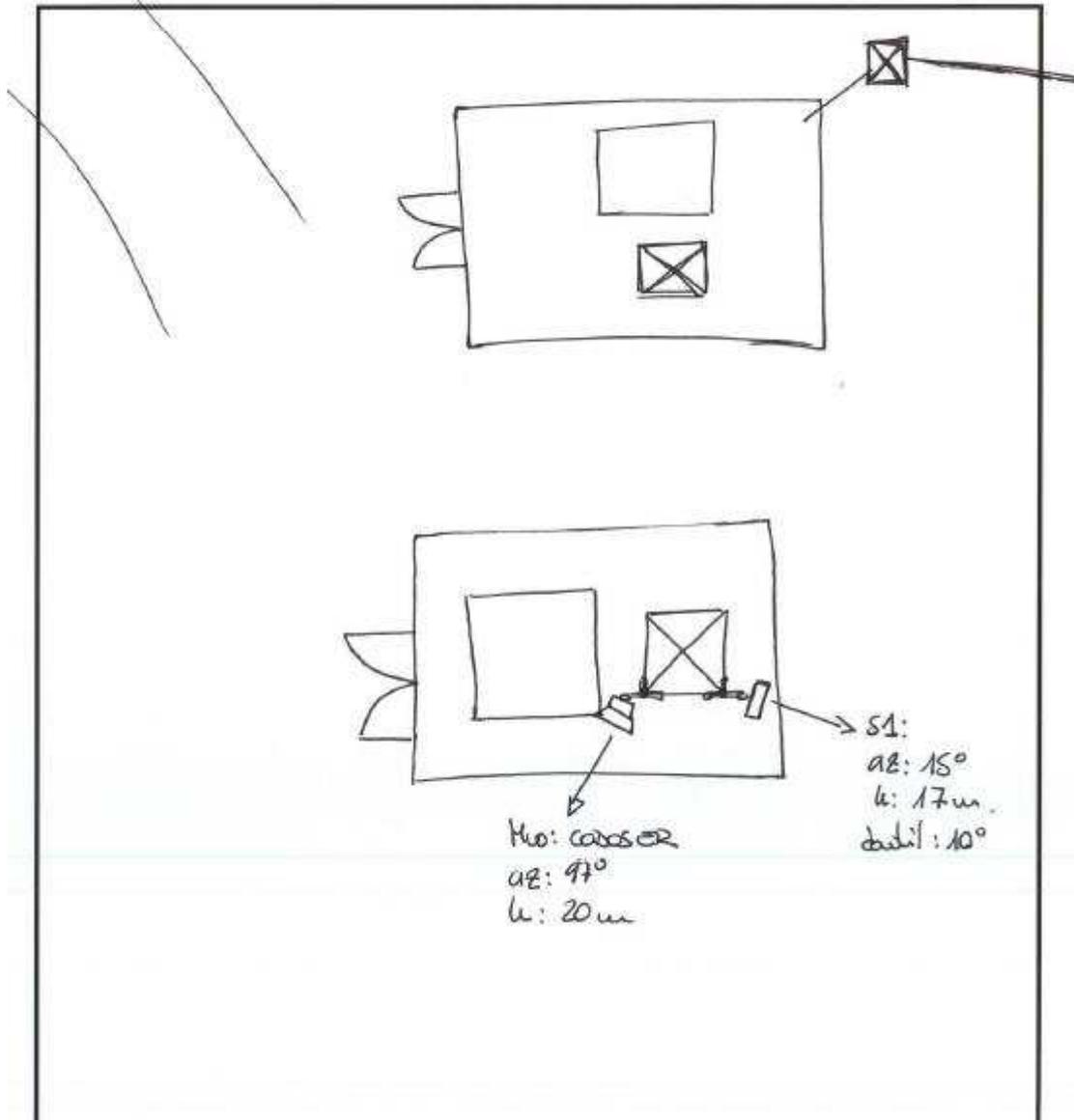
B —

	Tobes	Cobos
Nº de antenas	E.B.	Remoto
Tipo de antena	FLEXHOPPER	FLEXHOPPER
Diámetro antenas	Ø 30	Ø 30
Azimat	97°	277°
Altura (mts)	20	30

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

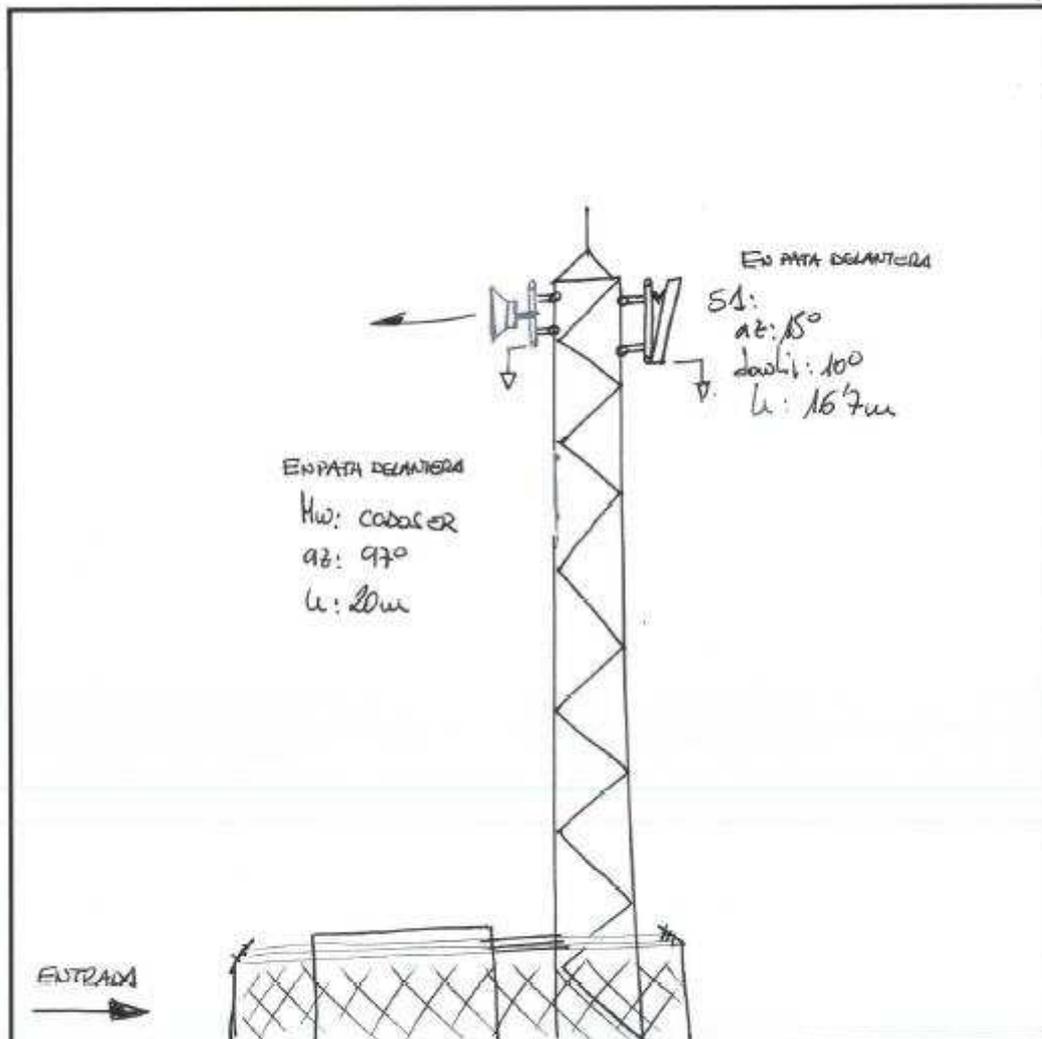
## 4. CROQUIS.

Planta del emplazamiento, del sistema radiante con orientación de los sectores.



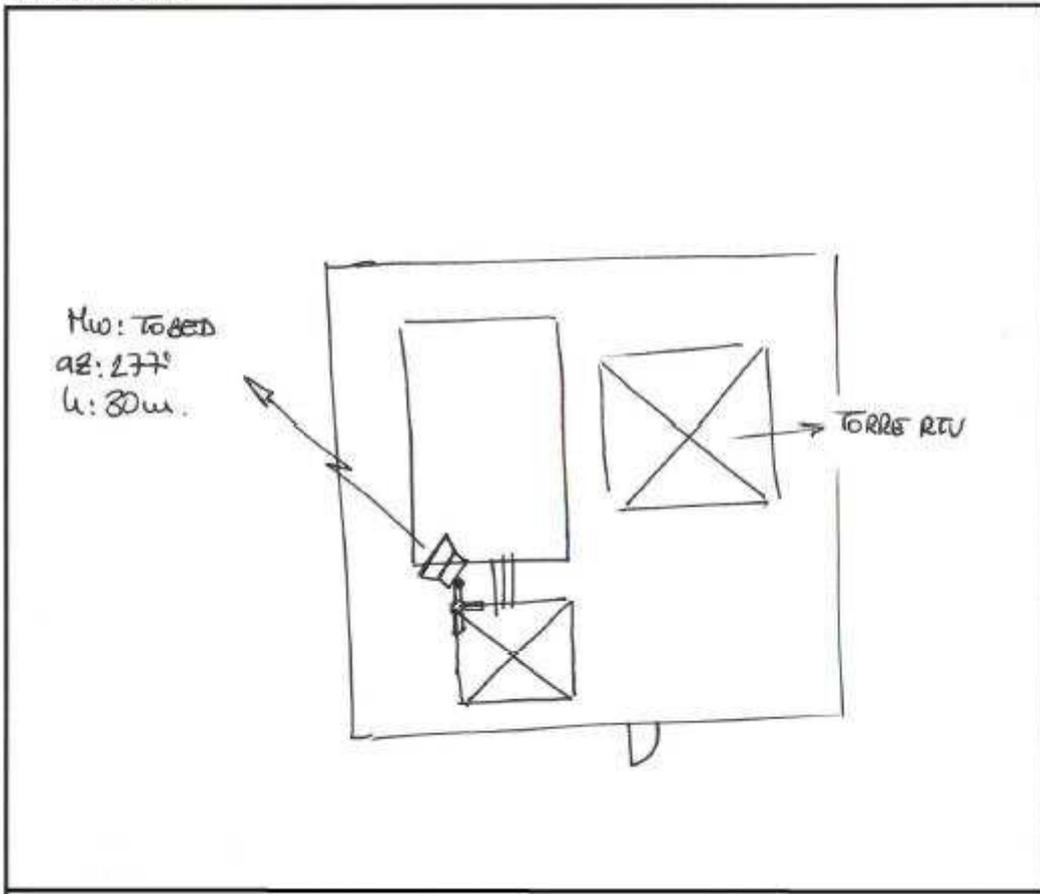
8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

**Alzado del emplazamiento y del sistema radiante con el camino de los cables**



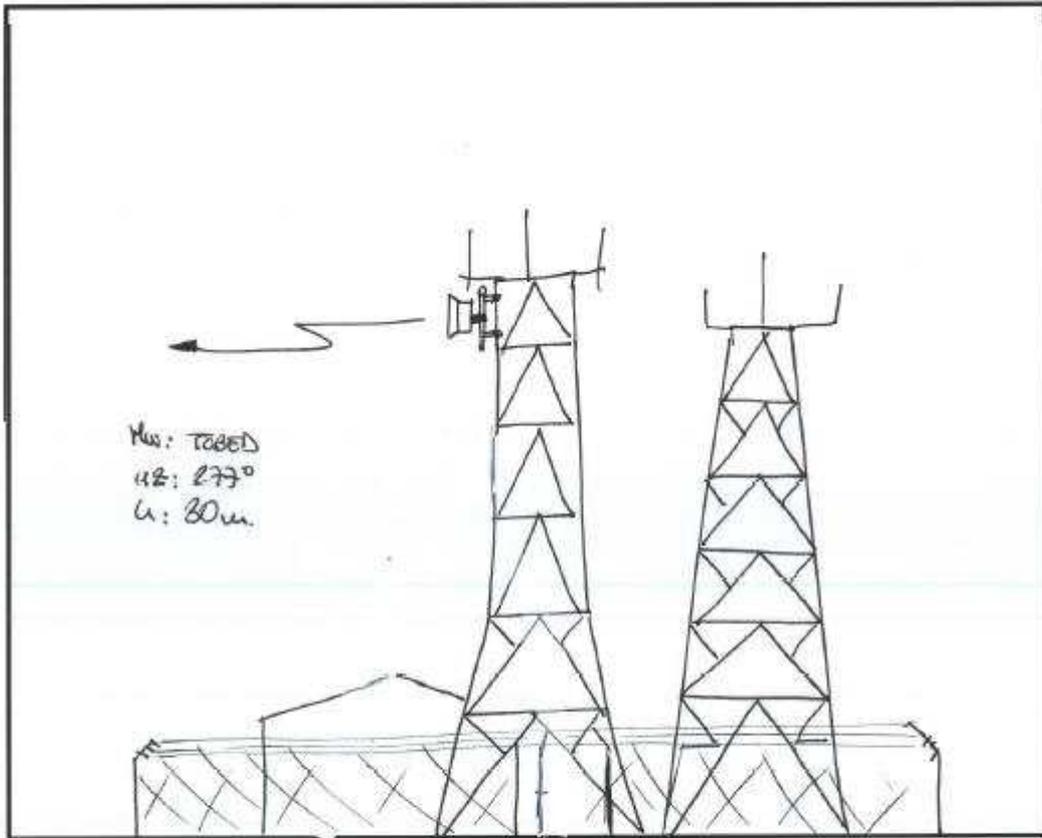
8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

Planta del emplazamiento remoto, del sistema radiante con orientación de los sectores.

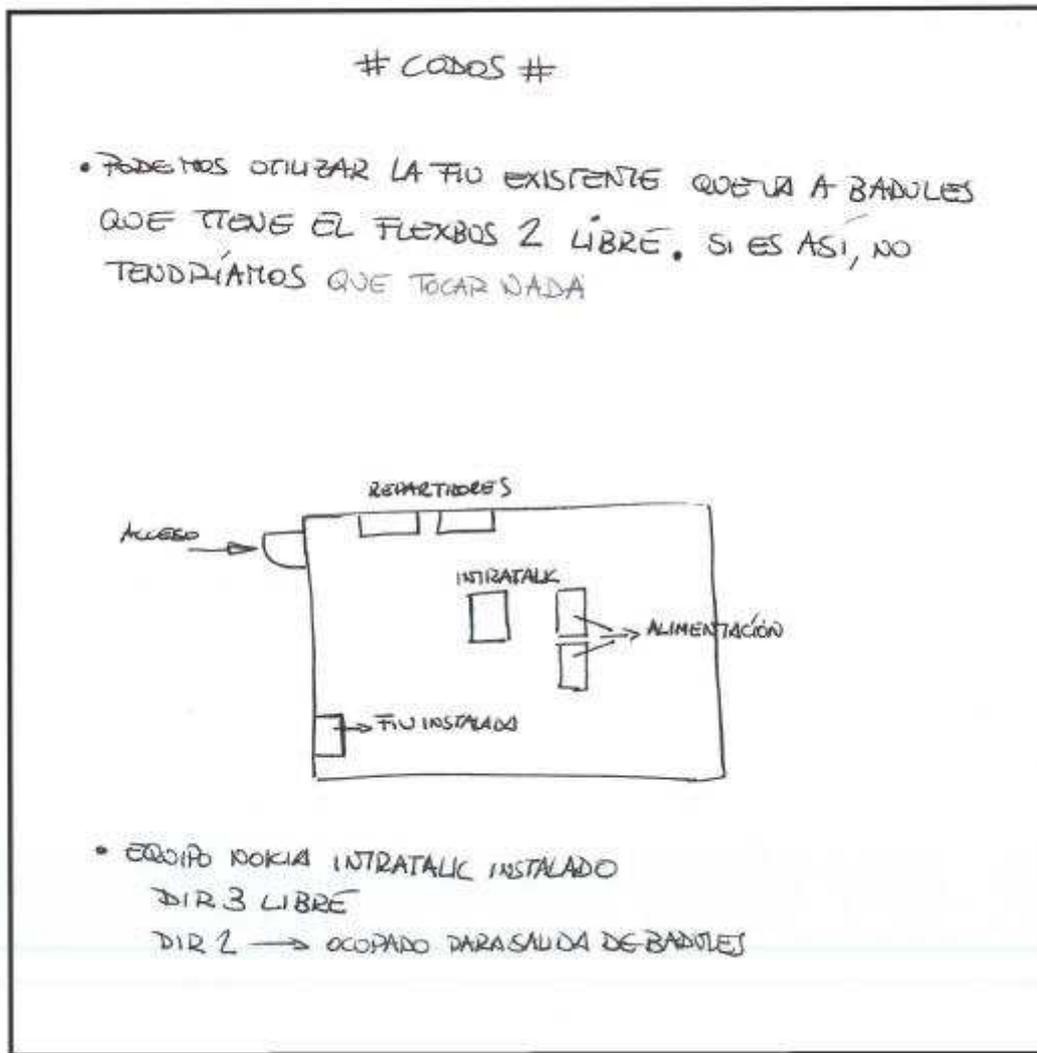


8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

Alzado del emplazamiento remoto y del sistema radiante con el camino de los cables.



## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

**Distribución de los equipos en caseta del emplazamiento remoto.**

Se puede distinguir cuatro bloques dentro del documento:

- Construcción
- Instalación Radio
- Transmisión
- Croquis

En el primer bloque, *Construcción*, se ratifica: el tipo de emplazamiento como MACRO indoor, el tipo de infraestructura que consta de una caseta de chapa y torre de celosía de 20 m y se indica el número de soportes y la altura a la que se deben instalar. Dentro de este bloque también se especifican aspectos de la acometida, en el caso de Tobed se trata de una acometida nueva con una potencia de 6600 W, será el ayuntamiento quien se encargue de la acometida de 100m, será una acometida aérea sobre postes

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

existentes hasta el último tramo que será subterránea. También se incluyen datos sobre el acceso al nuevo emplazamiento, en el caso de Tobed no es necesario reparar el camino de acceso, ya que puede acceder camiones sin problemas. Se incluye un croquis del camino de acceso.

El siguiente bloque es *Instalación Radio*, donde se confirman los parámetros planificados, además se indica la longitud de cable coaxial necesario y se detallan las coordenadas y latitud exacta.

A continuación, en *Transmisión* mediante un diagrama de obstáculos y alrededores se indica el azimut, 97°, y distancia, 4,7 km, al remoto. También se marca una zona montañosa de 50° a 125°. Por último dentro de este bloque se indica que existe visibilidad al remoto desde el suelo.

El último bloque es *Croquis* donde se incluyen los siguientes croquis:

- Planta del emplazamiento y del sistema radiante con orientación de los sectores.
- Alzado del emplazamiento y del sistema radiante con camino de los cables
- Planta del emplazamiento remoto y del sistema radiante con orientación de los sectores.
- Alzado del emplazamiento remoto y del sistema radiante con camino de los cables
- Distribución de los equipos en la caseta del emplazamiento remoto.

## 7.2. CALIDAD DEL RADIOENLACE

En este apartado nos centraremos en el análisis del parámetro G.826 EB del radioenlace. Para ello es necesaria una breve explicación tanto de la norma G-826 como de EB (error block).

G.826 es una norma de la ITU para efectuar mediciones desde el nivel primario de 2048 Kbps, la evaluación se realiza mediante bits de paridad CRC-N o BIP-N. Esta norma se aplica a trayectos digitales con soporte PDH, SDH o ATM. La G.826 garantiza el cumplimiento de la norma G.821 para mediciones a 64kbps.

La calidad en G.826 se monitoriza sobre la base de bloques de datos en lugar de bits individuales. Un bloque es verificado mediante bits de paridad según dos técnicas posibles: CRC (Cyclic Redundancy Checking o Control de Redundancia Cíclica) a través del bit 1 en el TS 0 de la trama de 2048 Kbps o BIP-N (Bit Interleaved Parity ó Bit de Paridad Entrelazada) en STM-1. Tanto CRC-4 como BIP-8 son códigos detectores de error que permiten asegurar que la probabilidad de no detectar un error es cercana al 10%.

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

Según G.826, se define EB como el número de bloques erróneos por unidad de tiempo (1 seg). Se debe tener en cuenta que un código del tipo BIP-8 constituye 1 único bloque y no 8 aislados. De aquí deriva la tasa de bloques erróneos BER.

En nuestro caso, el operador exige que no exista BER en al menos 48h desde la última vez que se presenciase BER. Una vez integradas las estaciones se realiza una supervisión (remotamente) sobre los radioenlaces para ajustar ciertos parámetros como son el TxPower, RxLevel o el ALCQ. Cuando dichos parámetros alcanzan los valores diseñados en planificación se pasa a monitorizar el BER.

A continuación se muestran imágenes pertenecientes a la monitorización del BER de Santa Cruz del Grio, que tiene una tarjeta de transmisión FIU E19:

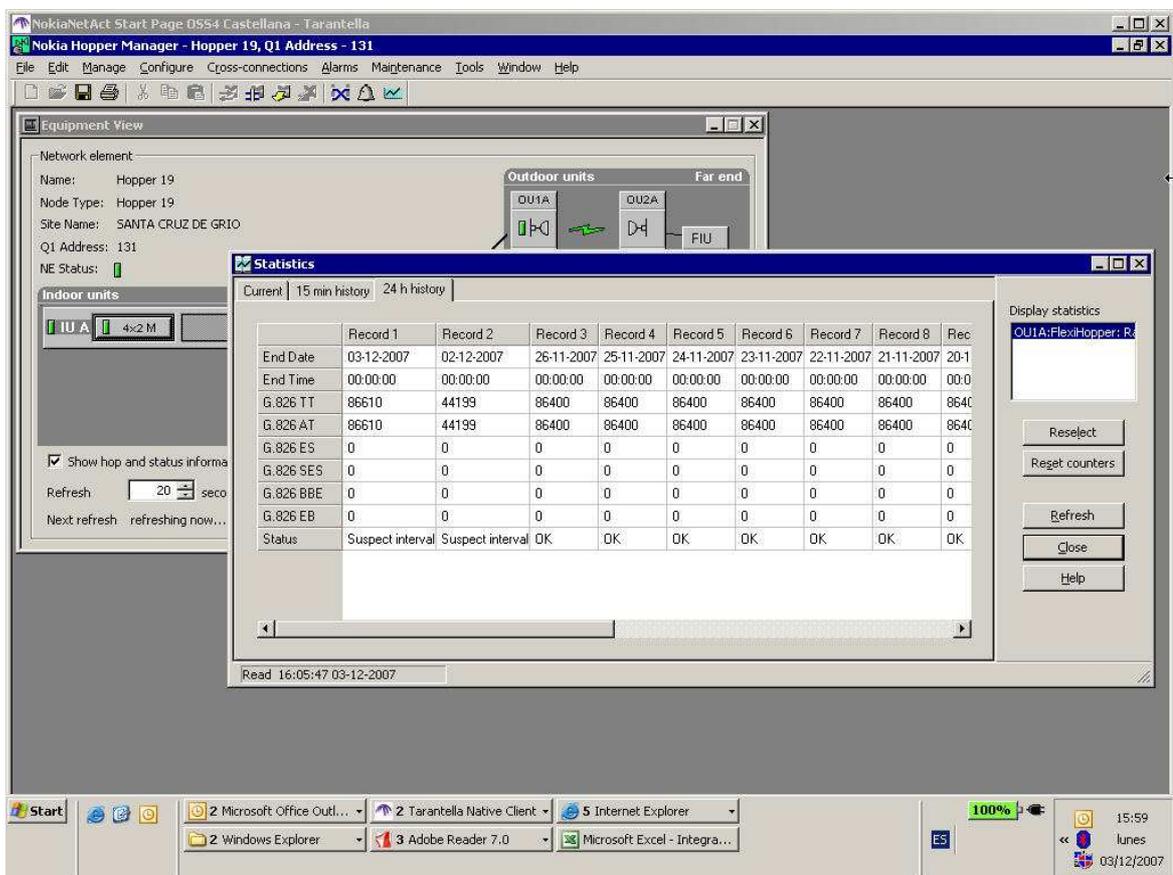


Figura 7.1 Calidad del radioenlace de Santa Cruz del Grio<sup>18</sup>

En las siguientes tablas se indican los datos relevantes:

Tabla 7.1

<b>Tarjeta de transmisión</b>	FIU E19 (Flexbus1)
<b>Tiempo de Monitorización</b>	(6*(86400) + 130.809 )

<sup>18</sup> Imagen capturada de la herramienta NokiaHopper Manager

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

<b>(segundos)</b>	=649.209 seg
<b>Tiempo de Monitorización (horas)</b>	180,33horas

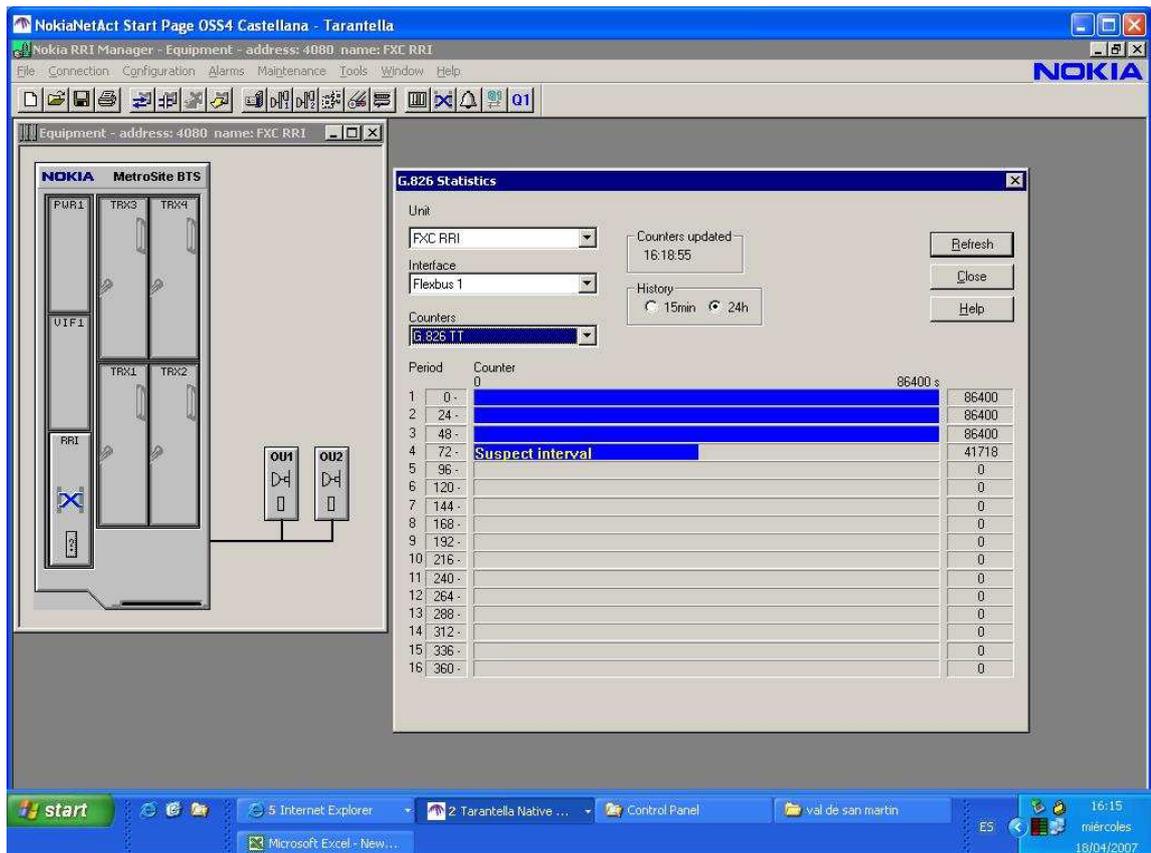
El reporte de calidad correspondiente a este radioenlace (Santa Cruz del Grió- Tobed) y obtenido durante el tiempo especificado en la tabla anterior se resume en la siguiente tabla:

Tabla 7.2

<b>Identificador del BSC</b>	46549 (Z_CAL1R)
<b>BCF de la estación</b>	124
<b>Tarjeta de transmisión</b>	FIU E19I (Flexbus1)
<b>Normativa de calidad</b>	G 826 EB (estándar de calidad utilizado en este proyecto)
<b>Número de bloques erróneos en el tiempo de monitorización</b>	0 ( bloques erróneos cada 24 horas de monitorización, los errores que aparecen son debidos al día de la integración y a las pruebas llevadas sobre dicha estación)

Seguidamente se incluye imágenes de la monitorización del radioenlace entre Val de San Martín y Anento. La tarjeta de transmisión instalada en Val de San Martin es la FXC RRI y por ello el proceso es diferente:

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

Figura 7.2 Tiempo de monitorización de Val de San Martín<sup>19</sup>

El tiempo durante el cual se ha obtenido el reporte de calidad para el radioenlace viene dado en la siguiente tabla:

Tabla 7.3

<b>Tarjeta de transmisión</b>	FXC RRI (Flexbus1)
<b>Tiempo de Monitorización (segundos)</b>	$(3 \cdot (86400) + 41718) = 300.918$ seg (Imagen: columna derecha)
<b>Tiempo de Monitorización (horas)</b>	83,58 horas

El reporte de calidad correspondiente a este radioenlace y obtenido durante el tiempo especificado en la tabla anterior viene dado en la siguiente imagen:

<sup>19</sup> Imagen capturada de Nokia RRI Manager

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

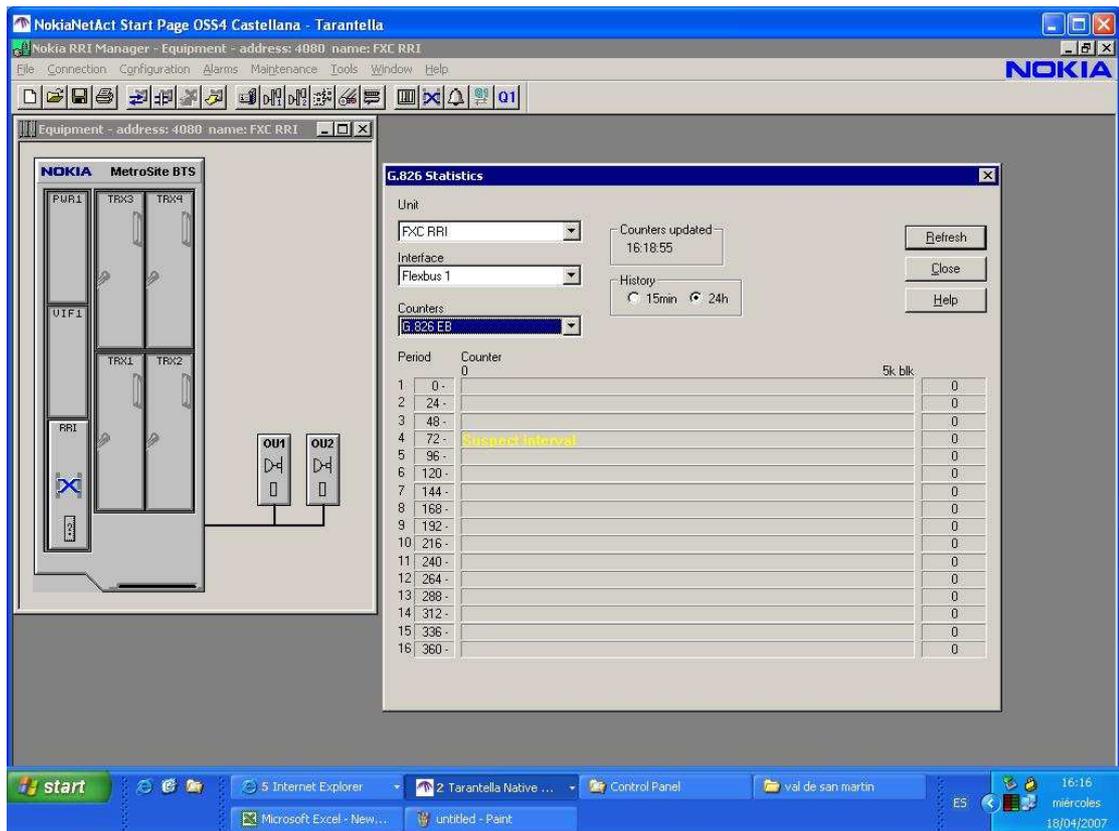


Figura 7.3 BER en Val de San Martín

En la siguiente tabla se resumen los datos de calidad del radioenlace entre Val de San Martín y Anento:

Tabla 7.4

<b>Identificador del BSC</b>	46549 (Z_CAL1R)
<b>BCF de la estación</b>	107
<b>Tarjeta de transmisión</b>	FXC RRI (Flexbus1)
<b>Normativa de calidad</b>	G 826 EB (estándar de calidad utilizado en este proyecto)
<b>Número de bloques erróneos en el tiempo de monitorización</b>	0 (bloques erróneos cada 24 horas de monitorización, los errores que aparecen son debidos al día de la integración y a las pruebas llevadas sobre dicha estación)

Con estos informes podemos concluir que la mayor parte de los radioenlaces funcionan con normalidad, siendo los fenómenos meteorológicos la principal fuente de indisponibilidad.

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

**8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS****8.1. CONCLUSIONES**

El objetivo principal de este proyecto ha sido el despliegue de red ,de telefonía móvil, en determinadas zonas con ausencia de cobertura GSM, para ello se utiliza la banda EGSM. Este proyecto nace después de la concesión de dicha banda de frecuencia a los operadores por parte del Ministerio de industria, turismo y comercio.

Todo lo expresado en este documento, tiene su aplicación práctica real. Del acuerdo entre operadora y ministerio surge un proyecto para dar cobertura a más 700 poblaciones. Este proyecto comienza en el primer trimestre del 2006 y aun no ha finalizado, teniendo como fecha prevista de fin diciembre de 2009.

La mayoría de las poblaciones objetivo de este proyecto tiene menos de 500 habitantes, por lo que no son de interés para el operador ya que pasarán muchos años hasta que las estaciones implantadas generen beneficios. Sin embargo, tras la adjudicación de nuevas frecuencias a las operadoras, éstas se comprometen a acometer un plan de extensión de la red de telefonía móvil para mejorar la cobertura y la calidad en los pueblos que tengan más de 50 habitantes, zonas industriales y vías de comunicación que carezcan de cobertura.

La principal conclusión que alcanzamos es que tras más de 2 años de despliegue se ha dotado de cobertura a mas de 370 municipios y pedanías dentro de las regiones asignadas al proyecto ( ver capitulo 4 ), quedando aun pendientes de implementación 50 estaciones, que se integrarán dentro del plazo previsto. Si desglosamos el total de la lista por provincias, vemos que las provincias donde existe una mayor carencia de cobertura son Huesca, Teruel y Zaragoza, donde ya se han implantado más de 250 nuevas estaciones.

Pero también se ha contado con dificultades en el proceso del despliegue las principales dificultades encontradas son la inviabilidad económica y técnica, además de la negativa por parte de las alcaldías. Del listado facilitado por el ministerio se han anulado más de 250 puntos por inviabilidad técnica, principalmente porque no se dispone de un sitio óptimo para la localización del emplazamiento, la acometida eléctrica es imposible, no existe salida de transmisión por radioenlace ni por línea alquilada. Pero también se engloban aquellos puntos donde se obtiene una carta negativa por parte de la alcaldía, ya que todas estas EBs deben estar en suelo público, es decir en alguna parcela perteneciente al ayuntamiento para evitar que un solo habitante se lucre con la instalación.

Por otra parte contamos con la inviabilidad económica, en muchos casos la operadora es contraria a un gran desembolso económico para la instalación de un EB, porque como se ha comentado anteriormente pasarán muchos años hasta obtener beneficios y no siempre la mejor localización para los planificadores de radio y transmisión es la

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

localización más económica. Por ello cuando una localización necesita una acometida eléctrica de gran longitud, el desmonte del terreno o un estudio geotécnico se opta por la elección de otro candidato para evitar estos gastos.

Otro punto a destacar en el desarrollo del proyecto es el tiempo transcurrido entre la aprobación del emplazamiento y la finalización del mismo. La duración es muy variable, existen puntos que al tratarse de sectorizaciones o emplazamientos de gran interés el operador agiliza los trámites y es posible su finalización en 20 días aproximadamente. Sin embargo otros puntos tardan muchos más tiempo en finalizarse llegando a más de 900 días, debido a problemas en la elaboración de la obra civil del emplazamiento.

Centrándonos en el diseño realizado en el apartado 6.4, se han extrapolado 11 emplazamientos del total del proyecto, pertenecientes a las provincias de Zaragoza (10) y Teruel (1), para aplicar los conocimientos teóricos previos. Se han implantado 4 estaciones macro y 7 estaciones micro, para dar cobertura en algunos casos y mejorar la cobertura y calidad en otros, a un total de 2253 habitantes, cifra que aumenta en periodos vacacionales.

Para el diseño de la red se ha tenido en cuenta la teoría sobre la planificación de una red de telefonía móvil explicada en el capítulo 3, pero teniendo en cuenta todas las normas especificadas por la operadora. Si a lo anterior le sumamos que partimos de una red ya existente, la cual vamos a extender, no tenemos total libertad a la hora de planificar los emplazamientos y debemos ceñirnos a estos dos patrones.

Al tratarse de un proyecto real, uno de los aspectos importantes es el presupuesto económico del que se dispone. A continuación se muestra una gráfica que nos ayudará en el análisis económico:

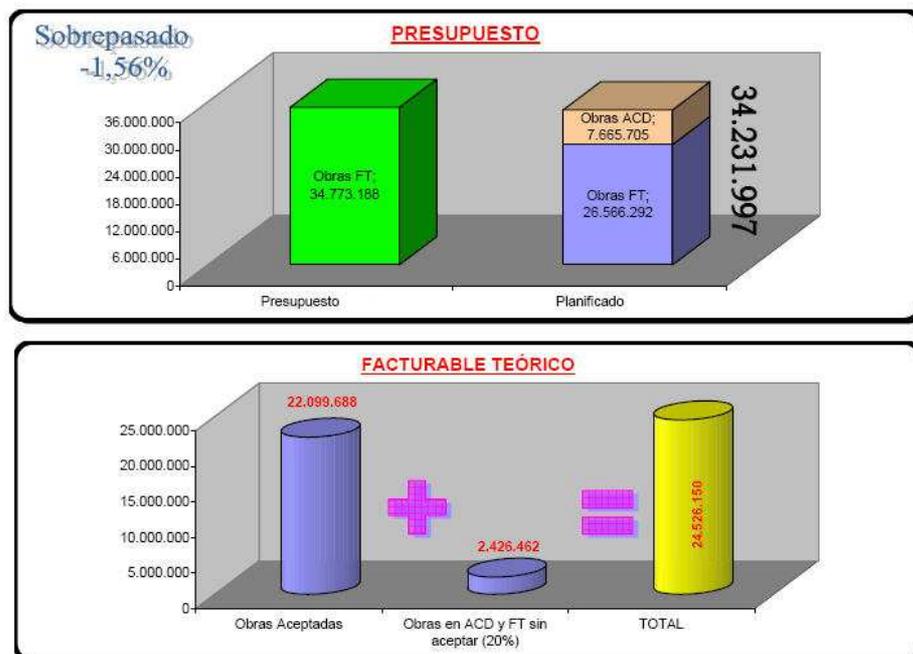


Figura 8.1 Análisis económico del proyecto

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

De la primera gráfica podemos concluir que los gastos planificados por el suministrador para las obras en finalización total (FT) y las obras aprobadas (ACD) están un 1,56 % por debajo del presupuesto asignado por el operador.

Para comprender el segundo gráfico, se ha de saber que el suministrador recibe el 20% del valor del emplazamiento cuando la obra es aprobada por el Comité de Dirección del operador (ACD) y el 80% restante cuando se acepta la obra, es decir, cuando la EB está integrada y sin ningún reparo. De esta gráfica se concluye que el total teórico facturable son 24.526.150 € de los cuales 22.099.688 € provienen de obras aceptadas y los 2.426.462 € restantes de las obras aprobadas o finalizadas con reparos.

### 8.2. TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

Actualmente las operadoras continúan con el despliegue UMTS en ciudades de más de 10000 habitantes, además las grandes ciudades también están siendo dotadas de cobertura HSDPA. Una vez finalizada esta fase, se comenzara a desplegar estas tecnologías en poblaciones con menor número de habitantes, pero que sigan aportando un beneficio al operador, también zonas turísticas y/o de interés.

En los últimos meses se han estado realizando pruebas sobre lo que se podría denominar cuarta generación ,LTE (Long Term Evolution), aunque aún se está pendiente de la estandarización y de saber si realmente es un paso hacia la cuarta generación como es HSDPA o realmente es la cuarta generación. Los principales operadores y suministradores forman parte del grupo de estandarización y desarrollo de esta nueva tecnología. Cada uno con su propia visión pero, al parecer, esta vez con estándares abiertos lo que redundará no sólo en que las operadoras que adquieran esta infraestructura, sino también en los consumidores porque se podrá llegar a economías de escala.

Si bien, aún se está en espera de que las autoridades de cada país determinen los procesos de asignación de las frecuencias para este servicio y que las redes de 3G lleguen a su límite de capacidad, se puede decir que los servicios en 3.5G ya han hecho su aparición y que la demanda de banda ancha es el factor determinante para la evolución de la tecnología y de los dispositivos móviles.

Y aunque LTE no es el único camino que se puede tomar para la cuarta generación, sí parece ser el que más adeptos tiene y no por ello Wimax (el otro camino) no se desarrollará, aunque según la mayoría de los proveedores de infraestructura que manejan ambas tecnologías, el crecimiento y el desarrollo está en la Long Term Evolution (LTE).

Desde este momento se está evolucionando hacia LTE, que aunque considerada por muchos como la tecnología de 4G no es exclusiva si no del a la evolución de la tercera generación denominada Súper 3G. Esta tecnología está basada en OFDMA (Orthogonal

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

Frequency Division Multiple Access, que en español sería Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal). Es la versión multiusuario del ampliamente reconocido esquema de modulación OFDM, es un esquema de modulación multiportadora. Utiliza un gran número de sub-portadoras muy cercanas entre sí en frecuencia y ortogonales.

El esquema OFDM se utiliza en comunicaciones de banda ancha tanto inalámbrica como cableada. La ventaja principal frente a los esquemas que utilizan una única portadora es su habilidad para funcionar correctamente en canales de comunicación que presentan condiciones difíciles, tales como la atenuación de las frecuencias altas en cables de cobre de gran longitud, o la interferencia de banda angosta y el desvanecimiento selectivo de la señal con la frecuencia, que se presentan en las comunicaciones inalámbricas.

OFDM puede considerarse como el uso simultáneo, o en paralelo, de numerosas portadoras moduladas cada una en banda angosta, en lugar de una sola portadora modulada en banda ancha. Cada sub-portadora es modulada con un esquema convencional, tal como QAM, a una tasa de símbolo muy baja. Esto facilita la eliminación de la interferencia intersímbolo.

Como se explicaba anteriormente el detonante del crecimiento de la banda ancha es la demanda de esta. En sólo un año hemos pasado de 60 a 90 países con redes HSDPA y de 400 a 800 dispositivos que cuentan con esta tecnología, entre la que se encuentran móviles, tarjetas móviles, portátiles y routers inalámbricos.

Actualmente de los 3,8 miles de millones de usuarios de dispositivos móviles en el mundo que equivale al 57 por ciento de la población mundial, 300 millones utilizan ya 3G y de ellos 80 por ciento son abonados de GSM. HSDPA, WCDMA y LTE que provienen de la misma familia de estándares.

Según cifras de finales de 2008 estas tecnologías tienen un crecimiento de 12 millones de abonados al mes. En España hay 51,1 millones de usuarios, de los cuales el 30 por ciento son 3G lo que equivale a 16.3 millones de usuarios y 34.8 aún tienen 2G. Aquí se crece a un ritmo de 600 mil usuarios 3G por mes.

LTE tiene muchos puntos para convertirse en el nuevo estándar de las redes inalámbricas de alta velocidad, y puede añadirse a las redes existentes WCDMA y HSDPA sin necesidad de añadir infraestructura adicional. La llegada de esta tecnología a nuestros teléfonos móviles permitirá que la prometida videoconferencia, en su momento uno de los grandes reclamos de la 3G, sea una realidad y no una suma de palabras y movimientos sincopados. También facilitará enormemente el streaming, es decir descargar películas desde el servidor en modo visualización y la subida de contenidos por parte del usuario desde una cámara de vídeo, etc.

## 8. CONCLUSIONES, TRABAJOS POSTERIORES Y LINEAS FUTURAS

La clave está en las velocidades. La actual HSDPA llega habitualmente a los 3.6 Mbps, pero puede alcanzar un máximo en la actualidad de 7.2 Mbps. En el futuro se tiene pensado alcanzar los 30 Mbps, pero se quedará lejos de la LTE, con hasta 100 Mbps. Y ya en el horizonte nos encontramos con las redes 4G, que quiere alcanzar un estándar de 1 Gbps.

Como se puede comprender fácilmente las zonas que son objetivo de este proyecto, no son de alto interés al operador, ya que no obtendrán beneficios hasta que no transcurra un largo periodo. Por lo que la implantación de tecnologías posteriores, a priori, no está planificada.

Aunque nunca se puede saber que expansiones se pueden producir en determinadas poblaciones, sin ir más lejos ha sido noticia recientemente la construcción de un gran complejo de ocio, conocido como Gran Scala, en el territorio en Ontiñena en Huesca, lo que hará que la topología de la red sea modificada para dar cobertura a todos los casinos y hoteles que se van a levantar en la zona, incluso pudiendo condicionar la viabilidad de radioenlaces existentes en la zona. Además de implantar nuevas tecnologías como UMTS y HSDPA o incluso LTE si dicha tecnología tiene uso comercial en el momento que se termine de construir dicho complejo.

Esto nos deja claro que aunque actualmente no se planifique la ampliación de tecnologías en estas poblaciones, algunas alteraciones como construcciones de polígonos industriales, nuevas viviendas, carreteras o centros de ocio, que modifiquen el número de usuarios y sus hábitos, pueden provocar un cambio en la red de telefonía móvil.

## ANEXO A

## ANEXO A: ANTENAS PARA ESTACION BASE

Este anexo contiene los modelos de antenas preseleccionadas por la operadora, algunas de las cuales todavía no están certificadas. El adjudicatario se compromete a realizar las pruebas de certificación de los modelos seleccionados que todavía no estén certificados, de acuerdo al procedimiento de la operadora.

Tabla A.1

Suministrador	KATHREIN	ARGUS	SRF. MOYANO, S.A.	RYMSA
Perfil	Perfil 6b	Perfil 6b	Perfil 6b	Perfil 6b
Tipo	PANEL	PANEL	PANEL	PANEL
Modelo	K739650	CPX410F-0	MY-DBS099017	AT 42-686T0
Banda (MHz)	806-960	824 - 960	870-960	870-960
Polarización	Xpol	Xpol	Xpol	Xpol
Ganancia Máxima (dBi)	17	16,8	17	16,3
Ancho de haz horizontal (°)	90	90	90	90
Tilts Eléctricos (°)	0	0,	0-	0°
Tilt mecánico.	Si	0°-8°(1°steps)	+/-8° step 1°	Con tinuous
Longitud (mm)	2580	2630	2580	2580

Tabla A.2

Suministrador	RFS	RFS
Perfil	Perfil 6b	Perfil 6a
Tipo	PANEL	PANEL
Modelo	APX86-909015-T0	APX86-909014L-T0
Banda (MHz)	806-870 , 870-960	806-870 , 870-960
Polarización	Xpol	Xpol
Ganancia Máxima (dBi)	16,2	15,2
Ancho de haz horizontal (°)	90	90
Tilts Eléctricos	0°	0
Tilt mecánico.	Tilt.adjustable operatorant with downtilt indicator 1° (APM40-2)	Tilt.adjustable operatorant with downtilt indicator 1° (APM40-2)
Longitud (mm)	2600	2080

Tabla A.3

Suministrador	ARGUS TECHNOLOGIES	MOYANO	KATHREIN	KATHREIN
Perfil	Perfil 6a	Perfil 6a	Perfil 6a	Perfil 6a
Tipo	PANEL	PANEL	PANEL	PANEL
Modelo	CPX408F-0	MY-BS099015	K739649 / KRE 101 1772/1	K739655 / 101 1773/1 KRE
Banda (MHz)	824 - 960	870-960	870-960	870-960
Polarización	Xpol	Xpol	Xpol	Xpol
Ganancia Máxima (dBi)	15,8	15,5	15,5	15,5
Ancho de haz horizontal (°)	90	90	90	90
Tilts Eléctricos	0	0-3-6	0	0
Tilt mecánico.	0° - 8° (1°steps)	+/-8° step 1°	Si (0°-11°)	Sí (0°-11°)
Longitud (mm)	2120	1930	1900	1996

Tabla A.4

Suministrador	KATHREIN	RYMSA	RFS	ARGUS
Perfil	Perfil 5a	Perfil 5a	Perfil 5a	Perfil 5a
Tipo	PANEL	PANEL	PANEL	PANEL
Modelo	KRE 101 1798/1 /(K739623)	AT 42-664T0	APX906515L-CT0	CPX308F-0
Banda (MHz)	806-960	870-960	870-960	824 - 960
Polarización	Xpol	Xpol	Xpol	Xpol
Ganancia Máxima (dBi)	17	16,3	16,7	16,8
Ancho de haz horizontal (°)	65	65	65	65
Tilts Eléctricos	0	0	0	0
Tilt mecánico.	Sí	Continuous	Tilt.adjusla operadorant with downtilt indicator 1°(APM40-2)	0° - 8° (1° steps)
Longitud (mm)	1936	2033	2080	2120

Tabla A.5

Suministrador	ANDREW CORPORATION	RFS	RYMSA
Perfil	Perfil 5d	Perfil 5d	Perfil 5d
Tipo	PANEL	PANEL	PANEL
Modelo	DB858DG65ESY	APX86-906516L-CT0	AT 42-684T0
Banda (MHz)	870-960	806-870 / 870-960	870-960
Polarización	Xpol	Xpol	Xpol
Ganancia Máxima (dBi)	18,1	17,4	17,4
Ancho de haz horizontal (°)	65	65	65
Tilts Eléctricos	0	0	0
Tilt mecánico.	0...8,5°; continuous	Tilt.adjus with tilt indicator 1° (APM40-2)	Continuous
Longitud (mm)	2438	2600	2580

Tabla A.6

Suministrador	MOYANO	MOYANO	POWERWAVE
Perfil	Perfil7	Perfil7	Perfil7
Tipo	OMNI	OMNI	OMNI
Modelo	MY-1613	MY-1610-0	4168.11.33.0
Banda (MHz)	870-960 MHz	870-960	870-960
Polarización	V	V	360°
Ganancia Máxima (dBi)	11	10	11,2
Ancho de haz horizontal (°)	360	360	360
Tilts Eléctricos	0-3-6	0	0
Tilt mecánico.	N.A	N.A	N.A
Longitud (mm)	3300	2750	3000

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- [1] “Comunicaciones Móviles” de José María Hernando Rábanos
- [2] “Principios de Comunicaciones Móviles “de Oriol Sallent Roig, José Luis Valenzuela González y Ramón Agustí Comen
- [3] Explain from Nokia
- [4] SYSTRA 4.0 GSM System Training from Nokia
- [5] Conceptos Básicos de Redes Móviles y UMTS de Ericsson
- [6] Introducción a las Comunicaciones móviles de Ericsson
- [7] Guía para la búsqueda de emplazamientos de Ericsson
- [8] Manual de GSM de Ericsson
- [9] Documentación sobre WCDMA obtenida de: [personal.us.es/murillo/docente/commoviles/4-WCDMA.pdf](http://personal.us.es/murillo/docente/commoviles/4-WCDMA.pdf)
- [10] Quality of Speech Services in GSM - Definition of a Universal Quality Parameter for Quality Comparison and Evaluation by Arie Verschoor
- [11] Performance en Circuitos Digitales de: <http://www.scribd.com/doc/6538549/13-Performance-en-Circuitos-Digitales>
- [12] Introducción a las Comunicaciones Móviles de Comunicaciones Móviles Dpto. Informática – UCLM Albacete
- [13] Impact of Antenna Beamwidth, Propagation Slope and Coverage Overlapping on Capacity in WCDMA Networks from TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Institute of Communications Engineering.
- [14] Microwave Path-Loss Modeling in Urban Line-of-Sight Environments by Hironari Masui, Member, IEEE, Takehiko Kobayashi, Member, IEEE, and Masami Akaike, Fellow, IEEE
- [15] Sistemas de Comunicaciones Móviles de Universidad Nacional de Rosario
- [16] Propagación por difracción Rec. UIT-R P.526-10 obtenido de: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6989/35/UIT%20R-%20P.526-10.pdf>
- [17] Propagación de señales de la Universidad de las Américas
- [18] Data Capabilities: GPRS to HSDPA and beyond by Peter Rysavy
- [19] WML Club: Artículo sobre GSM de <http://www.wmlclub.com/articulos/fundamentosgsm.htm>
- [20] [www.umtsworld.com](http://www.umtsworld.com)
- [21] [www.gsmworld.com](http://www.gsmworld.com)
- [22] Artículo sobre LTE de <http://www.redestelecom.es/Reportajes/200812150038/LTE-el-salto-a-la-4G-movil.aspx>
- [23] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [24] WCDMA for UMTS by Harri Holma & Antti Toskala
- [25] HSDPA/ HSUPA for UMTS by Harri Holma & Antti Toskala