

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

**TRABAJO FIN DE GRADO**

***SIMULACIÓN Y PROPUESTA DE UNA  
METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE REDES  
MÓVILES EN ENTORNOS SUBURBANOS***

**Alumno:** Torres Robles, Jaime

**Director:** Angueira Buceta, Pablo

**Codirector:** Ordiales Basterrechea, Juan Luis

**Curso:** 2017-2018

**Fecha:** 29 de junio de 2018

eman ta zabal zazu



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

BILBOKO  
INGENIARITZA  
ESKOLA  
ESCUELA  
DE INGENIERÍA  
DE BILBAO

# ÍNDICE

---

Lista de Acrónimos .....	4
Lista de Ilustraciones .....	5
Lista de Tablas .....	7
1      Resumen.....	8
1.1    Resumen .....	8
1.2    Abstract.....	8
1.3    Laburpena .....	8
2      Introducción .....	10
2.1    Contexto.....	10
2.2    Problemas de diseño .....	11
3      Objetivos .....	12
3.1    Objetivo principal .....	12
3.2    Objetivos secundarios.....	12
3.2.1    Descripción técnica del diseño de una red móvil .....	12
3.2.2    Análisis y elección del tipo de solución .....	12
3.2.3    Obtención de un modelo de propagación.....	12
3.2.4    Estudio de un tramo de cercanías real.....	12
3.2.5    Simulación de diseño en un tramo de cercanías real .....	12
4      Beneficios .....	13
4.1    Beneficios técnico-científicos.....	13
4.2    Beneficios sociales.....	13
4.3    Beneficios económicos .....	13
5      Estado del arte.....	14
5.1    Diseño físico .....	14
5.1.1    Arquitectura UMTS.....	14
5.1.2    Arquitectura LTE.....	14
5.1.3    Sistema radiante .....	15
5.1.4    Nodo .....	21
5.2    Diseño lógico .....	24
5.2.1    Operadores y tecnologías .....	24
5.2.2    Sectorización .....	25
5.2.3    Handovers .....	26
5.2.4    Vecindades.....	31
5.2.5    Identificadores de celda .....	32
6      Análisis de alternativas .....	33

6.1	Clasificación de túneles .....	33
6.2	Soluciones basadas en cobertura desde el exterior.....	33
6.3	Soluciones con cobertura propia desde el interior .....	35
6.3.1	Leaky feeders .....	35
6.3.2	Antenas distribuidas más repetidores ópticos .....	36
6.4	Comparativa y elección de la solución .....	37
7	Descripción de la solución.....	38
7.1	Resumen de la solución .....	38
7.2	Consideraciones previas .....	39
7.3	Estudio del entorno .....	40
7.3.1	Modelo de propagación en los túneles .....	40
7.3.2	Influencia de los handovers en el diseño físico: distancia de solape.....	42
7.3.3	Balance del enlace.....	43
7.3.4	Dispersión temporal .....	48
7.4	Selección de equipos .....	50
7.4.1	Antenas.....	51
7.4.2	Cables y conectores.....	51
7.4.3	Elementos Pasivos.....	51
7.4.4	Sistema de repetidores de fibra óptica .....	52
7.4.5	Nodos B y enodos B.....	52
7.5	Diseño final.....	54
7.5.1	Operadores .....	54
7.5.2	Sectorización .....	54
7.5.3	Posicionamiento de repetidores .....	55
7.5.4	Sala de equipos .....	55
7.5.5	Etapas de combinación.....	56
7.5.6	Sistema de repartición de FO.....	57
7.5.7	Unifilares.....	58
7.6	Optimización .....	59
7.7	Propuesta de metodología.....	61
8	Plan de trabajo .....	63
9	Resumen económico.....	67
9.1	Recursos humanos.....	67
9.2	Amortizaciones.....	67
9.3	Subcontrataciones .....	68
9.4	Otros gastos .....	68
9.5	Costes totales .....	68
10	Análisis de riesgos.....	69

10.1	Identificación de riesgos .....	69
10.1.1	R1: Indisponibilidad de los miembros del proyecto .....	69
10.1.2	R2: Imposibilidad de obtener mediciones fiables .....	69
10.1.3	R3: Problemas con los recursos software .....	69
10.2	Calificación de riesgos.....	70
11	Conclusiones.....	71
12	Referencias .....	72
13	Anexos.....	74
	ANEXO A	
	ANEXO B	
	ANEXO C	
	ANEXO D	
	ANEXO E	
	ANEXO F	
	ANEXO G	
	ANEXO H	

# LISTA DE ACRÓNIMOS

---

LTE	<i>Long Term Evolution</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i>
RBS	<i>Radio Base Station</i>
RRU	<i>Remote Radio Unit</i>
DU	<i>Digital Unit</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
SSRR	<i>Sistema Radiante</i>
DAS	<i>Distributed Antenna System</i>
RET	<i>Remote Electrical Tilt</i>
VSWR	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>
RF	<i>Radio Frecuencia</i>
RL	<i>Radio Link / Radio Enlace</i>
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i>
TMA	<i>Tower Mounted Amplifier</i>
ASC	<i>Antenna System Controller</i>
TRX	<i>Transmitter-Receiver</i>
HO	<i>Handover</i>
RSRP	<i>Reference Signal Received Power</i>
RSRQ	<i>Reference Signal Received Quality</i>
TTI	<i>Transmission Time Interval</i>
TTT	<i>Time To Trigger</i>
ANR	<i>Automated Neighbor Relation</i>
SC	<i>Scrambling Code</i>
PCI	<i>Physical Cell Identifier</i>
DCU	<i>Digital Central Unit</i>
DRH	<i>Digital Remote Head</i>
FO	<i>Fibra Óptica</i>
FOR	<i>Fiber Optic Repeater</i>
ISI	<i>InterSymbol Interference</i>
CP	<i>Ciclic Prefix</i>
ECO	<i>Etapa de COmbinación</i>
DCR	<i>Drop Called Ratio</i>
CSSR	<i>Accessibility</i>
PS	<i>Packet Switching</i>
CS	<i>Circuit Switching</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
PT	<i>Paquete de Trabajo</i>

# LISTA DE ILUSTRACIONES

---

Ilustración 1: Viajeros Metro de Madrid .....	10
Ilustración 2: Elementos de UMTS .....	14
Ilustración 3: Arquitectura UMTS.....	14
Ilustración 4: Arquitectura LTE.....	15
Ilustración 5: Elementos de un emplazamiento .....	15
Ilustración 6: Diagrama de una antena indoor .....	16
Ilustración 7: Antena indoor omni .....	16
Ilustración 8: Diagrama de una antena yagi .....	16
Ilustración 9: Antena de panel .....	16
Ilustración 10: Bocas de una antena de panel .....	17
Ilustración 11: TILT eléctrico y mecánico.....	18
Ilustración 13: Feeders gruesos .....	18
Ilustración 12: Feeders delgados.....	18
Ilustración 14: Elementos de la FO.....	19
Ilustración 15: TMA .....	20
Ilustración 17: Diagrama de uso de un diplexor .....	20
Ilustración 16: Diplexor simple y doble .....	20
Ilustración 19: RBS de Ericsson más utilizadas.....	22
Ilustración 20: Digital Unit .....	22
Ilustración 21: Radio Unit .....	22
Ilustración 22: Esquema de conexión de una SIU .....	23
Ilustración 23: Nodo más sistema radiante .....	23
Ilustración 24: Concepto de celda compuesta.....	26
Ilustración 25: Diagrama de tiempos HO LTE .....	28
Ilustración 26: Áreas de cobertura LTE.....	28
Ilustración 27: Condiciones de entrada/salida .....	29
Ilustración 28: Listas y sub-listas en movilidad 3G.....	31
Ilustración 29: Primera opción con cobertura desde exterior.....	33
Ilustración 30: Segunda opción con cobertura desde exterior.....	34
Ilustración 31: Tercera opción con cobertura desde exterior .....	34
Ilustración 32: Distribución de señal con Leaky Feeders.....	35
Ilustración 33: Nivel de señal a lo largo del túnel con Leaky Feeder .....	35
Ilustración 34: Distribución de señal con repetidores más antenas distribuidas .....	36
Ilustración 35: FOR .....	37
Ilustración 36: Plano del tramo a cubrir .....	39
Ilustración 37: Pérdidas en túnel cercanías banda U900 .....	41
Ilustración 38: Pérdidas en túnel cercanías banda L1800 .....	41
Ilustración 39: Evolución del nivel de señal recibida entre repetidores 3G de la misma celda .....	45
Ilustración 40: Evolución del nivel de señal recibida entre repetidores 3G de celdas distintas .....	46
Ilustración 41: Evolución del nivel de señal recibida entre repetidores 4G la misma celda .....	47
Ilustración 42: Evolución del nivel de señal recibida entre repetidores 4G de celdas distintas .....	48
Ilustración 43: Interferencia entre símbolos .....	48
Ilustración 44: Detalle del ISI .....	49
Ilustración 45: Prefijo cíclico .....	49
Ilustración 46: Delay entre repetidores de la misma celda .....	49
Ilustración 47: Coaxial 1-5/8" .....	51
Ilustración 48: Coaxial 1/2" .....	51
Ilustración 49: Diagrama de conexión de una DCU y sus DRHs.....	52
Ilustración 50: Equipos de radio que componen un nodo .....	53
Ilustración 51: RBS diseñada .....	53

Ilustración 52: Posicionamiento de los repetidores.....	55
Ilustración 53: Esquema de distribución en estación central del sector 2.....	55
Ilustración 54: Esquema de distribución en estación central de los sectores 1 y 3 .....	56
Ilustración 55: Etapa de Combinación 1 .....	57
Ilustración 56: Etapa de Combinación 2 .....	57
Ilustración 57: Esquema de repartición de FO.....	57
Ilustración 58: Unifilar de antenas en túneles .....	58
Ilustración 59: Unifilar de antenas en estaciones .....	58
Ilustración 60: Evolución del DCR PS y CS en cercanías .....	60
Ilustración 61: Gráficos con porcentaje de casos por RSSI, incidencias u optimización .....	61
Ilustración 62: Diagrama de la propuesta de metodología .....	61
Ilustración 63: Diagrama de Gantt .....	66
Ilustración 64: Matriz de riesgos (probabilidad-impacto) .....	70



# LISTA DE TABLAS

---

Tabla 1: Características de un TMA típico .....	20
Tabla 2: Tipos de splitters .....	21
Tabla 3: Bandas UMTS y LTE .....	24
Tabla 4: Earfcndl de OSP para LTE y UMTS .....	24
Tabla 5: Ejemplo de equipos por operador en un site .....	25
Tabla 6: Ejemplo de sectorización .....	25
Tabla 7: Eventos en HO LTE .....	29
Tabla 8: Clasificación de alternativas .....	37
Tabla 9: Pérdidas en túnel de carretera .....	40
Tabla 10: Características de los terminales de usuario .....	44
Tabla 11: Potencia recibida entre repetidores 3G de la misma celda .....	45
Tabla 12: Potencia recibida entre repetidores 3G de celdas distintas.....	45
Tabla 13: Potencia recibida entre repetidores 4G de la misma celda .....	47
Tabla 14: Potencia recibida entre repetidores 4G de celdas distintas.....	47
Tabla 15: Tabla de operadores.....	54
Tabla 16: Resumen de sectorización .....	54
Tabla 17: Potencia que llega a las antenas en apartaderos de túneles .....	59
Tabla 18: Potencia que llega a las antenas en la estación central.....	59
Tabla 19: Potencia que llega a las antenas en la estación de Sol .....	59
Tabla 20: Grupo de trabajo .....	63
Tabla 21: PT0 .....	63
Tabla 22: PT1 .....	63
Tabla 23: PT2 .....	64
Tabla 24: PT3 .....	64
Tabla 25: PT4 .....	64
Tabla 26: PT5 .....	65
Tabla 27: PT6 .....	65
Tabla 28: Entregables .....	65
Tabla 29: Hitos.....	65
Tabla 30: Recursos humanos .....	67
Tabla 31: Amortizaciones.....	68
Tabla 32: Otros gastos .....	68
Tabla 33: Costes totales.....	68

# 1 RESUMEN

---

## 1.1 RESUMEN

El número de personas que hacen uso del transporte público es cada día más elevado. Sobre todo, ocurre en grandes ciudades como Madrid en la cual millones de personas se suben al metro o cercanías cada día. Es necesario dotar de cobertura móvil a todos estos usuarios, tanto para comunicaciones de voz como de datos. Estos medios de transporte suburbanos tienen características especiales que dificultan la distribución de la señal a lo largo del túnel.

El objetivo principal de este proyecto es proponer una metodología para el diseño de redes móviles en este tipo de entornos. Esta metodología supone un proceso donde se describen las fases necesarias para la obtención de un diseño fiable y su posterior optimización. Por supuesto, dicho proceso podrá ser adaptado a cualquier proyecto suburbano de similares características.

Para ello, se han realizado una serie de etapas que componen los objetivos secundarios del proyecto. Se ha comenzado con un estudio teórico sobre los conceptos más importantes a desarrollar en el trabajo. A partir de aquí se han definido las principales alternativas para diseños suburbanos y escogido la más adecuada. Una vez escogida la solución, se ha procedido a la simulación de un diseño completo basado en ella. La simulación incluye la obtención de un modelo de propagación, cálculos y planos. Por último, haciendo abstracción de todo lo anterior, se ha propuesto una metodología describiendo todas sus fases de diseño.

## 1.2 ABSTRACT

Nowadays more and more people use the public transport every day. This especially happens in big cities, such as Madrid, where millions of people use the underground or commuter trains to get to work, school or university. It is necessary to provide all these users with mobile coverage, so much for voice communications as of data. These suburban means of transport have special characteristics that impede the distribution of the signals along the tunnel.

The main aim of this project is to propose a design methodology for mobile networks in this kind of environments. This methodology is a process which describes the necessary phases to obtain a reliable design and its further optimization. And, of course, the mentioned process will be adaptable to any suburban project of similar characteristics.

In order to achieve this goal, a series of stages have been carried out. These stages compose the secondary aims of the project. The project begins with a theoretical study of the most important concepts to be developed later. After this, the main alternatives for suburban designs have been defined and the most suitable has been chosen. Once the solution has been selected, a simulation of a complete design takes place. This simulation includes obtaining a propagation model, calculations and drawings. Finally, a process of abstraction has been accomplished to propose the methodology. All the design phases are described in the methodology step by step.

## 1.3 LABURPENEA

Garraio publikoa erabiltzen duten pertsonen kopurua egunero gora doa. Milioika pertsona metroa baita aldiriak erabiltzen dituztelako, Madril bezalako hiri handietan gertatzen den moduan. Erabiltzaile guztiei

ahots eta datu estalduraz hornitzea beharrezkoa da. Honelako garraio sistema bere gehiengoan tunelen zehar doa. Horregatik seinaleen banaketa ezaugarri bereziak dauzka.

Proiektu honen helburu nagusia metodologia ingurune-mota honetako sare mugikorrekoko diseinua proposatzea da. Metodologia honek, beharrezko faseak deskribatzen ditu diseinu fidagarri baten lorpenerako eta ondorengo optimizazio prozesua proposatzen du.

Prozesu hau antzeko ezaugarriak dituzten hiriei moldatu ahal izango da. Helburu hau lortzea proiektuaren bigarren mailako helburua da. Kontzeptu garrantzitsuenei buruzko ikerketa teorikoak garatzeko lana hasi da jada.

Hemendik aurrera alternatiba nagusiak hiri inguruaren diseinuetarako definitu dira, haietatik egokiena aukeratuz. Behin soluzioa aukeraturik, hartan oinarritutako diseinu beteko itxurari ekin zaio. Simulazioak, hedapen-modelo baten, kalkuluen eta planoen lorpena barnetzen ditu. Azkenik, aurreko guztiaren abstrakzioa eginez, metodologia proposatu da diseinu-fase guztiak deskribatuz.

## 2 INTRODUCCIÓN

### 2.1 CONTEXTO

Actualmente más de dos millones de madrileños se suben al Metro de Madrid para acudir a sus puestos de trabajo o simplemente para moverse por la capital. La red de cercanías también cuenta con unas cifras similares pudiendo dar capacidad a 880.000 **viajeros** distribuidos en las 90 estaciones, 1400 trenes y 9 líneas de las que dispone. Ambos transportes, aun siendo considerados de los más punteros del mundo, todavía no están bien conectados en lo que a telefonía móvil se refiere. Metro de Madrid negoció en 2017 con Movistar, Orange y Vodafone la ampliación de **cobertura 4G** a la mayor parte posible de su red de estaciones. Este proyecto todavía sigue en curso y varias estaciones aun no cuentan con cobertura de cuarta generación.

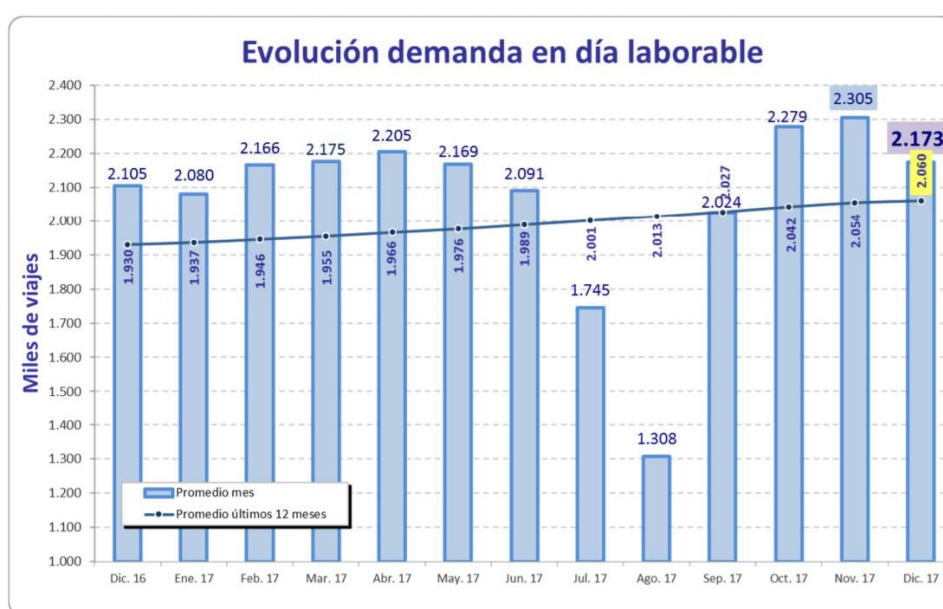


Ilustración 1: Viajeros Metro de Madrid

Según un estudio que ha publicado Eurostat, la Oficina Europea de Estadística, el 93% de los usuarios de Internet españoles navegan a través de su **móvil**. Más aun cuando se encuentran viajando en transporte público de camino a casa, al trabajo o a la universidad. Es necesario dotar de cobertura a todos estos usuarios de cercanías y metro de Madrid tanto en 3G (que absorbe la mayor parte del tráfico de voz) como en 4G.

Para la realización de estos proyectos en entornos **suburbanos** muchas veces se siguen los mismos procedimientos que para el resto de las áreas (urbanas, rurales). El no tener en cuenta algunos aspectos y dificultades específicas de los túneles puede suponer la ejecución de un diseño con fallos y vacíos de cobertura. A su vez, estos fallos resultan en costes extras de optimización del diseño, renovación de los equipos, etc.

Por esta razón este proyecto de fin de grado es una **simulación** de diseño y optimización de una red móvil en un entorno suburbano, como puede ser metro o cercanías, y la obtención posteriormente de una **metodología**. La propuesta de metodología que se elabore podrá ser utilizada como guía en otros diseños suburbanos de similares características.

## 2.2 PROBLEMAS DE DISEÑO

Como se ha comentado en el contexto anterior, los entornos suburbanos de metro y cercanías tienen dificultades añadidas en lo que al diseño se refiere. A lo largo del presente proyecto se hará frente a estas dificultades y se confeccionarán las soluciones necesarias para combatirlas. En este apartado se resumen los **problemas de diseño principales** que queremos resolver:

- Las señales electromagnéticas emitidas por las estaciones exteriores no pueden penetrar para llegar hasta las infraestructuras bajo tierra.
- Si se radia la boca del túnel con una antena exterior se producen pérdidas grandes en la señal por acoplamiento.
- Dificultad de instalar estaciones base dentro de los túneles por el espacio reducido.
- Compartición del sistema radiante por parte de varios operadores. Combinación de las señales de radio frecuencia.
- No hay visión directa con los vagones del tren en algunos puntos debido a la geometría del túnel.
- Absorción de las ondas electromagnéticas por las paredes y techo del túnel y el propio terreno.
- Dificultad para penetrar en los vagones del tren. Pérdidas adicionales.
- Alta densidad de pasajeros. Resulta en pérdidas adicionales por interferencia y necesidad de diseñar una red de gran capacidad.
- Handovers: todos los usuarios que viajan en un mismo vagón realizan el handover simultáneamente. Gran riesgo de caídas (drop).
- Las pérdidas por propagación en el interior del túnel son diferentes a las del espacio abierto. Será necesario definir un modelo de propagación.

Para resolver todos estos problemas se marcarán unos **objetivos**, principales y secundarios, que se redactan en el siguiente capítulo.

## 3 OBJETIVOS

---

En este proyecto se deben cubrir los siguientes objetivos:

### 3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

**Obtención de una metodología.** Como ya se ha indicado en la introducción, el principal objetivo de este proyecto es proponer una metodología de diseño. Para ello, es necesario abstraer todos los pasos dados durante el desarrollo del proyecto creando una guía para posteriores diseños de redes móviles en entornos suburbanos.

### 3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

#### 3.2.1 Descripción técnica del diseño de una red móvil

La descripción de los conceptos teóricos fundamentales del diseño de una red móvil es uno de los objetivos secundarios. Se debe tener en cuenta tanto el diseño lógico como físico. En lo que respecta al diseño físico, se investigará sobre conceptos como el sistema radiante y los equipos radio del nodo 3G/4G. Para el diseño lógico se explorarán conceptos de sectorización, bandas de frecuencia, handovers (y sus tiempos de ejecución), identificadores y vecindades.

#### 3.2.2 Análisis y elección del tipo de solución

Distinción de las peculiaridades que tienen las redes móviles en entornos suburbanos. También es necesario realizar un análisis de los distintos tipos de soluciones que existen para entornos de este tipo. Se describirán los equipos propios de cada solución y las ventajas y desventajas. Finalmente se escogerá uno basándose en ciertos criterios económicos y de funcionalidad.

#### 3.2.3 Obtención de un modelo de propagación

Para la realización de los cálculos del proyecto es necesario hacer uso de un modelo de propagación. El modelo estándar u Okumura-Hata para espacio abierto no es válido ya que la señal en los túneles se comporta de una manera diferente. Se estudiarán diferentes modelos para túneles y se escogerá el más adecuado.

#### 3.2.4 Estudio de un tramo de cercanías real

Elaboración de un estudio completo de las características de propagación, distancias, estaciones y tráfico de un tramo específico de cercanías Madrid. Este estudio trae consigo cálculos de aspectos como distancias máximas, solapes y “delays” que servirán para la posterior ejecución del diseño final.

#### 3.2.5 Simulación de diseño en un tramo de cercanías real

El diseño de una red móvil que pueda utilizarse por varios operadores y tecnologías en un entorno suburbano concreto (cercanías en este caso). Debe incluir tanto los nodos B como el sistema radiante y distribución de la señal RF. Se escogerán los equipos más apropiados para este caso (antenas, feeders, repetidores, DUs, RRUs, etc...). Por último, se hará un resumen de los procedimientos de optimización que serían adecuados una vez implementado el diseño.

## 4 BENEFICIOS

---

La realización del presente proyecto reportará una serie de beneficios técnico-científicos, sociales y económicos. Estos beneficios se han querido resumir en este capítulo y se cuentan a continuación:

### 4.1 BENEFICIOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS

Uno de los beneficios que resultan del estudio teórico es su valor educativo. La memoria del proyecto podrá servir como referencia para consultas genéricas de redes móviles y de alternativas en túneles. También se podrán consultar cuales son los equipos (incluso los modelos) que se han utilizado y que se suelen utilizar en proyectos de este tipo.

Por otro lado, la propuesta de metodología tiene como valor principal servir de referencia técnica para otros proyectos suburbanos. De esta manera los ingenieros o técnicos que lo necesiten podrán consultarla y seguir las etapas propuestas. La metodología garantizará un diseño eficaz, fiable y operativo.

Por último, este proyecto puede servir como punto de partida para otros ingenieros o investigadores que se propongan realizar otro similar o una ampliación de algunos conceptos de éste.

### 4.2 BENEFICIOS SOCIALES

El principal beneficio social de este proyecto es la fiabilidad de la metodología propuesta. Una vez conseguidos los objetivos se propone el uso de esta metodología en otros proyectos. El hacer uso de ella supondría la implantación de un diseño en el cual las características del tramo en cuestión han sido estudiadas y los equipos han sido escogidos y posicionados cuidadosamente. Todo ello se traduciría en una cobertura de 3G y 4G adecuada. Los usuarios podrán hacer uso de los servicios de voz y datos sin caídas y sin vacíos de cobertura, lo que proporciona una experiencia fluida y apreciable por el usuario final.

### 4.3 BENEFICIOS ECONÓMICOS

Los beneficios económicos de este proyecto están ligados en cierta manera con algunos de los beneficios técnico-científicos mencionados anteriormente, es decir, el beneficio económico que se puede obtener a la hora de diseñar una red móvil en metros o cercanías. Los estudios de modelo de propagación y la metodología permiten el ahorro de costes, mediante la reducción de ingeniería.

Además, la metodología propone un despliegue que reduce elementos como cableados, antenas, equipos de radio y elementos pasivos que suponen un coste significativo en proyectos de redes móviles. Además, se garantiza el máximo rendimiento en cuanto a recursos de radio. Una experiencia satisfactoria del usuario supondrá para los operadores la fidelidad de sus usuarios e incluso un aumento de clientes.

## 5 ESTADO DEL ARTE

La primera parte de la memoria del proyecto corresponde a una **descripción técnica** de los conceptos que se utilizarán más adelante. En lo que respecta al diseño físico, es necesario introducir temas como la arquitectura, el SSRR o los equipos que forman un nodo. Para el diseño lógico se han estudiado conceptos importantes como las bandas de frecuencia, la sectorización o los handovers. Finalmente, también se ha añadido una explicación sobre procedimientos de optimización que se llevarían a cabo una vez implementado el diseño.

### 5.1 DISEÑO FÍSICO

#### 5.1.1 Arquitectura UMTS

**UMTS** es el estándar que se utiliza en las tecnologías de tercera generación. En otros apartados de esta memoria se hará referencia a este estándar con lo cual se ha creído conveniente hacer una descripción de la arquitectura de esta tecnología.

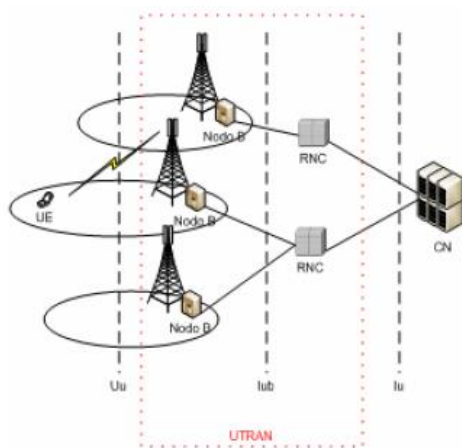


Ilustración 3: Arquitectura UMTS

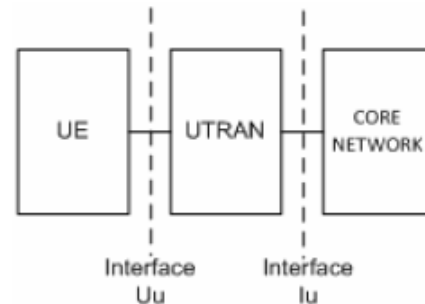


Ilustración 2: Elementos de UMTS

UMTS describe una arquitectura en la cual aparecen tres elementos principales; el **equipo de usuario** (UE), **UTRAN** y la **red central**. Dicho esquema se presenta en la figura superior. La interfaz radio Uu se encuentra entre el UE y la red UTRAN, y entre esta y la red central (CN) se encuentra la interfaz Iu. Cabe destacar que el acceso al medio a través de la interfaz Uu se realiza mediante **WCDMA** (multiplexación con códigos).

La UTRAN está compuesta por los **nodos B** y por los **RNCs**. Los nodos B a su vez se componen por equipos de radio y un sistema radiante. Están conectados a las estaciones controladoras, RNCs, mediante la interfaz Iub.

#### 5.1.2 Arquitectura LTE

Como también se hará referencia al estándar de 4G, LTE, a lo largo del proyecto se describe brevemente su arquitectura:

LTE sigue una arquitectura de red muy parecida a UMTS. Tiene un **equipo de usuario** (User Equipment, UE) y una infraestructura de red que se divide de forma lógica en una infraestructura de **red troncal** (Core Network, CN) y una de **red de acceso** (Access Network o E-UTRAN). E-UTRAN es la red de acceso específica para LTE y utiliza la tecnología **OFDMA** en la interfaz radio (portadoras ortogonales).



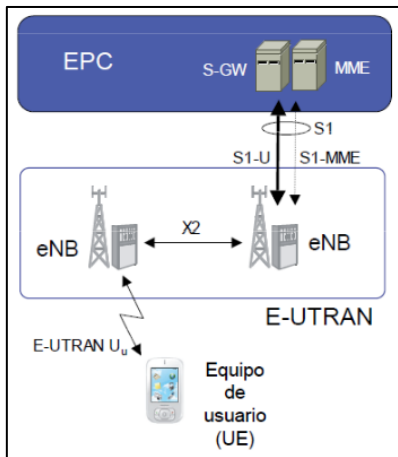


Ilustración 4: Arquitectura LTE

La red de acceso **E-UTRAN** y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP. Por un lado, el servicio de transferencia de paquetes IP ofrecido por la red LTE entre el equipo de usuario y una red externa se denomina servicio portador **EPS** (EPS Bearer Service). Por otro lado, la parte del servicio de transferencia de paquetes que proporciona la red de acceso E-UTRAN se denomina E-UTRAN Radio Access Bearer (**ERAB**).

E-UTRAN se compone únicamente por una entidad de red denominada **evolved NodeB** (eNodeB) que constituye la estación base. De esta manera, la estación base E-UTRAN integra todas las funcionalidades de la red de acceso, a diferencia de GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS, NodoB) y equipos controladores (BSC y RNC).

Además, existe una interfaz denominada **X2** a través de la cual los eNodos están conectados y se comunican entre sí.

### 5.1.3 Sistema radiante

Por un lado, se denomina **emplazamiento** al lugar donde los operadores instalan su infraestructura. Cuando más de un operador comparte el mismo emplazamiento se denomina: **RAN SHARING**. Hay emplazamientos del tipo:

- **Rural:** se utiliza una torre para colocar las parábolas y las antenas. El suministro viene directamente de las líneas de tensión y llega a través de acometidas eléctricas a la caseta
- **Urbano:** sobre edificios, por su altura tenemos visibilidad directa con el extremo remoto y no existen problemas de obstáculos. En la azotea se coloca la caseta donde se encuentran los equipos del radioenlace.
  - Dentro de este último tipo podemos distinguir una **subcategoría: emplazamiento suburbano**, bajo tierra. Correspondiente a garajes, túneles, líneas de metro y cercanías. El proyecto se centra exclusivamente en este tipo de emplazamientos.

Por otro lado, el SSRR (**Sistema Radiante**) de un emplazamiento, se compone los diferentes elementos existentes entre el NODEB y la antena, incluyendo ésta. En la siguiente figura se muestran algunos de ellos:

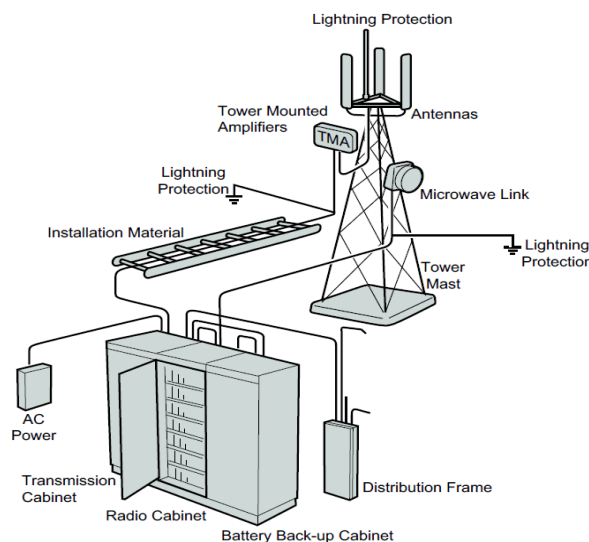


Ilustración 5: Elementos de un emplazamiento

### 5.1.3.1 Antenas

En cada estación base se construye un **sistema de antenas** transmisoras/receptoras. La característica principal de una antena es su ganancia. Las ganancias de las antenas habituales en las estaciones oscilan entre 14-18dBi. Y las de los terminales de usuario 0-1dB.

Se pueden clasificar en base a diferentes características:

#### Por patrón de radiación:

- **Omnidireccionales:** patrón de radiación uniforme respecto al plano horizontal (misma ganancia en todas las direcciones). En cambio, en el plano vertical el patrón está concentrado: Tienen ganancias de alrededor de 9dBi y altura típica de 3m. Se pueden clasificar a su vez en outdoor e indoor. Para nuestro proyecto nos interesarán más las **indoor** que se suelen usar para cobertura interior, como los centros comerciales, estaciones y garajes.

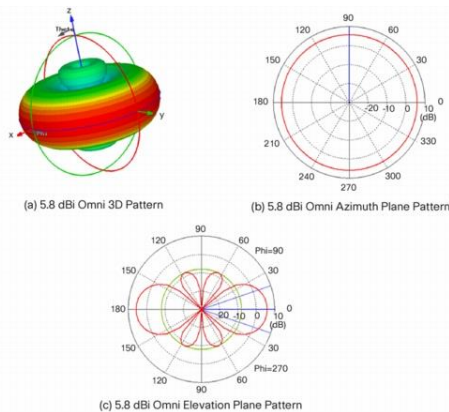


Ilustración 7: Antena indoor omni

Ilustración 6: Diagrama de una antena indoor

- **Unidireccionales:** no siguen un patrón uniforme para ninguno de los planos. La mayor parte de potencia se concentra en una única dirección. Las ganancias típicas de este tipo de antenas suelen ser del rango de 9-17 dBi.

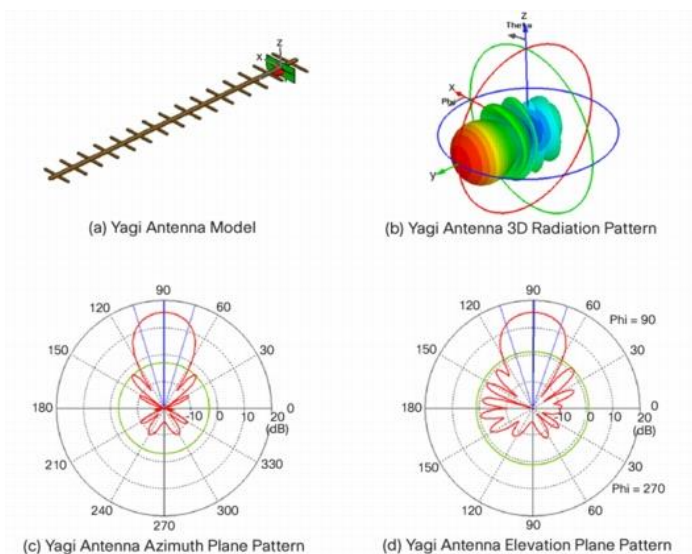


Ilustración 8: Diagrama de una antena yagi

Ilustración 9: Antena de panel

En telefonía móvil se usan las denominadas **antenas de Panel**, y suelen ser de forma rectangular. Se adaptan bien a esta tecnología debido a su ancho de haz de unos 65° y a la topología de red hexagonal. Una típica antena de este tipo sería la que aparece en la imagen superior derecha.

- **Sistemas multi-antena:** utilizan **más de una antena** para crear un patrón de radiación en conjunto. Una de las aplicaciones más sencillas de este tipo son sistemas con **dos antenas direccionales** que se montan apuntando cada una a una dirección unidas a un splitter de potencia y construyendo la misma celda lógica. El uso más común de este tipo de sistemas es en carreteras, donde sitúan antenas sectoriales en direcciones opuestas, radiando la misma celda en ambas. En interiores se llama **DAS** (distributed antenna system). Es una manera de lidiar con entornos cerrados a los que no llega buena cobertura, como interiores de edificios. Se distribuyen diversas antenas pequeñas que sirven de repetidores de la señal. Para este proyecto es interesante este sistema ya que puede aplicarse a líneas de tren de cercanías, tanto en los túneles como en las estaciones y andenes. Más adelante en el proyecto se detallarán y se diseñarán este tipo de sistemas.

#### Por bandas de frecuencia:

En función de número de bandas que soportan, las antenas pueden ser:

- **Monobanda:** Solo se pueden utilizar para transmitir y recibir en una única banda.
- **Duales:** Antenas que son capaces de emitir y transmitir en dos bandas.
- **Tribanda:** Antenas que soportan 3 bandas de frecuencias. Por ejemplo, 900MHz, 1800MHz y 2100MHz.
- **Cuatribanda:** Son antenas que permiten utilizar cuatro bandas de frecuencias. Sobre todo se usan en proyectos de LTE2600.

En base a número de bandas que acepte la antena, llevará un número de bocas:



*Ilustración 10: Bocas de una antena de panel*

#### Por beamwidth:

El **Beamwidth** o la apertura del haz es otra de las características que se debe de tener en cuenta a la hora de seleccionar un tipo de antena u otro. Se trata del ángulo entre los dos puntos del patrón en los cuales la potencia radiada pasa a ser 3db inferior a la potencia máxima que se radia en la dirección principal.

La anchura del haz **horizontal** de las antenas varía entre 65º y 90º normalmente y el **vertical** interesa que sea la más estrecha posible para que no se pierda la potencia hacia zonas en las cuales no vaya a haber

usuarios conectados. Para adaptar la orientación del haz se suele inclinar la antena físicamente (*downtilt mecánico*) o inclinar el haz eléctricamente (*downtilt eléctrico*).

El **tilt mecánico** (Fixed down tilt angle) es la inclinación física de la antena. En el caso de **tilt eléctrico** (Adjustable electrical down tilt angle), se modifica el patrón de radiación para conseguir la inclinación del haz. Para ello se cambian las características de la fase de señal de cada elemento de la antena. Este ajuste puede ser manual o remoto, el último caso se conoce como '**RET**' (Remote Electrical Tilt).

– **Downtilt total = downtilt eléctrico + downtilt mecánico**

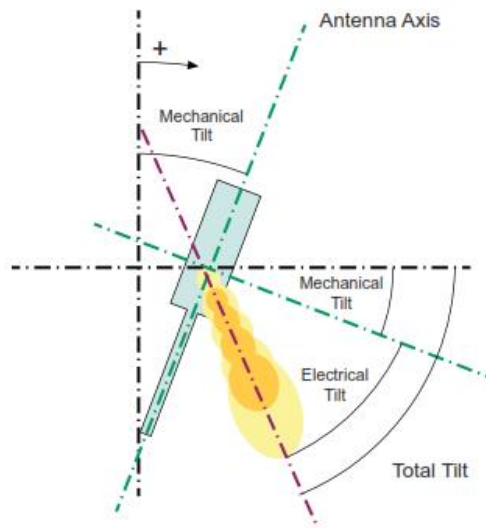


Ilustración 11: TILT eléctrico y mecánico

### 5.1.3.2 Feeders y conectores

En las estaciones base de redes móviles se usan múltiples **elementos de conexión**: desde feeders coaxiales, conectores, jumpers (latiguillos), protecciones hasta fibra óptica.

- **Feeder de cable coaxial**: Se compone de dos conductores concéntricos, uno central, llamado núcleo, encargado de llevar la información, y uno exterior, llamado malla, blindaje o trenza, que sirve como referencia de tierra y retorno de las corrientes.

El núcleo es básicamente un hilo de cobre que se encarga de llevar la información y que está envuelto (además de la malla) por un aislante interior y una cubierta externa hecha de plástico, teflón o goma, que no tiene capacidad de conducción. En la estación base se suelen utilizar cables coaxiales de distintos grosores para llevar la señal. Las dimensiones más típicas son las siguientes; 1/2", 7/8", 1 1/4" y 1 5/8".

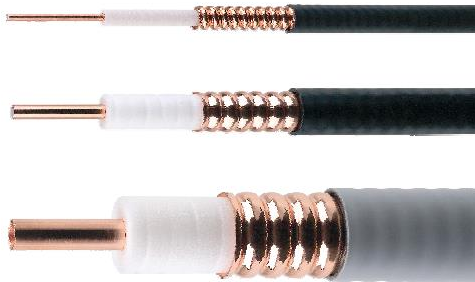


Ilustración 13: Feeders delgados

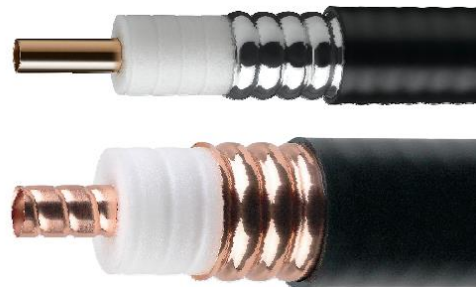


Ilustración 12: Feeders gruesos

- **Feeder de fibra óptica:** Compuesto por 3 partes principales: core, cladding (revestimiento) y el buffer (protector externo). El revestimiento guía la luz que se transporta en el core mediante la metodología de reflejos internos. El core y el revestimiento tienen menor índice de refracción. El material puede ser silica glass o plástico.

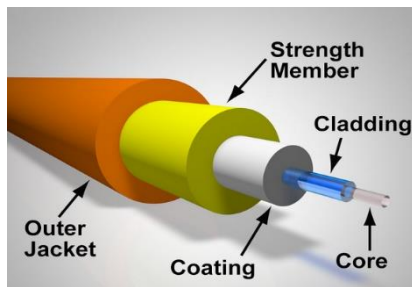


Ilustración 14: Elementos de la FO

Existen dos tipos de fibra, la “**Single mode**”, con un núcleo menor que 10 micrometros, que requiere componentes y métodos de interconexión mucho más caros. Sin embargo, los enlaces que se consiguen son más largos y de capacidad más alta. Y la “**Multi mode**”, que tiene un núcleo mayor o igual a 50 micrometros, esto permite conectar transmisores y receptores menos precisos además de conectores más baratos.

Los típicos escenarios de uso para la fibra óptica son en estaciones base donde se quiere **maximizar la calidad de señal** de una tecnología en concreto que llega a la antena. Aunque también es posible utilizarla en estaciones donde hay **poco espacio** para la instalación o en instalaciones donde queremos llevar la señal a **repetidores mediante fibra óptica**. (Es una opción a tener en cuenta en nuestro proyecto)

- **Conectores RF:** Los conectores de RF permiten la interconexión entre distintos elementos de radiofrecuencia y se intenta que tengan las menores pérdidas posibles. Son resistentes al agua y se pueden usar en el exterior. El comportamiento ante la reflexión de los conectores coaxiales se puede describir mediante los valores Factor de Reflexión, Coeficiente de Reflexión o VSWR. Algunos conectores utilizados en las instalaciones de RF son:
  - **Conector tipo N:** hasta 11 GHz en 50 ohmios de impedancia.
  - **Conector series 7-16:** son los conectores más comunes para feeders de 1/2" y 7/8" en antenas de estaciones base de LTE y WCDMA.
  - **Conector series 4.3-10:** especialmente desarrollado para aplicaciones de radio móvil.
  - **Conector BCN:** es el conector más común para cables coaxiales. Disponible en 50 y 75 ohmios. Los de 50 ohmios pueden operar hasta 4 GHz.
  - **Conector FME:** Estándar de 50 ohmios. Algo más pequeño. Bueno de 0 a 2GHz.
  - **Conector de fibra óptica**

### 5.1.3.3 Amplificadores

El **objetivo** del uso de amplificadores en las estaciones base es compensar las pérdidas a lo largo del sistema radiante. Se colocan lo más cerca posible de las antenas y consiguen tanto **amplificar** la señal recibida en el punto inicial como **mejorar la sensibilidad** del UpLink y minimizar la figura del ruido (NF). Si mejora el UpLink también mejora la cobertura ya que los UE necesitan menos potencia para transmitir, y por consiguiente ahorran batería.

Uno de los amplificadores más frecuentemente utilizados en las estaciones es el **Tower Mounted Amplifier** o **Mast Head Amplifier** (TMA). Es un amplificador de bajo ruido (LNA) que se monta lo más cercano a la antena debido a que la figura de ruido total depende en gran medida de la figura de ruido del primer elemento de la cadena.

Los TMAs se usan en Comunicaciones móviles para **mejorar la sensibilidad** de la antena situada en el mástil cuando actúa como receptora, es decir, en el UpLink. Ya que los transmisores de los teléfonos móviles no se pueden modificar fácilmente para que transmitan señales más fuertes (tienen pocas prestaciones). Es único por sector y suele tener las siguientes características:



Ilustración 15: TMA

Frequency Bands	PMR, TETRA, IDEN, CDMA GSM900/1800, WCDMA, LTE	Gain	5 - 20 dB step 1dB
	For other frequency band variations, contact your dealer of the manufacturer	Power Supply	12 VDC or Customized
Maximum Output Power	40 watt - 100 watt	RF Connector	Din 7/16" or Customized
		Optical connectors	NA

Tabla 1: Características de un TMA típico

#### 5.1.3.4 Combinadores y diplexores/triplexores

Se usan en las etapas de **combinación**, cuando tenemos **señales** de **diferentes** tecnologías, diferentes bandas de frecuencias o diferentes operadores.

- **Diplexores/triplexores:** Especialmente para uso en sistemas multibanda. Posibilitan apilar más de un transmisor en un único RF a antena y son adecuados para instalaciones con problemas de espacio o sobrecarga. Gracias a ellos se consigue más de una frecuencia en el feeder o más de una frecuencia en la misma boca de antena. En recepción separan las diferentes bandas de frecuencia a sus correspondientes feeders TX/RX. Funcionan en base a **filtros de banda**.

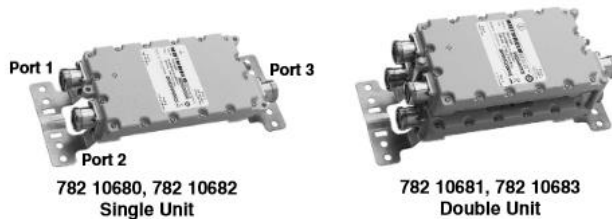


Ilustración 17: Diplexor simple y doble

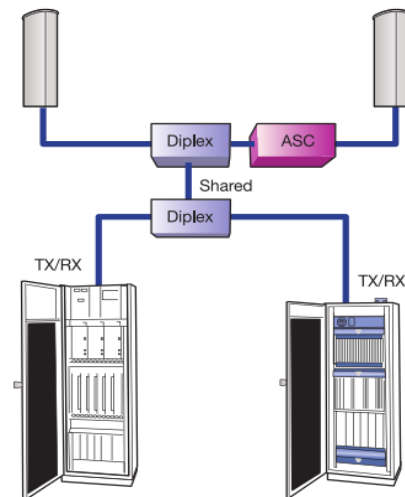


Ilustración 16: Diagrama de uso de un diplexor

- **Combinadores:** Las estaciones base son propiedad de un operador, pero muchas veces se comparten. La mayoría de las veces además de compartir la estación se comparte el SSRR. Para que dos o más operadores hagan uso del mismo SSRR se usan combinadores de señal, los cuales combinan las señales de la misma banda de frecuencia de los diferentes operadores. Existen dos tipos de combinadores. Por un lado, los de **cavidad** que cuentan con una mayor separación entre las frecuencias de TX aunque con menores pérdidas (<0.5dB). Por otro lado, los híbridos con una separación menor entre frecuencias, pero con mayores pérdidas (>3dB).

- **Splitters:** Divisores de señal (potencia). Una **entrada entre dos o más salidas**, máximo cuatro. Se usan en sistemas multi-antena. Los más comunes se presentan en la tabla 2:

Tipo	Pérdidas (dB)
Divisores 1:2	3
Divisores 1:3	4,7

Tabla 2: Tipos de splitters

#### 5.1.4 Nodo

El nodo está compuesto por los **equipos radio** de cada operador. Dependiendo de la banda de frecuencia, capacidad deseada o tecnología se escogerán unos u otros equipos. Algunos nodos permiten integrar equipos de tecnologías diferentes e incluso es posible **compartir los equipos** si se usan las mismas frecuencias (por ejemplo; GSM900+UMTS900 en mix-mode).

La mayoría de los componentes que vamos a describir son propios del vendor **Ericsson**. Esto es debido a que la documentación interna ha sido proporcionada por una empresa colaboradora con este vendor. De todas formas, los equipos no difieren mucho con los de otras marcas (véase Huawei o Nokia). Los nodos normalmente están compuestos por el siguiente equipo **hardware**:

- **Cabinet**
- **Equipos radio** (DUs y RUs)
- Sensor contra incendios
- Baterías
- Sistema de refrigeración
- Panel eléctrico y rectificador
- Generador backup
- Panel de alarmas
- Protección a tierra anti rayos

##### 5.1.4.1 Cabinet

En este proyecto también las denominaremos **RBS (Radio Base Station)**, es como las llama Ericsson. La cabinet incluye los elementos necesarios para la transmisión y recepción de señales RF de las tecnologías 3GPP (GSM/WCDMA/LTE). En la cabinet **se montan los equipos** necesarios para la transmisión radio que se describirán a continuación (radio units, digital units, etc). Dependiendo de cómo sea la RBS se podrán montar unos equipos u otros. Las funcionalidades de una RBS son:

- Asignar recursos de radio
- Procesado de señal
- Mantenimiento de la señalización de los distintos canales
- Sincronización mediante PCM o GPS
- Puede realizar un auto-mantenimiento a un nivel local
- Supervisión y prueba de los equipos contenidos en la RBS

Las RBS también se pueden clasificar en función de **diversos criterios**. Uno de estos criterios puede ser su tamaño físico (grande, pequeño). Otros criterios son la posibilidad de trabajar con una o más bandas de frecuencia específicas o el tamaño de la celda a la que dará servicio (pico, micro, macro). A continuación, en la Ilustración 19, se muestran algunas cabinets del vendor Ericsson.

### Algunas RBS de Ericsson:



*Ilustración 18: RBS de Ericsson más utilizadas*

#### 5.1.4.2 Digital Unit

La DU se encarga del **switching, control del tráfico, asignación de tiempos y recursos**, procesado en **banda base** y control de la **interfaz de radio**. Para cada tecnología que queramos implementar tendremos que instalar al menos una unidad digital, pudiendo conectar varias en paralelo para conseguir mayor capacidad. Para WCDMA se llama **DUW**, para LTE se llama **DUL** y la versión de LTE+GSM se llama **DUS**. En otros apartados de este proyecto se analizarán diferentes tipos de DUs y se seleccionarán los más adecuados en función de sus características y las necesidades del entorno.



*Ilustración 19: Digital Unit*

#### 5.1.4.3 Radio Unit

El objetivo principal de la **RU** es enviar y recibir señales RF. La RU recibe datos en **formato digital** y los convierte en señales **RF analógicas**. Por otro lado, también recibe señales analógicas captadas por la antena que transforma en digitales. Por lo general se instalarán lo más cerca posible de las antenas, aunque también pueden ir integradas en la propia RBS. Las RUs solo soportan Frequency-Division Duplex (FDD). También existen unidades de radio remotas. Se las conoce como **RRUs**:

Las RRU's soportan la instalación de los siguientes amplificadores y controladores remotos:

- Antenna System Controller (ASC)
- Tower Mounted Amplifier (TMA)
- Frequency Shifting Tower Mounted Amplifier (TMF)
- Remote Electrical Tilt Unit (RET)



*Ilustración 20: Radio Unit*

Su conexión con las digital units pueden ser en **cascada** o en **estrella** con cables de fibra óptica. El uso de este tipo de cables extiende el alcance de la RBS **hasta 40km**. Algunas radio unit tienen hasta dos ramas dúplex de RX/TX que posibilitan diversidad en las antenas, siempre y cuando éstas tengan más de una boca.



#### 5.1.4.4 Equipamiento adicional

- **SIU:** Es el equipo Ericsson encargado de integrar el tráfico GSM, WCDMA y LTE, encapsulándolo sobre IP, y/o tráfico de LAN (Local Area Network) en una o dos interfaces WAN (Wide Area Network): WAN y WAN\_LTE. Estas interfaces sacan todo el tráfico de la SIU montándolo sobre un soporte físico que puede ser E1, fibra óptica, Ethernet

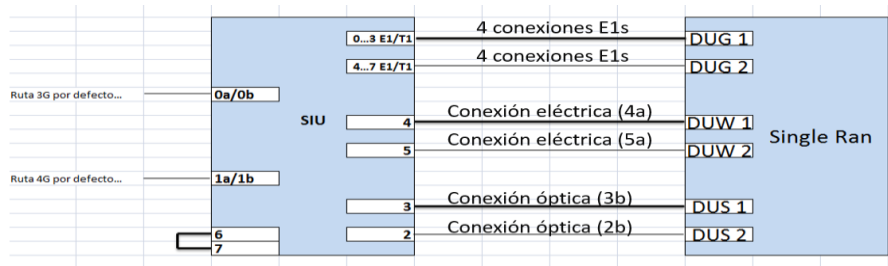


Ilustración 21: Esquema de conexión de una SIU

- **XMU:** Posibilita conectar más RUs en Digital Units con puertos limitados (amplía el límite).

#### 5.1.4.5 Esquema general del nodo más el sistema radiante

A continuación, se presenta un esquema de como quedan integrados todos los elementos de un nodo. También se puede ver su coexistencia con el sistema radiante:

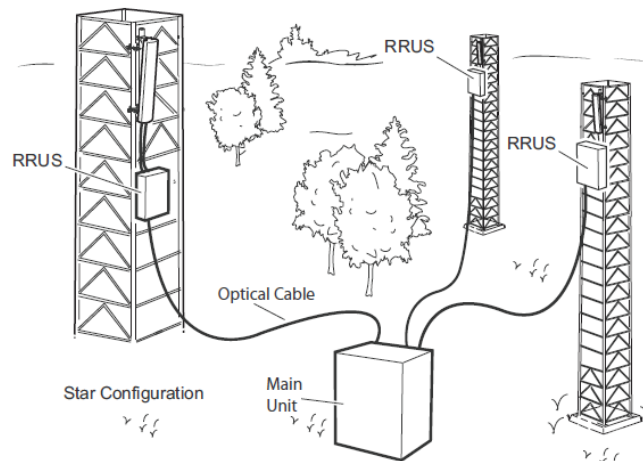


Ilustración 22: Nodo más sistema radiante

La imagen muestra la **cabinet** del nodo donde se encontraría el panel eléctrico, sensores, main unit (compuesta por **digital units**) y otros. Las **RRUS** están conectadas a las digital unit en este caso en estrella mediante fibra óptica. A su vez, estas unidades proporcionan las señales RF al **sistema radiante** (feeders y antenas) y viceversa. También habría que incorporar el enlace de transmisión (ver Anexo A).

## 5.2 DISEÑO LÓGICO

### 5.2.1 Operadores y tecnologías

En un emplazamiento, son los equipos de radio los encargados de **procesar las señales y transmitir las** al sistema radiante. Lo mismo ocurre en la otra dirección, procesan las señales provenientes del SSRR. Además, como hemos explicado en el diseño físico estos equipos tienen una interfaz que comunica con las estaciones controladoras.

Debido a las limitaciones de espacio que existen en los emplazamientos, los operadores optan en muchas ocasiones por compartir el sistema radiante. Cada uno de los operadores tendrá sus propios equipos de radio en el site, dependiendo de las tecnologías y bandas de frecuencia que quiera instalar. Como los entornos suburbanos son reducidos y limitados en espacio en este proyecto supondremos que el/los **sites son compartidos** por varios operadores.

Cada tecnología a su vez tiene distintas bandas de frecuencias que se pueden utilizar. A los operadores se les asignan **bloques de frecuencias** dentro de las diferentes bandas y ellos eligen como quieren utilizarlas. En este proyecto se propone diseñar una red compatible tanto para 3G (UMTS) como 4G (LTE). En la siguiente tabla se muestran las bandas disponibles para estas tecnologías. Nosotros las que vamos a utilizar son 900 y 1800 (bandas 8 y 3). La justificación de porque en metro y cercanías usamos estas bandas se encuentra en la parte correspondiente al desarrollo del proyecto.

Tecnología	Uplink	Downlink
<b>UMTS 900 (band 8)</b>	880 - 915 MHz	925 - 960 MHz
<b>UMTS 2100 (band 1)</b>	1920 - 1980 MHz	2110 - 2170 MHz
<b>LTE 2100 (band 1)</b>	1920 - 1980 MHz	2110 - 2170 MHz
<b>LTE 1800 (band 3)</b>	1710 - 1785 MHz	1805 - 1880 MHz
<b>LTE 2600 (band 7)</b>	2500 - 2570 MHz	2620 - 2690 MHz
<b>LTE 800 (band 20)</b>	832 - 862 MHz	791 - 821 MHz

Tabla 3: Bandas UMTS y LTE

Dentro de estas bandas existen diferentes portadoras. Por ejemplo, en Orange para las bandas de LTE y UMTS son las siguientes:

Tecnología	BW (MHz)	EarfcndI
<b>UMTS 900 (Band 8)</b>	5	2959
<b>UMTS 2100 (band1)</b>	F1	10688
	F2	10663
	F3	10638
<b>LTE 2100 (band 1)</b>	5	18176
<b>LTE 2100 (band 1)</b>	10	18201
<b>LTE 2100 (band 1)</b>	15	18226
<b>LTE 800 (band 20)</b>	10	6200
<b>LTE 1800 (band 3)</b>	10	1899
<b>LTE 1800 (band 3)</b>	15	1874
<b>LTE 1800 (band 3)</b>	20	1849
<b>LTE 2600 (band 7)</b>	20	3050

Tabla 4: EarfcndI de OSP para LTE y UMTS

Una vez seleccionado **operador y tecnología** otro dato importante son las características del equipo. Es decir; la potencia de la que disponemos a la hora de diseñar el sistema radiante y otros parámetros. En

este apartado no vamos a elegir cada uno de los equipos a implantar, pero una tabla ejemplo de operadores y tecnologías compartidos en un site podría ser la siguiente:

Operador	Tecnología	Fabricante	Equipo
Orange	UMTS2100	ERICSSON	-----
	LTE1800	ERICSSON	-----
Vodafone	UMTS2100	HUAWEI	-----
	LTE1800	HUAWEI	-----
Movistar	UMTS2100	NOKIA	-----
	LTE1800	NOKIA	-----

Tabla 5: Ejemplo de equipos por operador en un site

### 5.2.2 Sectorización

Normalmente en un emplazamiento para dar cobertura se suele usar un sistema **trisectorial**. Cada uno de los sectores cubre una dirección diferente. De esta manera se intenta que la señal se propague “uniformemente” en los 360º. En el caso de metro y cercanías es algo diferente, ya que solo tenemos **dos direcciones posibles**. Además, la geometría del túnel normalmente favorece a la propagación de la señal. Dependiendo de la capacidad de los equipos de radio, y del estudio de tráfico aproximado que hayan realizado los operadores, podremos dar servicio a un número determinado de estaciones por celda. A una misma celda se le pueden conectar **varios repetidores ópticos**. Con esto conseguiremos que la señal RF proveniente de la sala de equipos no se degrade en el tránsito hasta las otras estaciones. En el desarrollo del proyecto realizaremos los cálculos de dimensionamiento, pero un valor aproximado son 4 estaciones por celda (radio unit), lo que significa que con tres sectores podríamos dar cobertura a unas 9-12 estaciones de metro:

Tabla ejemplo:

EMPLAZAMIENTO	SECTOR	TIPO DE EQUIPO
Estación 1	1	Repetidor Óptico
Estación 2	1	Repetidor Óptico
Estación 0 (Central)	1	Nodo B (UMTS) / eNodo B (LTE)
Estación 3	1	Repetidor Óptico
Estación 4	2	Repetidor Óptico
Estación 5	2	Repetidor Óptico
Estación 6	2	Repetidor Óptico
Estación 7	3	Repetidor Óptico
Estación 8	3	Repetidor Óptico
Estación 9	3	Repetidor Óptico
Estación 10	3	Repetidor Óptico

Tabla 6: Ejemplo de sectorización

Fijándonos en el ejemplo de la tabla superior, en la estación central estaría instalada la sala de equipos. Se daría cobertura a esa misma estación con la RUs del sector 1. Se instalarían repetidores ópticos en las estaciones restantes de manera que las estaciones 1-3 quedarían en el primer sector, las 4-6 en el segundo y las 7-10 en el tercero.

Para cercanías, necesitaremos **repetidores extra en medio de los túneles**, ya que las distancias entre estaciones son más largas. Esto supone que con una estación base podremos dar cobertura a un menor número de estaciones. Con los cálculos realizados en el apartado “**Balance del Enlace**” determinaremos este número basándonos en la distancia entre estaciones y la **distancia máxima** entre repetidores para garantizar un buen nivel de señal.

El motivo de realizar una distribución como la de la tabla ejemplo es dar **continuidad**. Las estaciones pertenecientes al mismo sector se suceden de forma consecutiva de manera que minimizamos los cambios de celda, y por consiguiente las operaciones de traspaso de llamada (handovers). Uno de los problemas en los viajes de tren es el alto número de usuarios y la velocidad de este. Este hecho aumenta el riesgo de producirse **cortes en las llamadas** (drop). Como no es posible minimizar el número de

**handovers**, trataremos de minimizar los puntos donde estos se producen. Los handovers se realizarán en los puntos intermedios de túneles que conectan estaciones de celdas diferentes, ya sean pertenecientes al mismo o diferente nodo.

### 5.2.2.1 Celdas físicas, concepto de celda compuesta y diversidad

El objetivo generalmente es reducir el número de handovers a lo largo de la línea de cercanías/metro, como acabamos de explicar. Esto se traduce en una mejora del rendimiento del sistema. Para conseguirlo se introduce el concepto de **celda compuesta**. Este tipo de celda hace uso de dos antenas **direccionales** para cada estación base o repetidor. Cada antena apunta en una dirección diferente de manera que se cubre la vía reduciendo el número de handovers. También se suele usar en carreteras. Ambas antenas se combinarán por medio de un divisor de potencia y se conectarán a los mismos transmisores receptores.

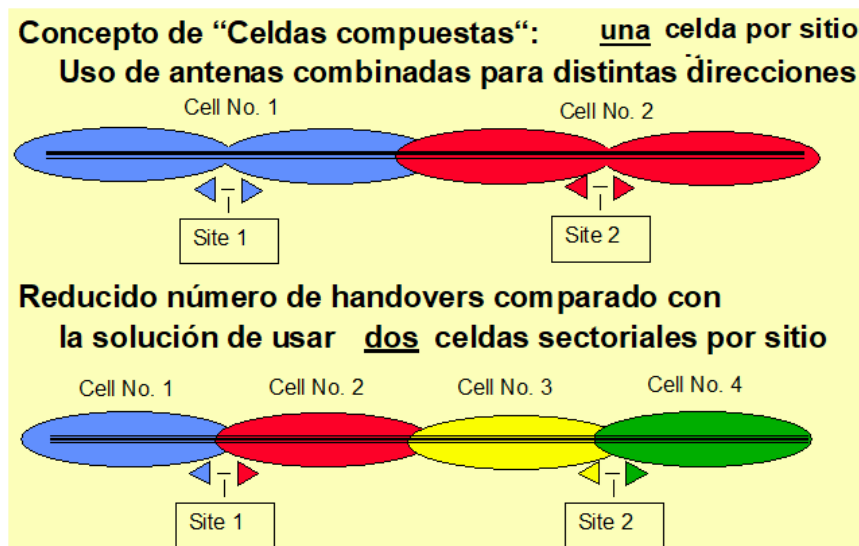


Ilustración 23: Concepto de celda compuesta

Como **caso particular** de un proyecto de cercanías, tendremos la necesidad de cubrir túneles en ambos sentidos y de longitud considerable. Esta característica del entorno supondrá la utilización de espacios habilitados tanto en los andenes (una antena apuntando a cada boca del túnel) como en tramos de túnel entre dos estaciones (cada antena apuntando en una dirección).

En muchos proyectos de redes móviles se suele usar **diversidad** tanto en transmisión como en recepción. Es decir, la antena se polariza con dos polarizaciones diferentes, lo que mejora la señal del uplink y el downlink. La polarización que se suele utilizar es  $\pm 45^\circ$ . Sin embargo, este concepto no aplica en redes de metro y cercanías ya que en túneles es común usar antenas helicoidales o log-periódicas más directivas con **solo un tipo de polarización**.

### 5.2.3 Handovers

En líneas generales, existen dos tipos de handover, el **duro** (Hard Handover) y el **suave** (Soft Handover). En el HO duro, se requiere que el usuario interrumpa la conexión con la celda en servicio para reconectarse a la celda objetivo. Por un lado, este tipo de HO son menos complejos e introducen menos demora, sin embargo, el coste es el tiempo de interrupción. Por otro lado, los soft handover mantienen al UE siempre conectado, aunque es necesario un proceso de señalización complejo. Además de funcionalidades extra: listas de celdas activas, algoritmos de gestión y evaluación, etc...

#### 5.2.3.1 LTE

LTE es un estándar de cuarta generación. Este estándar es diferente a las tecnologías de tercera generación (o sus antecesoras) en lo que respecta a la transmisión de voz, ya que utiliza la conmutación de **paquetes** en lugar de la conmutación de circuitos para este servicio. El objetivo principal de LTE es

brindar una tasa alta de transmisión de datos, así como una latencia muy baja en lo referente a términos de establecimiento de conexión y traspaso.

Es por esto por lo que en LTE se hace uso del handover duro, el cual a su vez está dividido en otras subcategorías dependiendo de si se realiza entre dos tecnologías iguales o diferentes. Así, existe HO **intra-LTE e inter-RAT**. El primero hace referencia a traspasos en los que la estación base destino y la objetivo pertenecen a LTE, y el segundo hace referencia al traspaso en el cual la estación origen sí es de LTE pero la objetivo pertenece a una tecnología que no es LTE. Además, el HO intra-LTE se puede subdividir en intra-frecuencia e inter-frecuencia dependiendo de si la celda objetivo se encuentra en la misma frecuencia o no.

También puede subdividirse dependiendo de la **interfaz** que es utilizada para el intercambio de los mensajes de señalización durante la fase de preparación de HO. El handover basado la interfaz X2 es menos complejo y está optimizado para tráfico en tiempo real. Sin embargo, también existe el HO basado en S1 para cuando la interfaz X2 no puede ser utilizada.

#### Parámetros de evaluación:

En LTE existen dos parámetros significativos que definen a una señal. Por un lado el **RSRP**, que determina la potencia recibida de la señal de referencia. Y por otro lado el **RSRQ**, que es la calidad recibida de la señal de referencia. Un handover puede ser lanzado tanto por potencia como por calidad. Con la capacidad de procesamiento que tienen los terminales móviles modernos es posible evaluar estos parámetros y reportarlos al enodo solo cuando exista una degradación importante. Es lo que se conoce como un evento. Esto permite un ahorro importante de tráfico ya que no se reportan datos cuando el usuario tiene una buena cobertura.

#### Tiempo de interrupción:

Vamos a definir el tiempo de interrupción como el siguiente proceso. Comienza cuando el usuario sale del último intervalo **TTI** (Transmission Time Interval). En este último intervalo la celda en servicio enviará al UE a través del canal físico compartido (PDSCH) un comando de ejecución del handover usando el protocolo RRC. El tiempo de interrupción acabará una vez el usuario inicia la transmisión en el nuevo canal físico de acceso aleatorio (PRACH, Physical Random Access Channel) y se le asigna un canal para el tráfico de datos con la celda destino. Este tiempo vendrá dado por la ecuación:

$$T_{int} = T_{busq} + T_{IU}$$

donde:

**Tbusq:** tiempo necesario para encontrar la celda objetivo y

**TIU:** tiempo de incertidumbre en encontrar el primer PRACH disponible en la nueva celda.

El tiempo de incertidumbre puede ser de 30 ms máximo. El tiempo de búsqueda normalmente lo consideraríamos 0 ms ya que la celda objetivo ha sido medida por el UE antes de realizar el HO. De manera que sumando ambos tiempos, el tiempo de interrupción total en el HO será **igual o menor que 30 ms**.

En el siguiente diagrama se muestran los mensajes de señalización y datos durante este proceso. Como se ve en la ilustración 25, mientras el UE se encuentra dentro del Tint los mensajes de la celda en servicio se redireccionan a la celda objetivo para ser retransmitidos al UE una vez establecida la comunicación.

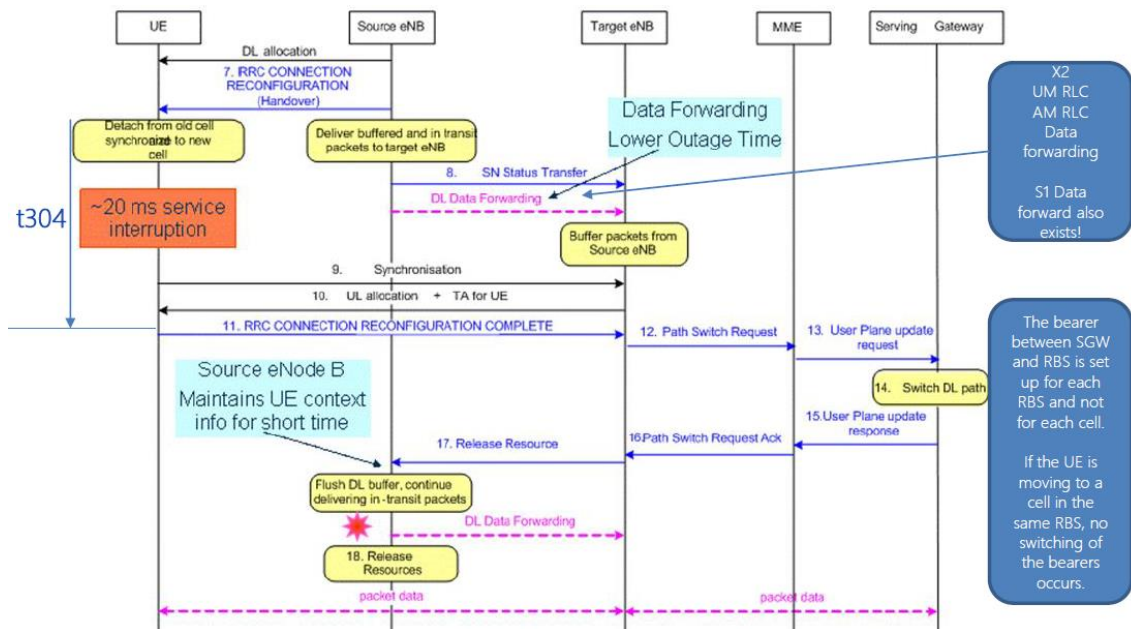


Ilustración 24: Diagrama de tiempos HO LTE

Cabe añadir que para algunos tipos de handover, como el inter-RAT, este tiempo de interrupción puede ser significativamente más grande. Esto es debido a que la llamada debe traspasarse desde una tecnología basada en conmutación de paquetes a una tecnología que hace uso de conmutación de circuitos.

Eventos disparadores:

Como hemos comentado en el apartado sobre los parámetros de evaluación, para **ahorrar tráfico** las mediciones de RSRP y RSRQ no se envían al enodo de forma periódica. Además, tampoco se toman de forma periódica las medidas inter-frecuencia e inter-RAT ya que el usuario debe desconectarse de la frecuencia portadora para adquirirlas y luego volver a sintonizarse. Por eso es necesario indicar al UE cuando debe comenzar a **evaluar** las celdas vecinas. En LTE se definen eventos para empezar el proceso de medición o de handover cuando el nivel de señal o calidad de la celda en servicio no son los apropiados. Se muestran en la tabla de la siguiente página:

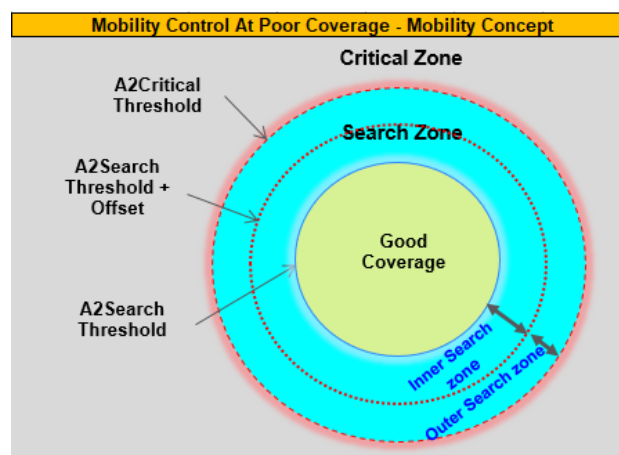


Ilustración 25: Áreas de cobertura LTE

Los eventos A1 y A2 se usan para **cancelar y disparar** las medidas inter-frecuencia e inter-RAT, respectivamente. Ambos solo consideran la celda que está dando servicio al usuario. Una vez el UE esté realizando mediciones de las vecinas, es el momento de utilizar otros **eventos** como el A3, A4, A5 o B2 (i-RAT). Estos se encargan de disparar el handover si la condición de entrada se cumple.

Tipo de evento	Condición de entrada/salida	Descripción
A1	$M_s - Hys > Thresh / M_s + Hys < Thresh$	La señal de la celda en servicio supera un umbral
A2	$M_s + Hys < Thresh / M_s - Hys > Thresh$	La señal de la celda en servicio cae por debajo de un umbral
A3	$M_n + O_n + O_{cn} - Hys > M_s + O_s + O_{cs} + Offset / M_n + O_n + O_{cn} + Hys < M_s + O_s + O_{cs} + Offset$	La señal de la celda vecina supera la señal de la celda en servicio más un <i>offset</i>
A4	$M_n + O_n + O_{cn} - Hys > Thresh / M_n + O_n + O_{cn} + Hys < Thresh$	La señal de la celda vecina supera un umbral
A5	$M_s + Hys < Thresh1 \ \& \ M_n + O_n + O_{cn} - Hys > Thresh2 / M_s - Hys > Thresh1 \ \& \ M_n + O_n + O_{cn} + Hys < Thresh2$	La señal de la celda en servicio cae por debajo de un umbral 1 y la señal de la celda vecina supera un umbral 2

Tabla 7: Eventos en HO LTE

Para LTE intra-frecuencia nosotros vamos a centrarnos en el evento A3. El **A3 compara el nivel de señal de la celda vecina con el nivel de señal de la celda en servicio**, de tal manera que no se espera a que se degrade demasiado la conexión para realizar el traspaso. Se tienen en cuenta varios parámetros adicionales: histéresis Hys, offset específico de celda Oc, offset específico de frecuencia Of.

Mientras menor sea el valor de offset + Hys más alta es la probabilidad de ocurrencia de HO y menor la probabilidad de pérdida de paquetes. Por otra parte, aunque típicamente la pérdida de paquetes tiene un mayor impacto en la calidad de servicio, que el número de HOs crezca en exceso puede provocar demoras intolerables para servicios de voz.

Si la **condición disparadora** del evento A3 se cumple, y el evento es disparado inmediatamente, el HO puede producirse innecesariamente. Es el caso de un UE que se mueve en el umbral de dos celdas vecinas. De esta manera, el UE se conectará alternadamente a ambas celdas produciéndose un efecto de rebote (o ping-pong) que empeora el throughput del sistema. Para disminuir este efecto se introduce un tiempo de disparo (Time to Trigger). Si se cumple la condición de entrada del evento durante ese tiempo, y no se cumple la condición de abandono, entonces el evento es disparado. Si el TTT es alto, entonces se tardará más tiempo en realizar el HO, pero puede ser útil para no realizar HO innecesarios. Este tiempo es configurable: los valores permisibles de TTT son 0, 40, 64, 80, 100, 128, 160, 256, 320, 480, 512, 640, 1024, 1280, 2560, 5120 en ms. En la siguiente imagen se muestra como para distintos valores de TTT el evento A3 es disparado o no.

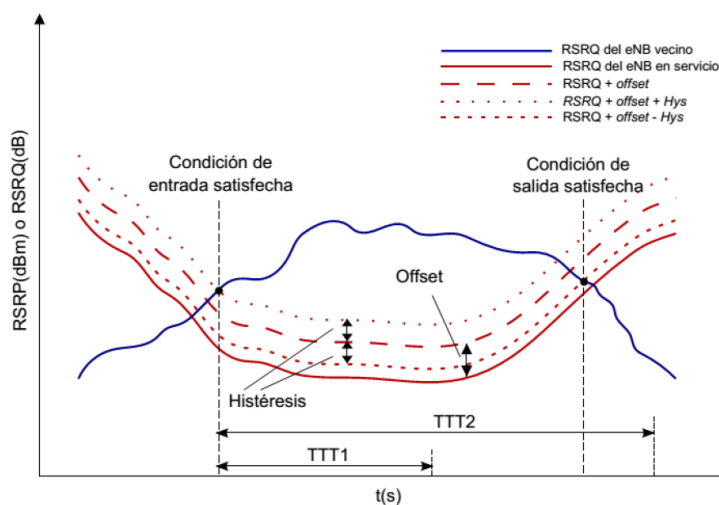


Ilustración 26: Condiciones de entrada/salida

#### Filtrado:

También cabe comentar que el parámetro RSRP o RSRQ se puede filtrar antes de ser usado. El filtrado consiste en añadir la **historia** pasada de la evaluación de manera que las fluctuaciones rápidas en el tiempo no disparen el evento de manera innecesaria.

$$F_i = (1 - a)F_{i-1} + aM_i$$

Donde  $F_i$  es el resultado del filtrado,  $F_{i-1}$  es el resultado del filtrado anterior,  $M_i$  es el último resultado de la medición, y  $a = (\frac{1}{2})^{K/4}$ .  $K$  es otro parámetro configurable. A mayor valor de  $K$  las mediciones están más afectadas por la historia que por el valor instantáneo.

#### Secuencia general de la operación de HO LTE:

Podemos resumir los pasos necesarios para la realización del handover LTE en los siguientes:

1. La RBS origen **configura los parámetros** de medición del UE
2. El **nivel de señal (RSRP) desciende** por debajo de un threshold determinado
3. La UE empieza a medir el nivel RSRP y RSRQ de las celdas vecinas **esperando a un evento A3**. Las medidas son reportadas al enodo B. También pueden ser filtradas por un filtro de capa 3
4. La RBS en servicio **analiza los eventos recibidos** y determina si un handover debe ser iniciado
  - El HO no será disparado si la o las celdas reportadas no son conocidas por la celda origen, aunque sea la celda de la cual se reciben las mejores mediciones. El enodo B mediante la funcionalidad **ANR (Automated Neighbor Relations)**, si está activa, podría incluir esta celda en su lista de relaciones de vecindad.
5. La RBS en servicio comunica a la RBS objetivo que **prepare el HO**. El traspaso puede ser aceptado o rechazado dependiendo de los recursos de la celda objetivo
6. Una vez el UE se ha enlazado correctamente el flujo de datos desde el SGW se **redirecciona a la RBS objetivo**. Se informa la RBS original en servicio que se ha realizado el HO correctamente

#### PSHO/SRVCC:

Cuando el HO se realiza entre dos celdas de diferente tecnología se denomina HO **inter-RAT**. También se suelen llamar SRVCC en el caso de un traspaso de llamada y PSHO cuando se realiza un handover de datos. En nuestro proyecto, como implantaremos tecnologías de cuarta y tercera generación tendremos ocasionalmente traspasos inter-RAT, tanto para datos como para voz. Este último tipo de HO es complejo debido a que se debe traspasar sin corte una llamada mediante voz IP (VoLTE) a una llamada mediante conmutación de circuitos. O viceversa. Los tiempos de preparación, realización, etc... son más restrictivos, lo cual influirá en los cálculos para el **solape** entre celdas.

#### 5.2.3.2 UMTS

En tecnología de tercera generación normalmente se hace uso del “soft” o “softer” handover:

- **Soft HO:** dos o más radio links de diferentes RBS involucrados en el handover
- **Softer HO:** dos o más radio links de la misma RBS involucrados en el handover

Gracias a este tipo de traspaso siempre hay un RL activo que proporciona servicio al terminal de usuario. También es verdad que cada enlace consume recursos de las celdas en servicio, es por eso por lo que el número máximo de RLs debe estar limitado. Para gestionar todo esto, se establecen listas de celdas activas y sublistas que diferencian entre el tipo de celda. Existen algoritmos de evaluación que determinan en que lista se debe incluir a cada celda que se va detectando. Las listas principales son:

- **Active set:** celdas implicadas en el soft HO y medidas por UE
- **Virtual Active set:** celdas asociadas a la frecuencia no utilizada para la evaluación inter-frecuencia
- **Monitored set:** celdas medidas por el usuario que nos son parte del Active set (intra-f, inter-f o inter-RAT)
- **Detected set:** celdas intra-f que no son medidas por el usuario



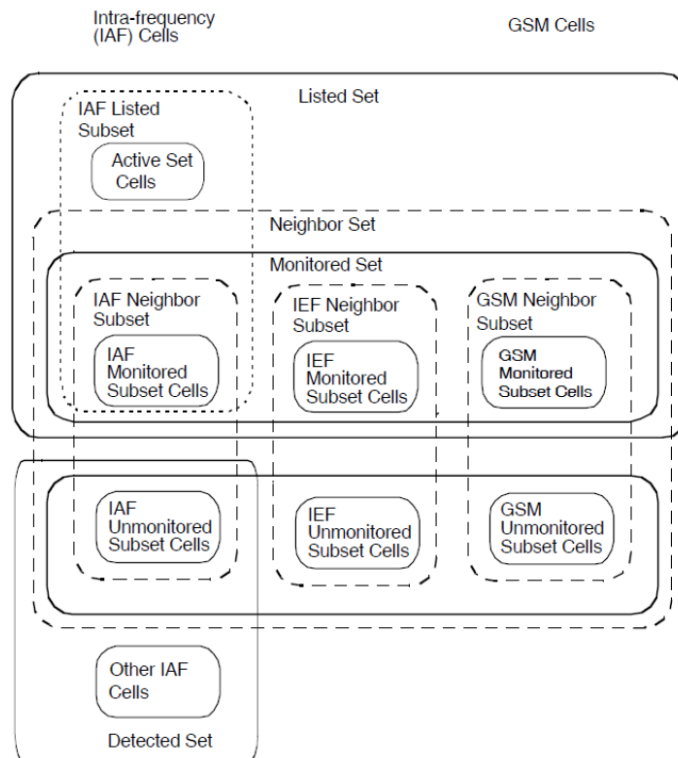


Ilustración 27: Listas y sub-listas en movilidad 3G

Al igual que en LTE existen distintos eventos con temporizadores que toman mediciones de las celdas detectadas y actualizan las listas si es necesario. La lista más importante es la Active set, ya que en ella se encuentran las celdas que dan servicio en ese momento. Cuando se recibe una nueva propuesta de AS comienza una operación que puede tener como resultado: un nuevo RL, eliminar un RL, añadir un RL y quitar otro, rechazar propuesta y mantener AS actual o liberar conexión. Además, el AS siempre debe incluir como **mínimo un RL** y no se libera nunca de manera intencionada.

#### 5.2.4 Vecindades

Gracias a los handovers es posible mantener una **llamada en curso**, por lo que es muy importante una correcta definición de las celdas vecinas. La lista de celdas vecinas consiste en una lista particular para cada celda, en la que se definen las posibles celdas con las que la primera puede realizar handover, siendo normalmente estas vecinas las más próximas a la celda en servicio.

Es trabajo de los optimizadores la correcta definición de las vecindades en una zona específica. Se deben tener en cuenta aspectos como las bandas de frecuencia de cada una de las celdas, su situación geográfica, si existe sobre alcance o no, etc.

En LTE y UMTS existen funcionalidades que ayudan con el mantenimiento de la red. Esto permite que estas redes sean más autónomas frente a como se trabajaban las vecindades anteriormente. Una de estas funcionalidades se llama **ANR** (Automated Neighbour Relations), como hemos comentado más arriba, y genera automáticamente las relaciones de vecindad en función de las necesidades de la red. Esta funcionalidad va añadiendo las celdas vecinas que el teléfono del usuario detecta, de manera que es necesario tener cuidado con el límite de vecinas (64 en total y 32 por tecnología). Los optimizadores por tanto se deberían encargar solamente de realizar una primera lista de vecindades que el ANR vaya actualizando y el trabajo de optimización debería de ser mínimo. Sin embargo, la funcionalidad también tiene algunas equivocaciones a la hora de añadir o eliminar celdas de las listas, de manera que es necesario un chequeo periódico para revisar que las relaciones creadas son útiles.

Para nuestro proyecto los pasos a seguir serían:

1. Activar **funcionalidad ANR** en los enodos
2. Creación de las **primeras listas de vecindades**: 4G-4G, 4G-3G, 3G-3G
3. Semanalmente los optimizadores realizarán un **chequeo** para eliminar las vecinas que no sean necesarias y crear las que sean útiles para cubrir zonas con mala cobertura

#### 5.2.5 Identificadores de celda

Una vez implantado un diseño de un nodo nuevo es necesario dotar a las celdas de una identificación física y lógica. Cada uno de los operadores define su código de **identificación física y única** de las celdas. Por ejemplo, en Orange a las celdas 3G se las identifica con el código de tres letras de la comunidad autónoma, seguido de una letra del bastidor, cuatro números, una letra que designa la banda de frecuencia, un número que designa el sector y una letra que designa la portadora:

*MADX6431F2A*

En el ejemplo escrito estaríamos haciendo referencia al bastidor X de la celda 6431 de Madrid, primera portadora de U900 del sector dos. Para 4G se usa una nomenclatura similar. Otros operadores como Vodafone o Movistar tienen otros códigos. El uso de un código de emplazamiento u otro no influye en la funcionalidad de este, como si lo hacen los **PCIs** y los **Scrambling Codes**.

En tecnología de tercera generación se le asigna a cada celda un identificador llamado **“Scrambling Code”**. En **3G** se utiliza CDMA, de manera que se define el SC como el código que usará el usuario para el acceso al medio en esa celda. Estos códigos son **limitados**, de manera que para hacer una asignación correcta del SCs tendremos que analizar las estaciones del entorno que tengan integrada tecnología UMTS. Se intentará que estaciones con el mismo SC estén lo más separadas posibles. En las relaciones de vecindad se usa también el Scrambling Code para identificar las señales procedentes de cada celda. Por estos motivos es importante realizar un análisis completo de los sites existentes en un entorno a la hora de adjudicar un SC a una nueva implementación.

En **LTE** el concepto homólogo se llama PCI, **“Physical Cell Identifier”**. En este caso el identificador hace referencia a las señales de referencia primaria (PSS) y secundaria (SSS). Existen 504 valores diferentes. Al igual que en 3G, una planificación adecuada de los PCIs es necesaria para evitar colisiones y para el correcto funcionamiento de las relaciones de vecindad.

## 6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Como se ha mencionado en el apartado sobre los problemas específicos del diseño del proyecto, al ser un entorno suburbano aparecen ciertas dificultades para hacer llegar la señal a los usuarios. Estas dificultades pueden solventarse con un diseño apropiado que se **ajuste a las características del entorno**. Primero se hará una clasificación de los túneles y se estudiarán las **soluciones** más adecuadas.

### 6.1 CLASIFICACIÓN DE TÚNELES

Para el diseño de cobertura en los túneles hay que tener en cuenta las propiedades de los equipos **repetidores** y estaciones base, la longitud, gálibo y curvatura de los **túneles**, así como los **vanos** cortos entre túneles con el fin de minimizar el equipamiento necesario. Cada túnel tiene una geometría diferente y dependiendo de las características de éste usaremos una u otra solución. Una posible **clasificación** de los túneles puede ser en función de su **longitud**:

- **<100 metros**: no requieren cobertura especial. (basta con estaciones base situadas en el exterior).
- **100<x<500**: al menos un punto de cobertura específico (repetidor o estación base a la entrada o salida).
- **500<x<1000**: dos puntos de cobertura, desde los dos extremos o uno interior y en el exterior.
- **1000<x<2000**: al menos un elemento interior y apoyo del exterior.
- **2000<x**: repetidores internos varios.

Como en nuestro caso queremos cubrir un área extensa con varios túneles largos y varias estaciones analizaremos **soluciones** para túneles medios y largos (más de 500 metros).

### 6.2 SOLUCIONES BASADAS EN COBERTURA DESDE EL EXTERIOR

Algunas soluciones para túneles de longitud media podrían ser las siguientes. Todas ellas se basan en transmitir la señal de una **BTS situada en el exterior del túnel**. Esta señal puede ser retransmitida mediante repetidores.

Opción A:

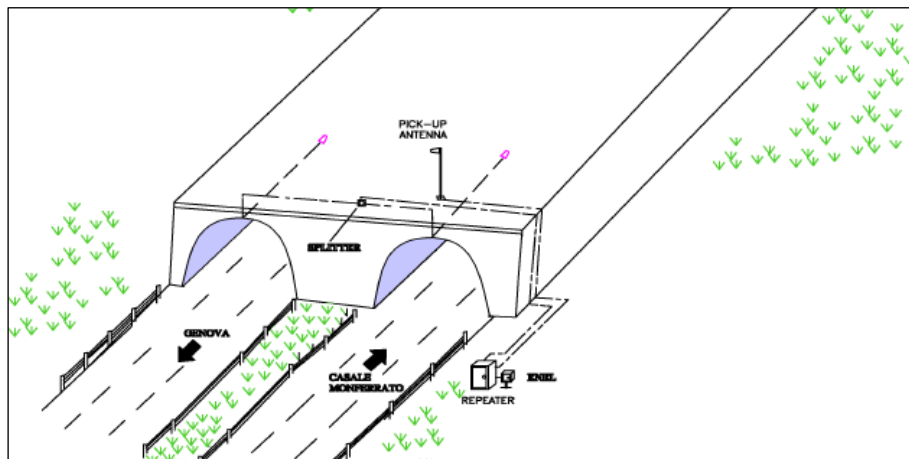


Ilustración 28: Primera opción con cobertura desde exterior

Para túneles no muy largos se puede optar por instalar repetidores a ambos lados de estos (entrada y salida). Al haber cobertura visual con la BTS exterior se instalan **antenas “Pick-Up”** que recogen la señal y la envían al repetidor. Este se encarga de distribuirla por un **feeder** de coaxial a las antenas situadas en la boca del túnel.

Como ya se ha comentado anteriormente, las antenas en las bocas del túnel deberán ser **helicoidales** de polarización circular o **log-periódicas** de manera que su directividad haga que la señal llegue lo más lejos posible.

### Opción B

Es similar a la anterior. Si en una de las bocas no hay buena cobertura podemos trasladar la señal del repetidor que recibe la señal de la antena **“Pick-Up”** desde una de las bocas hasta la otra mediante **fibra óptica**.

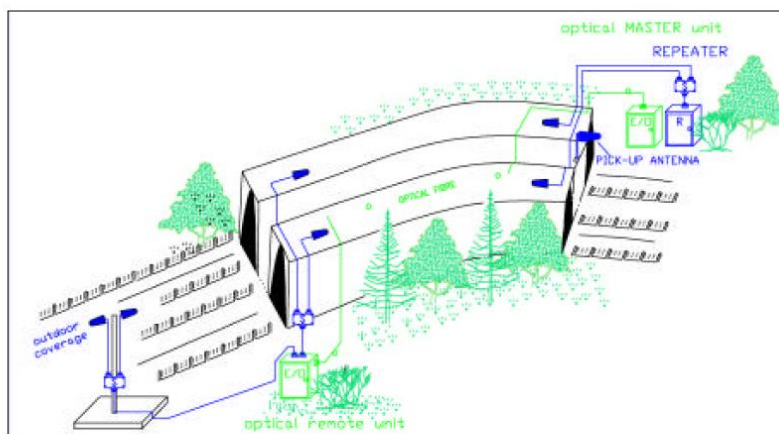


Ilustración 29: Segunda opción con cobertura desde exterior

### Opción C

También se puede transmitir la señal desde la BTS **directamente mediante fibra óptica hasta el interior** del túnel. En el interior se instalarán uno o varios repetidores dependiendo de la longitud de este. Los repetidores se conectan a la BTS mediante un HUB.

Este método ofrece flexibilidad para proporcionar cobertura RF en áreas donde la transmisión aérea no es una opción viable (cuando no se pueden usar “Pick-Up antenas”). Además, la calidad de la señal aumenta.

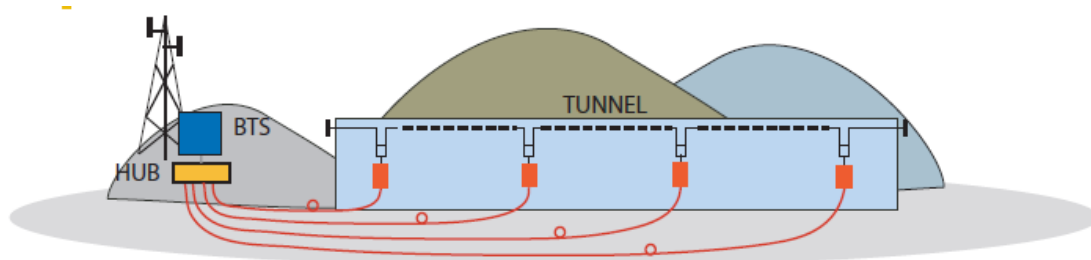


Ilustración 30: Tercera opción con cobertura desde exterior

### 6.3 SOLUCIONES CON COBERTURA PROPIA DESDE EL INTERIOR

Estas soluciones están basadas en **antenas distribuidas** o **cable radiante**. En ambos casos dependiendo de la extensión de la zona a cubrir instalaremos una estación base (más repetidores) o más de una estación base.

#### 6.3.1 Leaky feeders

Se instala una **RBS bajo tierra**, en la línea de metro/cercanías. Desde allí se dedica un **RU para cada estación o grupo de estaciones**. De la RU se extienden **cables radiantes** en ambas direcciones del túnel que darán cobertura RF a lo largo de este. Es una **opción cara** debido a la cantidad de metros de cable radiante que se debe extender. Además, partículas como el polvo producido por los vehículos en el interior del túnel normalmente tapan las ranuras del cable degradando la señal.

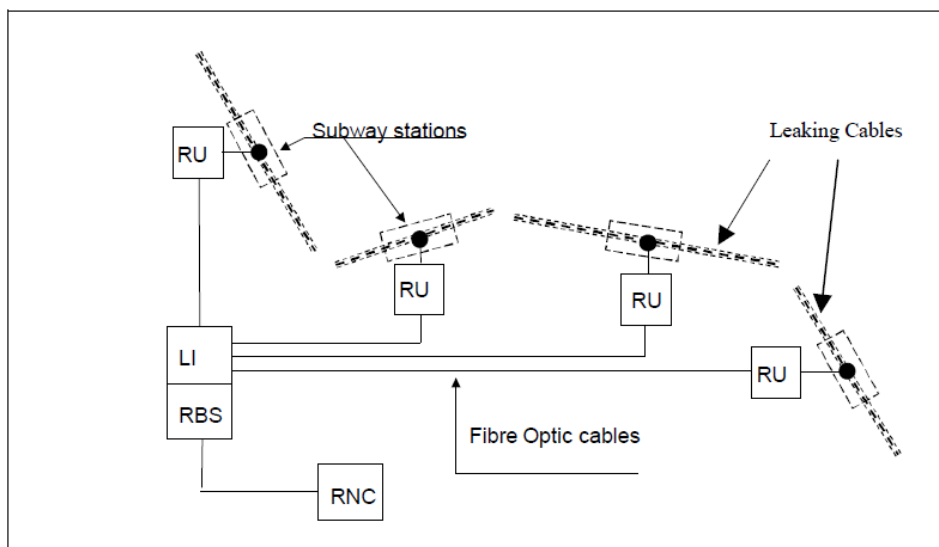


Ilustración 31: Distribución de señal con Leaky Feeders

##### 6.3.1.1 Características de los leaky feeders

**Cable radiante** o lo que se denominan “**slotted coaxial cable**” o “**leaky cable**”. Se trata de un cable con ranuras que permiten transmitir potencia garantizando radiar por toda la longitud del cable. Además, la señal que hay al lado del cable se acopla dentro de los slots y se propaga por todo el cable. Esta capacidad de broadband hace que el cable pueda transmitir más de una comunicación a la vez. La siguiente imagen muestra la degradación de la señal transmitida por un **cable radiante a lo largo de un túnel**:

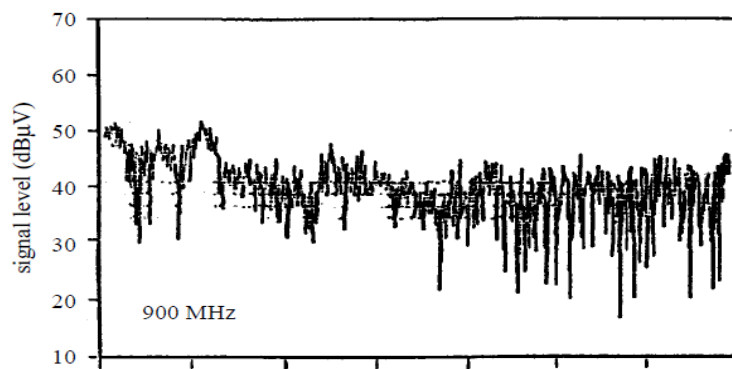


Ilustración 32: Nivel de señal a lo largo del túnel con Leaky Feeder

Se aprecia como en casi 800 metros la señal solo disminuye en un par de decenas de dB. Lo cual puede resultar buena opción para cualquier tipo de área que necesite cobertura localizada. Sin embargo, como hemos dicho, su instalación resulta bastante cara en comparación con la de un sistema de **antenas distribuido**.

### 6.3.2 Antenas distribuidas más repetidores ópticos

Esta es la opción más eficiente para **líneas de metro y cercanías** complejas; con túneles largos y varias estaciones. Igual que en el caso anterior se instala un nodo en una de las estaciones a las que queremos dar cobertura (normalmente la que está en el centro). Si la distancia entre estaciones es grande existe la posibilidad de instalar repetidores ópticos conectados al nodo de la estación central.

Desde la estación central y desde los repetidores se extienden feeders de coaxial hacia cada una de las antenas situadas en puntos estratégicos para dar la cobertura requerida (vestíbulos, andenes, entradas y salidas de túneles). Esto dota a la solución de **flexibilidad** para adaptarse a casi todo tipo de entornos suburbanos complejos.

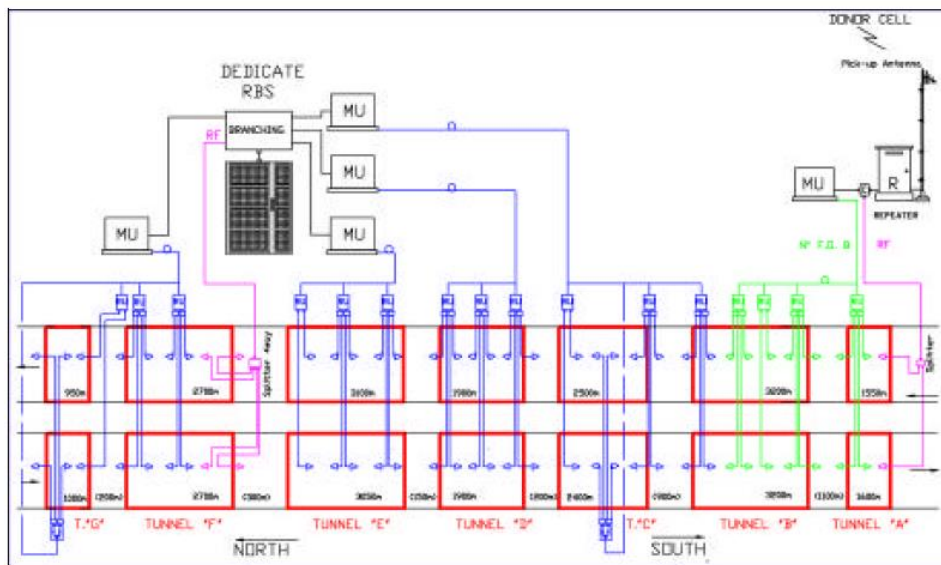


Ilustración 33: Distribución de señal con repetidores más antenas distribuidas

#### 6.3.2.1 Características de los repetidores ópticos

Un repetidor es un **transmisor-receptor** diseñado para transmitir simultáneamente el canal DownLink y devolver las respuestas del UpLink a la RBS. Su funcionamiento consiste en captar la señal de uno o varios operadores de telefonía a través de una antena de recepción y distribuirla realizando coberturas en exterior o al interior de edificios distribuyéndola, para que los usuarios con necesidad de cobertura de voz y datos puedan operar.

Se puede instalar en interior o en el exterior, en interior se cubren áreas de hasta 55.000 m<sup>2</sup> y en el exterior alcanzar distancias superiores a 8 Km según la orografía y la calidad de la señal del operador, para realizar estos servicios de cobertura, se precisa un **estudio del lugar** que se pretende cubrir para encontrar una **ubicación y distribución** de la señal adecuadas. Estos cálculos se llevarán a cabo en el apartado práctico del proyecto.

Gracias a su potencia, en general, los repetidores soportan comunicaciones simultaneas de hasta 200 usuarios, con solo una antena o varias. Esto les convierte en la **solución perfecta para dar cobertura en túneles**.

Los repetidores pueden ser de canal selectivo o de banda selectiva:

- Un repetidor de **banda selectiva** amplifica una **banda determinada de frecuencia**. Esto es, amplifica cualquier frecuencia dentro de esta banda.
- Un repetidor de **canal selectivo** permite seleccionar **un número de canales individuales** para amplificar y retransmitir.



Ilustración 34: FOR

Para un proyecto con repetidores como el que vamos a realizar se necesitan los siguientes equipos.

- **Unidad Maestra Repetidora**, BMU o DCU, es el equipo conectado y ubicado junto a la estación base utilizado para convertir la señal RF de esta en señal óptica y transmitirla por el sistema de distribución de fibra óptica.
- **Sistema de distribución de fibra óptica**, consta de la red de cables de fibra óptica que unen la unidad maestra repetidora con cada uno de los repetidores dependientes.
- **Repetidor**, es el equipo que recibe la señal óptica de la estación base y la convierte en señal RF con un nivel adecuado para transmitirla hacia las estaciones móviles, y viceversa.

## 6.4 COMPARATIVA Y ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para la comparativa de las soluciones descritas nos centraremos en tres criterios: **funcionalidad, flexibilidad y coste**. El primero de ellos hace referencia a la calidad de señal que conseguimos con esa solución, el segundo a su facilidad para adaptarse a todo tipo de entornos suburbanos y el tercero a los gastos que supone la implementación del sistema en cuestión.

Analizando exclusivamente el primer criterio podemos descartar las tres soluciones basadas en **cobertura desde el exterior** (Opciones A, B y C). Retransmitir la señal (ya sea con “pick-ups” o fibra) de una celda exterior limita mucho en distancia el alcance de la señal. Aunque se puede conseguir cubrir túneles de unos 1000-2000 metros de longitud buscamos soluciones que posibiliten dar cobertura a varias estaciones y a más de un túnel de esas características.

Por otro lado, nos falta decidirnos entre las dos soluciones basadas en **nodos interiores dedicados**; el cable radiante o las antenas distribuidas. La funcionalidad de estos dos métodos es mucho mayor que las anteriores. Esto es debido a que todos los sectores del nodo quedan disponibles para dar cobertura suburbana. Se puede incluso instalar más de un nodo si es necesario, lo cual posibilita cubrir distancias de decenas de kilómetros. En cuanto a la flexibilidad se puede conceder un empate. Tanto el cable radiante como el coaxial que llega a las antenas tienen la ventaja de poder adaptarse a la geometría del túnel.

Por último, analizando el factor económico nos decidimos por una solución. La instalación de miles de metros de cable radiante incrementa mucho los costes con respecto a la instalación de antenas log-periódicas y repetidores. Si que es verdad que con el cable radiante la señal se degrada algo menos, pero no es una diferencia significativa. Por este motivo la **solución escogida es un sistema de antenas distribuidas más repetidores ópticos**.

Cobertura	Solucion	Funcionalidad	Flexibilidad	Coste
Exterior	Opción A	Baja	Media	Bajo
Exterior	Opción B	Baja	Media	Bajo
Exterior	Opción C	Media	Media	Medio
Interior	Cable radiante	Alta	Alta	Alto
Interior	Antenas distribuidas	Alta	Alta	Medio

Tabla 8: Clasificación de alternativas

## 7 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

---

En este apartado de desarrollo de la solución simularemos el diseño de una red móvil 3G y 4G en un **entorno suburbano**. Se seguirán los procedimientos oportunos para cada **fase del diseño** realizando los cálculos necesarios. Una vez finalizada la fase de diseño se abstraerá una **metodología** que podrá ser aplicada en otros entornos de características similares. La obtención de esta metodología es uno de los objetivos principales del proyecto.

### 7.1 RESUMEN DE LA SOLUCIÓN

Una vez realizado el análisis de las alternativas y escogida la que vamos a implantar procederemos al desarrollo de esta. Al ser un proyecto de redes móviles con múltiples apartados y de una extensión considerable, se ha creído oportuno redactar este apartado en el que se hace un resumen de las etapas. La solución se ha dividido en dos; una **simulación** con todas las fases de diseño, y un producto final, que es la **metodología** propuesta.

La simulación comienza con una **descripción preliminar** del trayecto. Se ha propuesto un tramo real de cercanías de Madrid. En la descripción se detallan las estaciones, túneles, operadores, bandas, tecnologías y tráfico. Le sigue un **estudio completo del entorno** que consiste en cuatro apartados: obtención de un modelo de propagación, cálculo de la distancia de solape, cálculo del balance del enlace y cálculo del ISI. Estos cuatro puntos son importantes ya que contienen todas las operaciones necesarias para calcular los valores y parámetros clave del diseño. Algunos de estos valores son: distancia máxima entre repetidores, prefijo cíclico o distancia de solape.

Una vez hemos caracterizado el tramo en cuestión, procederemos a la **selección de los equipos**. Los equipos que se escojan deberán cumplir algunos requisitos definidos en el apartado anterior. Por ejemplo, deberán ser capaces de proporcionar la PIRE mínima. Se hará un inventario completo de todos los elementos y sus especificaciones: antenas, elementos pasivos, cables, repetidores y equipos de radio.

La siguiente etapa consistirá en definir el **diseño final** del sistema de antenas distribuido. También contiene varias fases: sectorización, posicionamiento de los repetidores, sistema de repartición de fibra óptica, configuración de la sala de equipos, etapas de combinación y distribución de la señal a las antenas por medio de cable coaxial. Para cada etapa se proporcionarán planos y/o unifilares. Al finalizar el diseño se comprobará que a cada antena llega señal suficiente.

Finalmente, el diseño acaba con una explicación de los procedimientos de **optimización** que serían necesarios una vez implantado el nodo. Estos procedimientos posibilitarían el correcto funcionamiento y monitorización del sistema. Se detallarán las degradaciones más comunes, así como las contramedidas requeridas.

Como ya hemos mencionado, el último apartado es una **propuesta de metodología**. Para lograr esta propuesta se ha llevado a cabo un proceso de abstracción. Todas las fases descritas a lo largo del desarrollo quedan representadas en formato de gráfico y se explica cómo ejecutarlas hasta la consecución del diseño final. Este punto es uno de los más relevantes del proyecto ya que la obtención de la metodología ha sido designada como objetivo principal en el apartado 3.1.



## 7.2 CONSIDERACIONES PREVIAS

El entorno que hemos seleccionado para realizar el diseño es **un tramo real** de red de cercanías con cuatro estaciones y tramos de túnel entre todas ellas.

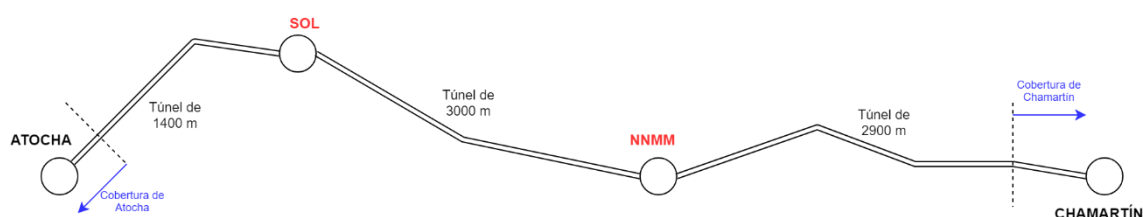


Ilustración 35: Plano del tramo a cubrir

### Datos:

**Nº de estaciones:** 4

**Estación central (sala de equipos):** Nuevos Ministerios

**Distancia media entre estaciones:** 2,5 km

**Descripción:** Como se muestra en la imagen el área a cubrir constituye un tramo de cercanías con cuatro estaciones. Solo será necesario dar cobertura a las estaciones de Sol y NNMM puesto que Atocha y Chamartín cuentan con su propia cobertura. Al ser un entorno suburbano entre cada una de las estaciones tendremos un túnel de una distancia media de dos kilómetros y medio (bastante más largos que los de metro). La sala de equipos por regla general estará en la estación central (NNMM) de manera que la distancia a cubrir con FO entre los equipos y los repetidores sea la menor posible.

Al ser un área suburbana con varias estaciones y distancias largas entre ellas haremos uso de **antenas distribuidas y repetidores ópticos varios**, tal y como describimos en la parte teórica de diseño físico. El número de estaciones a cubrir por cada celda vendrá dado por el **dimensionamiento que realicen los operadores**. Se tienen en cuenta factores como el tráfico, horas pico y capacidad de los equipos radio que normalmente se instalan en cercanías. Con los datos a los que he tenido acceso [Anexo B, Modelado de Tráfico], se establece que en hora punta una celda puede dar cobertura a un máximo de **una estación** pudiendo conectarle un máximo de **4 repetidores**.

La distancia máxima entre estos repetidores determinará su posición y por tanto la sectorización del diseño. Para ello será necesario realizar una serie de **cálculos** que se recogen en los siguientes apartados.

Por otro lado, tal y como hemos comentado en otros apartados, **“Metrocall”** es el propietario de las zonas donde se posicionan los equipos, no los operadores. Esto supone que en la sala de equipos será compartida al igual que el sistema radiante. También se deberá diseñar una etapa de **combinación**. Para este proyecto supondremos que tenemos tres operadores (Movistar, Vodafone y Orange, por ejemplo). Cada uno de ellos queriendo implantar tecnología 3G y 4G.

En lo que respecta a las bandas de frecuencia el criterio general a seguir es seleccionar las más bajas (siempre que sea posible) por su buena penetración y propagación. Para 3G se elige la banda de **UMTS900**, por lo mencionado anteriormente y porque además puede compartir equipos con GSM900, en el caso de que fuese necesario instalarla (modo mixto). Para LTE lo ideal sería utilizar la banda de **LTE800**. Sin embargo, esta banda solo posibilita un ancho de banda de 10MHz, por lo cual escogeremos la siguiente más baja, **LTE1800**, que sí tiene 20MHz de ancho de banda.

## 7.3 ESTUDIO DEL ENTORNO

En este apartado del desarrollo se realizarán todos los cálculos necesarios para obtener el **posicionamiento** de los equipos, así como sus **características** mínimas. Luego nos basaremos en los resultados para seleccionar los equipos. Los cálculos se han realizado en orden, de esta forma cada apartado puede utilizar los resultados de los anteriores.

### 7.3.1 Modelo de propagación en los túneles

Lo primero de todo es establecer un modelo de propagación. Esto nos permitirá calcular las pérdidas que va sufriendo la señal a medida que va avanzando en el túnel. En el “**Anexo C**” se ha realizado un estudio teórico de los diferentes modelos que existen y se ha escogido el que más se adecúa a nuestras necesidades: **modelo empírico “two slope”**.

Este modelo establece unas pérdidas por inserción y dos pendientes de propagación. Una de las pendientes hasta un punto crítico (determinado por las características del túnel) y la otra a partir de ese punto.

Como es empírico, tendremos que utilizar mediciones reales para calcular las pérdidas por propagación. En un primer lugar tuve acceso a mediciones realizadas en un **túnel de carretera**. Se adaptaron las medidas al modelo escogido y se obtuvieron las siguientes pérdidas (cálculos en Anexo D):

Tecnología	Punto crítico	Pendiente 1	Pendiente 2
<b>UMTS 900</b>	300 m	33 dB / 300 m	12,18 dB / km
<b>LTE 800</b>	266 m	27 dB / 266 m	19,01 dB / km

*Tabla 9: Pérdidas en túnel de carretera*

Se observa como las pérdidas del modelo de túnel de carretera eran bastante más bajas de lo esperado en metro y cercanías. Además, las medidas eran de LTE800 y no LTE1800, que es el que se usará en este proyecto. Por lo tanto, se decidió repetir los cálculos en una zona que se ajustase más a lo que realmente buscamos.

Para **UMTS** en la banda 900 se tuvo acceso a unas medidas realizadas en un tramo de túnel de cercanías entre la estación de Sol y la de Nuevos Ministerios. En este túnel había cuatro repetidores de señal 3G. Se escogió un tramo de túnel de **790 metros** donde se puede ver la variación de la señal de uno de los repetidores a lo largo del mismo. Sabiendo la potencia de salida del repetidor, se modelizaron las pérdidas con el modelo de dos pendientes y se obtuvieron unas pérdidas por acoplamiento.

Todos los cálculos (más información adicional) se encuentran en el “**Anexo E**”. Aquí resumimos los resultados obtenidos:

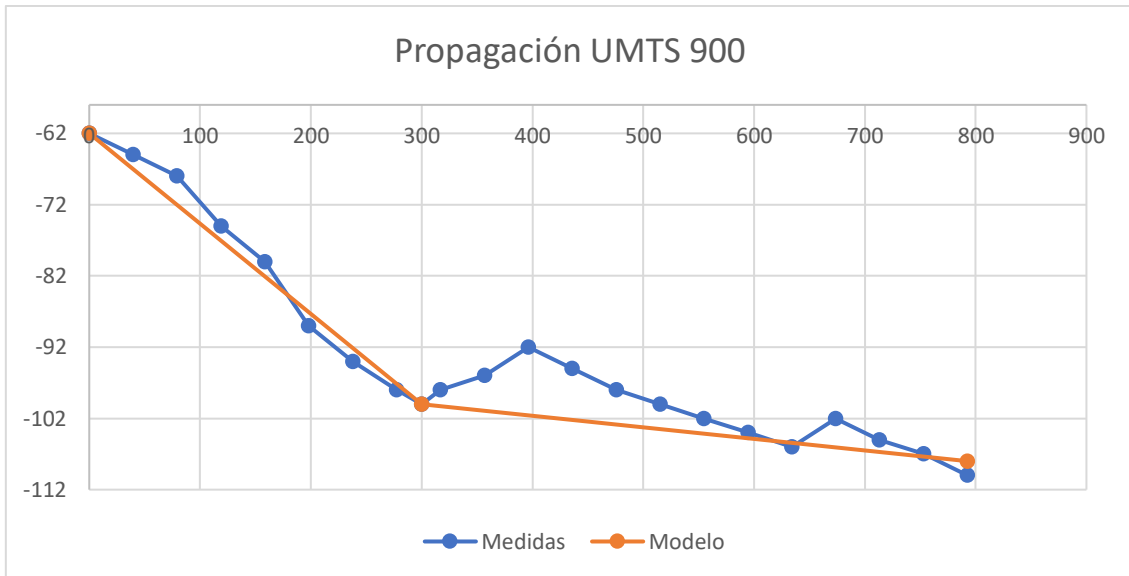


Ilustración 36: Pérdidas en túnel cercanías banda U900

- **Banda:** U900
- **Acoplamiento:** -86,5 dB
- **Punto crítico:** 300 metros
- **Pendiente 1:** 38 dB en los primeros 300 metros
- **Pendiente 2:** 16,23 dB por kilómetro

Para LTE en la banda 1800 se tuvo acceso a unas medidas realizadas en un tramo de túnel de cercanías entre la estación de Chamartín y la de Nuevos Ministerios. En este túnel había dos repetidores de señal 3G. Se escogió un tramo de túnel de **1200 metros** donde se puede ver la variación de la señal de uno de los repetidores a lo largo del mismo. Sabiendo la potencia de salida del repetidor, se modelaron las pérdidas con el modelo de dos pendientes y se obtuvieron unas pérdidas por acoplamiento.

Todos los cálculos (más información adicional) se encuentran en el “Anexo B”. Aquí resumimos los resultados obtenidos:

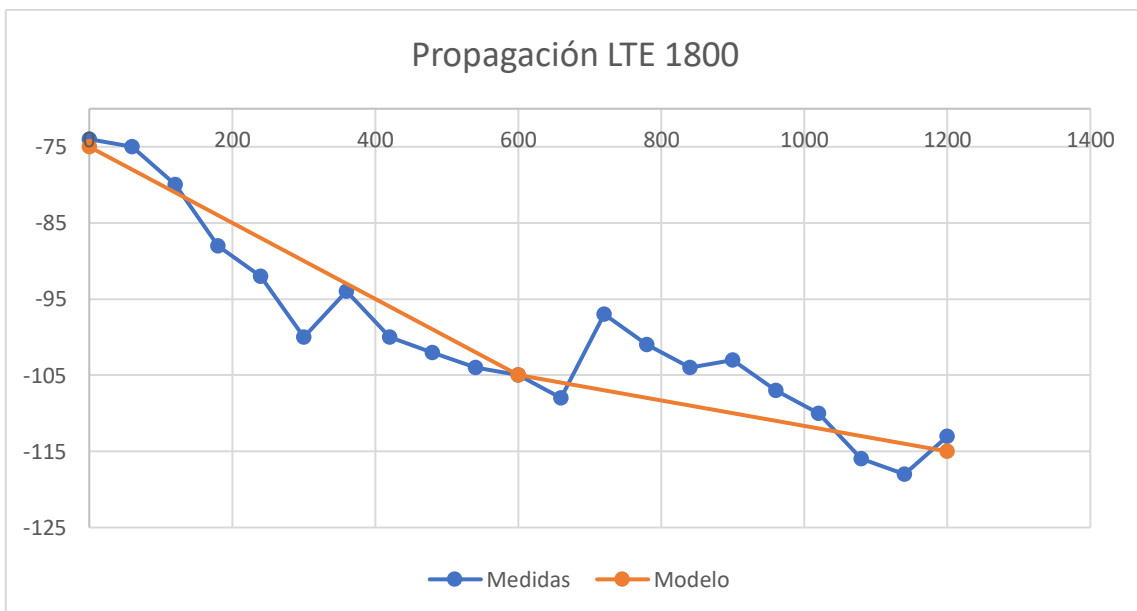


Ilustración 37: Pérdidas en túnel cercanías banda L1800

- **Banda:** L1800
- **Acoplamiento:** -98,5 dB
- **Punto crítico:** 600 metros
- **Pendiente 1:** 31 dB en los primeros 600 metros
- **Pendiente 2:** 16,7 dB por kilómetro

Se aprecian unas características de propagación similares, un tanto **mejores para la banda de 900 MHz** tal y como era de esperar. Usaremos estos datos de propagación a la hora de calcular el balance del enlace.

### 7.3.2 Influencia de los handovers en el diseño físico: distancia de solape

Hemos hablado sobre los traspasos en 3G y 4G en el apartado del diseño lógico, sin embargo, esta característica de las redes móviles también puede influir a la hora de realizar el **diseño físico**. La **variación de la señal** y el **fading** u **obstrucción** de la sección del túnel debida al paso de vehículos son un problema. Esto implica que sea necesario un **solapamiento** entre las celdas que dan cobertura en el interior del túnel y las que lo dan en el exterior. Cómo de grande debe de ser este solapamiento depende del tiempo de ejecución del HO, que se estudió en el apartado 5.2.3. Los handover **intrafrecuencia** y los **hard handover** suelen ser normalmente los únicos usados en estas situaciones debido al limitado espacio de solapamiento y la alta velocidad de los dispositivos móviles. A ser posible el traspaso se hará dentro del túnel y no en las estaciones para evitar el “pingpono” de usuarios entre dos celdas.

Vamos a centrarnos en los handovers LTE, principalmente en el **handover de tipo A3**. Nuestro diseño está pensado para tener continuidad. Esto quiere decir que una vez el UE se enganche a una celda de 3G o 4G los traspasos serán siempre **intra-frecuencia**, ya que la cobertura está garantizada en todo punto por donde pasa el tren.

Hemos explicado en el apartado de descripción técnica el funcionamiento del A3. Ahora procederemos solamente al cálculo del tiempo total de preparación y realización del HO. Sumaremos el tiempo que el UE tarda en realizar una medida intra-frecuencia de las celdas vecinas, el TTT y el tiempo de interrupción:

$$T_{total} = T_{Medición} + T_{trigger A3} + T_{int}$$

El **tiempo de medición** es el intervalo de tiempo que tiene el UE para realizar medidas intra-frecuencia. Lo consideraremos nulo ya que son medidas tomadas en la frecuencia actual y se realizan de manera casi constate. El tiempo **TTT** para A3 lo establecen los operadores. Basándome en los datos a los que he tenido acceso estableceremos TTT=320 ms para A3. Y por último el **tiempo de interrupción**, que como hemos dicho en la parte teórica, es menor de 30 ms.

$$T_{total} = 0 \text{ ms} + 320 \text{ ms} + 30 \text{ ms} = 350 \text{ ms}$$

Durante estos 350 ms se debe garantizar un nivel adecuado de señal de ambas celdas. Sabiendo que el tren viaja a una velocidad máxima de 250 km/h:

$$d = (250 * 0,2778) \frac{m}{s} * 0,35s = \mathbf{24,3 \text{ m}}$$

Necesitaremos una distancia de solape entre celdas de **25 metros** aproximadamente para garantizar la correcta realización del handover intra-frecuencia.

El caso de **SRVCC** (de LTE a UMTS con llamada de voz en curso) también debemos analizarlo. En nuestro proyecto haremos uso tanto de la tecnología UMTS como LTE. En condiciones ideales no haría falta traspasar la llamada de una tecnología a otra, pero debido a factores externos podría darse el caso de que una llamada originada en LTE deba ser traspasada a la red de conmutación de circuitos. Este sería el **caso límite**, es decir, el más complejo que más tiempo de preparación e interrupción genera.

Tal como hemos explicado en el diseño lógico, cuando el UE está en la **zona de búsqueda** se definen eventos que reportan el nivel de señal de las celdas inter-frecuencia e inter-RAT (eventos A1 y A2). Una vez recibida una medición que dispare el evento B2 (from LTE to WCDMA) se activa el **TTT**, y si se cumple la condición de entrada al final de éste, se procede a realizar el traspaso SRVCC. Además, 3GPP (Release 8) establece que el **tiempo de interrupción** máximo para aplicaciones en tiempo real durante traspasos de LTE a 2G/3G debe ser de máximo 300 ms.

Sumando todos los tiempos, obtenemos que el **tiempo total** de preparación y realización del traspaso es de:

$$T_{total} = T_{search\ A2} + T_{trigger\ B2} + T_{int}$$

Los tiempos de búsqueda y TTT para handovers intra-RAT son **definidos por cada operador**. Gracias a algunos datos a los que he tenido acceso podría establecer 640 ms para el tiempo de búsqueda y 1280 ms para el TTT como valores aproximados. De esta manera el tiempo total quedaría:

$$T_{total} = 640\ ms + 1280\ ms + 300\ ms = 2220\ ms$$

Durante estos **2,2 segundos** deberemos tener cobertura de la celda a la cual vamos a traspasar la llamada. Si sabemos que un tren de cercanías viaja a una velocidad máxima de 250 km/h podemos calcular la distancia de solape:

$$d = (250 * 0,2778) \frac{m}{s} * 2,22s = \mathbf{154\ m}$$

Durante 154 metros debemos recibir señal suficiente de ambas celdas para realizar el traspaso correctamente. Si cumplimos este requerimiento de solape para SRVCC también **se cumplirán los requerimientos** para traspasos intra-LTE y traspasos soft-softer handover en 3G.

#### **Nota**

De todas formas, cabe mencionar que para activar las mediciones de celdas **inter-RAT** el nivel de señal debe caer por debajo de -117 dBm y el HO se realiza cuando la señal cae por debajo de -124 dBm (los valores varían ligeramente dependiendo de la banda y operador). Nosotros en el balance del enlace estableceremos requerimientos de señal más exigentes. En un túnel exigiremos que la señal no baje en ningún punto de los -96 dBm aproximadamente, de manera que el solape para valores de señal alrededor de los -120 dBm **será mucho mayor que 154 metros**, por lo que el traspaso no tendría problemas para realizarse. Sin embargo, y como margen de seguridad, vamos a establecer un área de solape mínima entre celdas vecinas de 160m. Dentro de estos 160m se debe cumplir que el nivel de señal de ambas celdas es igual o superior al requerimiento mínimo de -96 dBm.

Para los handovers **A3 intra-frecuencia** todavía tendremos menos restricciones. Ocurrirán cuando el UE detecte que la señal de la nueva celda vecina mejora a la de servicio más el offset y el treshold. Este evento se dará cuando se supere la mitad de la distancia entre repetidores más unos pocos metros debidos al offset. Ese punto se dará dentro del solape de los 160 metros donde la cobertura de ambas celdas todavía es óptima.

#### **7.3.3 Balance del enlace**

Antes de obtener el diseño final, uno de los cálculos previos a realizar es el balance del enlace. En este apartado el objetivo es calcular el **posicionamiento de los repetidores en el túnel**. Se tendrá en cuenta el modelo de propagación, la distancia de solape entre celdas vecinas y los requerimientos mínimos de señal de los terminales de usuario. Se harán los cálculos del **enlace descendente** tanto para el 3G como para el 4G. Se omiten los cálculos del enlace ascendente ya que no es el caso límite. Aunque los terminales de usuario tengan menor potencia de transmisión, ésta se verá ampliamente compensada con la mejor sensibilidad de los repetidores ópticos (contrastado con las especificaciones del Anexo G).

Terminales de usuario:

	Ganancia	Altura de la antena	Nivel de señal mínimo
UMTS	0 dB	1,5 m	-96 dBm
LTE	0 dB	1,5 m	-100 dBm

Tabla 10: Características de los terminales de usuario

Como se ve en la tabla se ha considerado una **ganancia nula para los terminales de usuario** portátiles, lo cual se ajusta bastante bien a la realidad debido a sus antenas pequeñas y omnidireccionales. Por otro lado, los valores de **señal mínima** se han obtenido de manera empírica basándonos en la experiencia de los usuarios de 3G y 4G. El requerimiento de señal mínima elegido para 4G es menor ya que con un nivel más bajo todavía se consiguen velocidades más altas que en 3G.

Aunque el objetivo de este apartado no es seleccionar los equipos de radio, necesitamos el valor de la PIRE de las antenas para definir el balance del enlace. Como sabemos el modelo de repetidor que se usa normalmente en metro y cercanías, que a su vez será muy parecido al que escojamos nosotros en el siguiente apartado, podremos calcular una **PIRE mínima provisional**. Con este valor calcularemos la distancia máxima entre repetidores de la misma celda (y de celdas diferentes). Al escoger los equipos en el siguiente apartado tendremos en cuenta cumplir el requerimiento de PIRE mínima.

$$PIRE_{min} = P_{repetidor} - L_{cables} - L_{divisor} + G_{antena} = 50 \text{ dBm}$$

Sabiendo la PIRE del sistema y las pérdidas de propagación para cada una de las bandas calcularemos la distancia entre los repetidores. Se tiene en cuenta, por supuesto, que cada estación repetidores tiene dos antenas, cada una apuntando en una dirección.

La fórmula es básicamente la ecuación de un **balance de potencias**, salvo que las pérdidas por propagación son calculadas con el modelo recientemente deducido y se añaden pérdidas por **penetración en el vagón y por alta carga de tráfico** (interferencias), tal y como se comenta en el "Anexo A". De tal manera que obtenemos:

$$P_{rx}(dBm) = PIRE_{tx} - L_{propagación} - L_{vagon} - L_{trafico}$$

Los resultados, que se han calculado con Excel, se presentan en las tablas 11 a 14. En el **Anexo F** se recogen con más detalle y con una explicación de las fórmulas y procedimiento utilizados.

### 7.3.3.1 Balance para 3G

Repetidores de la misma celda:

	Distancia (x)	Nivel señal (dBm)
Antena 1	0	-56,5
	40	-61,6
	80	-66,6
	120	-71,7
	160	-76,8
	200	-81,8
	240	-86,9
	280	-92,0
	320	-94,8
	360	-95,5
	400	-96,1
	440	-95,5
	480	-94,8
	520	-92,0
	560	-86,9
	600	-81,8
	640	-76,8

<b>Antena 2</b>	680	-71,7
	720	-66,6
	760	-61,6
	800	-56,5

Tabla 11: Potencia recibida entre repetidores 3G de la misma celda

Repetidores de celdas distintas:

	Distancia (x)	Celda 1	Celda 2	Nivel señal (dBm)
<b>Antena 1</b>	0	-56,5	-100,0	-56,5
	40	-61,6	-99,4	-61,6
	80	-66,6	-98,7	-66,6
	120	-71,7	-98,1	-71,7
	160	-76,8	-97,4	-76,8
	200	-81,8	-96,8	-81,8
	240	-86,9	-96,1	-86,9
	280	-92,0	-95,5	-92,0
	320	-94,8	-94,8	-94,8
	360	-95,5	-92,0	-92,0
	400	-96,1	-86,9	-86,9
	440	-96,8	-81,8	-81,8
	480	-97,4	-76,8	-76,8
	520	-98,1	-71,7	-71,7
	560	-98,7	-66,6	-66,6
	600	-99,4	-61,6	-61,6
	<b>Antena 2</b>	640	-100,0	-56,5

Tabla 12: Potencia recibida entre repetidores 3G de celdas distintas

Gráficas para 3G:

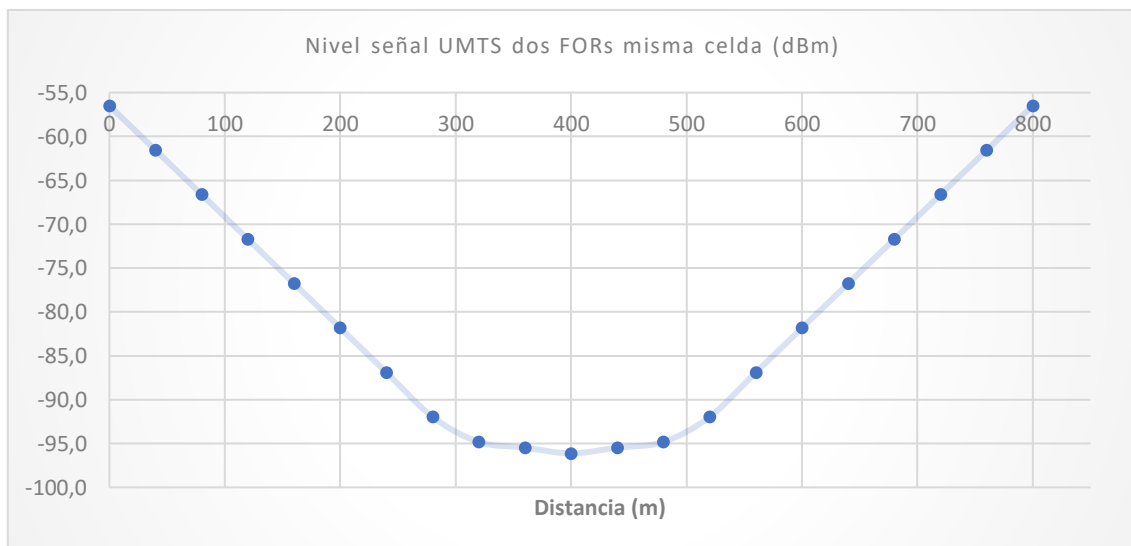


Ilustración 38: Evolución del nivel de señal recibida entre repetidores 3G de la misma celda

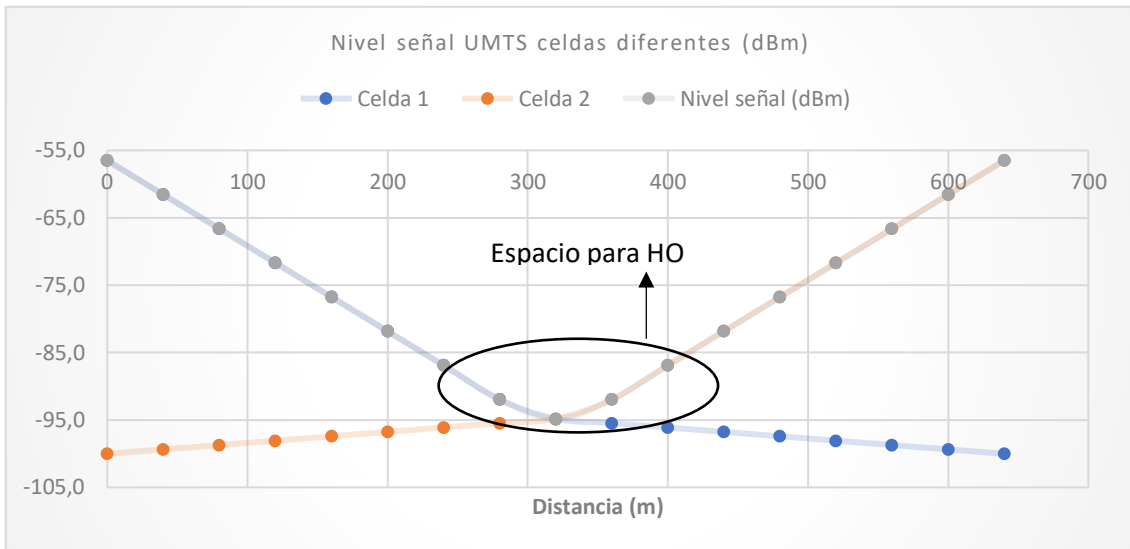


Ilustración 39: Evolución del nivel de señal recibida entre repetidores 3G de celdas distintas

Se aprecia en los resultados que la distancia máxima que garantiza un nivel de señal mínimo de -96 dBm en todo punto del tramo entre dos FOR es **800 metros**. La evolución de la señal se ve en la primera gráfica.

Si ahora hacemos los mismos cálculos para repetidores de celdas diferentes, que precisan un área de solape de 160 metros, obtenemos la segunda gráfica. En este caso la distancia máxima entre FORs será de **640 metros**.

### 7.3.3.2 Balance para 4G

Repetidores de la misma celda:

	Distancia (x)	Nivel señal (dBm)
Antena 1	0	-68,5
	60	-71,6
	120	-74,7
	180	-77,8
	240	-80,9
	300	-84,0
	360	-87,1
	420	-90,2
	480	-93,3
	540	-96,4
	600	-99,5
	660	-96,4
	720	-93,3
	780	-90,2
	840	-87,1
	900	-84,0
	960	-80,9
	1020	-77,8
	1080	-74,7
	1140	-71,6



<b>Antena 2</b>	1200	-68,5
-----------------	------	-------

Tabla 13: Potencia recibida entre repetidores 4G de la misma celda

Repetidores de celdas distintas:

	Distancia (x)	Celda 1	Celda 2	Nivel señal (dBm)
<b>Antena 1</b>	0	-68,5	-106,5	-68,5
	60	-71,6	-105,5	-71,6
	120	-74,7	-104,5	-74,7
	180	-77,8	-103,5	-77,8
	240	-80,9	-102,5	-80,9
	300	-84,0	-101,5	-84,0
	360	-87,1	-100,5	-87,1
	420	-90,2	-99,5	-90,2
	480	-93,3	-96,4	-93,3
	540	-96,4	-93,3	-93,3
	600	-99,5	-90,2	-90,2
	660	-100,5	-87,1	-87,1
	720	-101,5	-84,0	-84,0
	780	-102,5	-80,9	-80,9
<b>Antena 2</b>	840	-103,5	-77,8	-77,8
	900	-104,5	-74,7	-74,7
	960	-105,5	-71,6	-71,6
	1020	-106,5	-68,5	-68,5

Tabla 14: Potencia recibida entre repetidores 4G de celdas distintas

Gráficas para 4G:

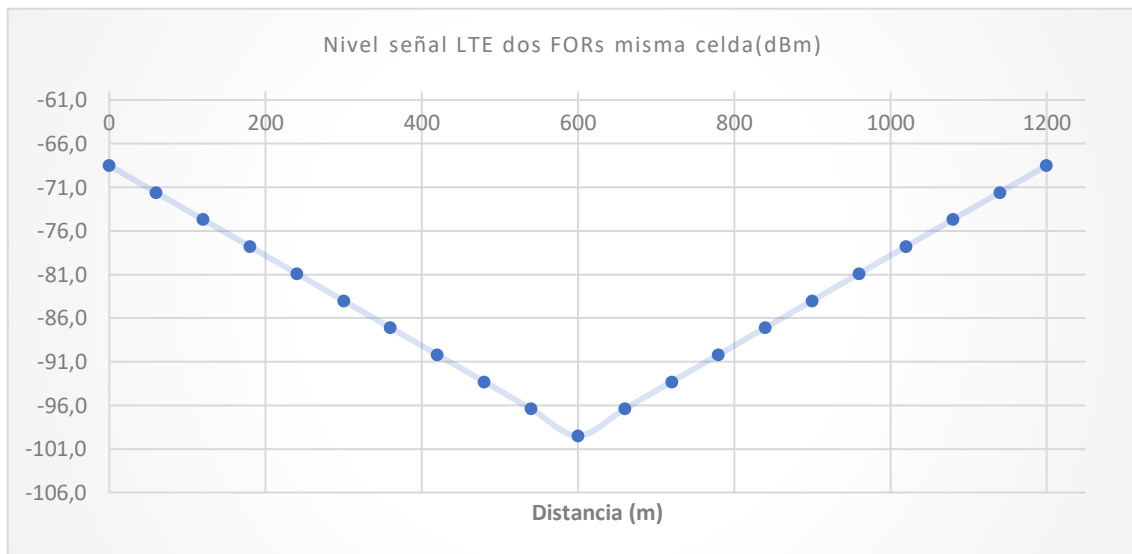


Ilustración 40: Evolución del nivel de señal recibida entre repetidores 4G la misma celda

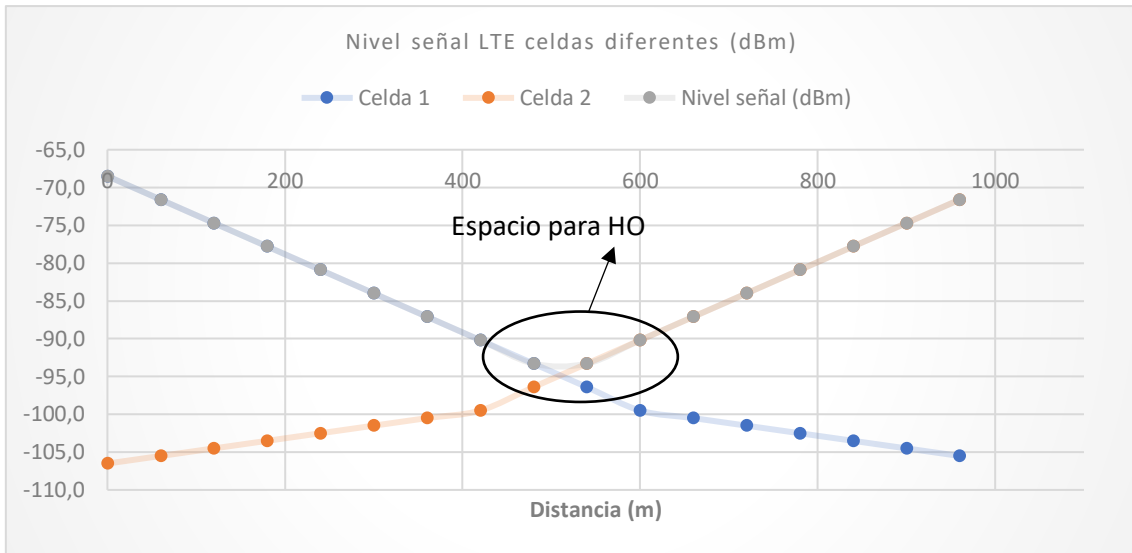


Ilustración 41: Evolución del nivel de señal recibida entre repetidores 4G de celdas distintas

Las conclusiones son muy parecidas al caso anterior. Para LTE, como la restricción de señal es menor, se podrían poner los repetidores con mayor separación: **1200 metros** si son pertenecientes a la misma celda y **1040 metros** si son pertenecientes a celdas diferentes.

Sin embargo, como los espacios donde posicionar el equipamiento de radio son limitados en los túneles, los repetidores de 3G y de 4G se colocarán en los mismos emplazamientos. Esto supone que debemos tener en cuenta solo las distancias máximas de UMTS, por ser el caso límite. Así que los repetidores de ambas tecnologías se colocaran con una **separación máxima de 800 metros si son de la misma celda y de 640 metros si no lo son**. Ambos compartirán el mismo sistema radiante para ahorrar en presupuesto.

#### 7.3.4 Dispersión temporal

La dispersión temporal causada por el multitrayecto de la señal que llega al receptor puede causar **interferencia entre símbolos**, también conocida como ISI. Este tipo de interferencia está presente en sistemas que trabajan con portadoras, tal y como ocurre con GSM y LTE. En la práctica, la señal se propaga a lo largo de diferentes caminos desde el transmisor al receptor. Todos estos componentes al sumarse (1) provocan la recepción de múltiples símbolos recibidos simultáneamente.

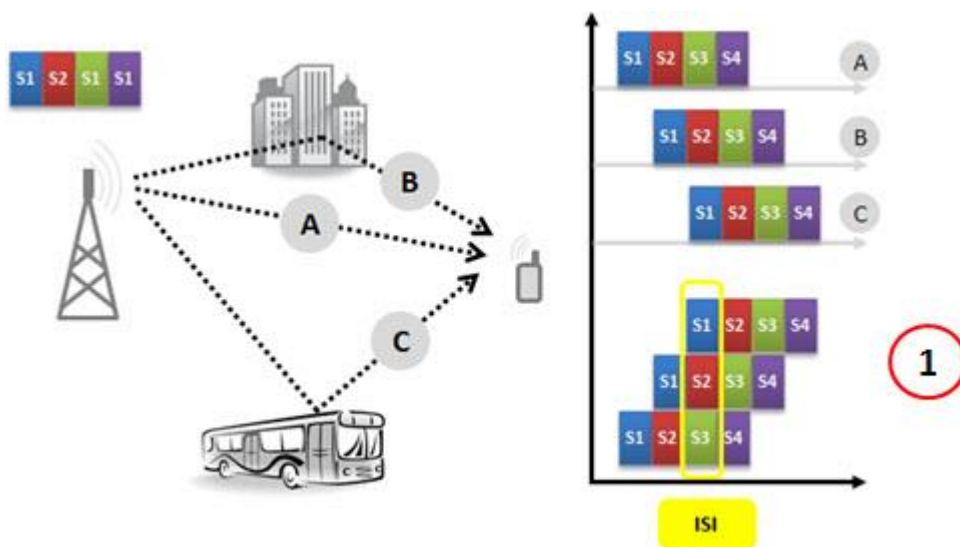


Ilustración 42: Interferencia entre símbolos

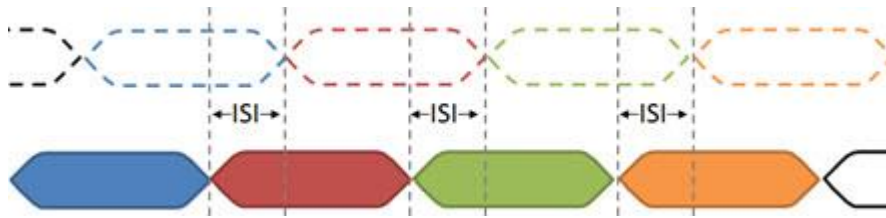


Ilustración 43: Detalle del ISI

Por un lado, en 3G se utiliza tecnología de **acceso al medio WCDMA**, mediante la cual la multiplexación de los servicios se realiza por código. En este tipo de tecnología no tendremos que preocuparnos del ISI ya que, al no tener símbolos, no aplica.

Por otro lado, **LTE** sí que utiliza **multiplexación OFDM**, con portadoras ortogonales. OFDM puede tener ISI y por eso en esta tecnología se usan “prefijos cíclicos” o CPs. Esta solución se basa en encontrar un camino donde la parte perdida del símbolo pueda ser recuperada.

La única manera de hacer esto es mediante la copia o réplica de la parte final del símbolo, insertándola al principio del mismo. Por supuesto, esto significa aumentar el tamaño total de ese símbolo, pero los beneficios son mayores.

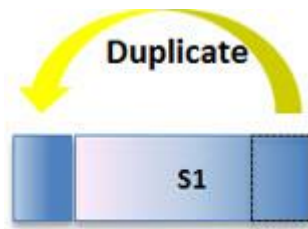


Ilustración 44: Prefijo cíclico

Dependiendo del tipo de entorno en el que nos encontremos se utilizan dos tipos de prefijos cíclicos:

- **Normal:** 4,7 microsegundos
- **Extended:** 16,7 microsegundos

El extended es un prefijo más largo, lo cual nos permite recuperar la información perdida por el ISI en zonas rurales donde las componentes puedan venir de mayores distancias. La desventaja es que necesitaremos más tiempo para transmitir la misma información.

En nuestro proyecto lo normal sería no tener en cuenta los multitrayectos producidos por las reflexiones en el túnel ya que son pequeños. Sin embargo, los **repetidores ópticos** sí insertan un retardo grande en el procesado de la señal. Si el terminal de usuario se encuentra entre **dos repetidores de la misma celda** la señal recibida llegará en intervalos de tiempo diferentes.

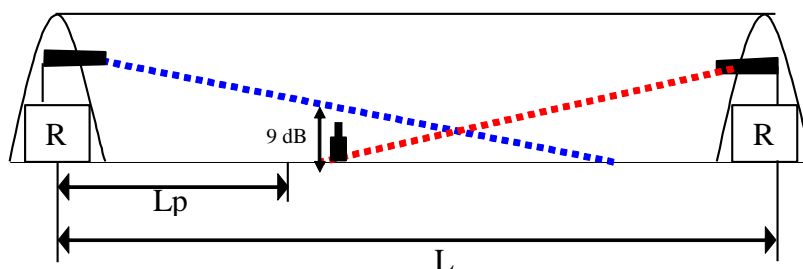


Ilustración 45: Delay entre repetidores de la misma celda

Si usamos el CP normal debemos garantizar que las señales recibidas con retardo superior a 4,7 microsegundos se reciban con una atenuación suficiente para no introducir una degradación apreciable en el receptor. Esta **atenuación mínima necesaria** se puede cifrar en **9 dB** para LTE. De esta forma se establece un **punto crítico**  $L_p$  donde la diferencia de nivel de señal procedente de ambos repetidores empieza a ser menor que 9 dB. En nuestro caso, sabemos gracias al apartado anterior (balance del enlace) que en ningún momento la distancia entre repetidores será mayor que 800 metros y que el punto crítico se encuentra a **320 metros**. Hacemos los cálculos del retardo total para estos datos:

$$Dt = L * Df + Dr + (L - Lp) * Da - Dr - Lp * Da$$

donde,

- Lp** Distancia desde el repetidor al punto crítico de dispersión de retardo (320 m)
- L** Distancia entre repetidores (800 metros)
- Df** Retardo en fibra óptica (5 microsegundos por km)
- Da** Retardo en el interfaz aire (3,3 microsegundos por km)
- Dr** Retraso introducido por el repetidor (16 microsegundos)
- Dt** Retraso total entre las dos señales

$$Dt = 0,8 * 5 + 5 + (0,8 - 0,32) * 3,3 - 5 - 0,32 * 3,3 = \mathbf{2,13}$$

Operando obtenemos un resultado de **2,13 microsegundos** que es un valor bastante menor que el máximo permitido por el prefijo cíclico. De manera que haciendo uso de un CP normal nuestro sistema garantizaría protección total frente al ISI.

Sin embargo, también se debe tener en cuenta la posibilidad de que la señal provenga de **un repetidor óptico y de la estación base**. Esto ocurre, tal y como hemos explicado en el apartado de sectorización, porque la estación central estará cubierta directamente por la BTS, sin introducirse el retardo del repetidor. De manera que al usuario que se encuentre en el tramo de túnel inmediatamente después de abandonar la estación central le llegarán dos señales en intervalos de tiempo bastante más grandes:

$$Dt = L * Df + Dr + (L - Lp) * Da - Lp * Da = \mathbf{18,13}$$

En este segundo caso las señales llegan con una diferencia de 18,13 microsegundos. Esto produce un nivel de ISI bastante grande. Para corregirlo **se recomienda el uso de un prefijo cíclico "extended"** (duración 16,7 microsegundos) que, aunque no solucionaría el ISI por completo, lo reduciría notablemente en comparación con el CP normal.

## 7.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS

En este apartado se **seleccionarán los equipos** de cara a la realización del diseño físico final. Las características de los equipos se escogen en función de los resultados obtenidos en los apartados anteriores. Será necesario seleccionar las antenas, elementos pasivos (combinadores, splitters...), cables, conectores, repetidores ópticos y equipos de radio. Todas las **hojas de especificaciones** se pueden encontrar en el "Anexo G".

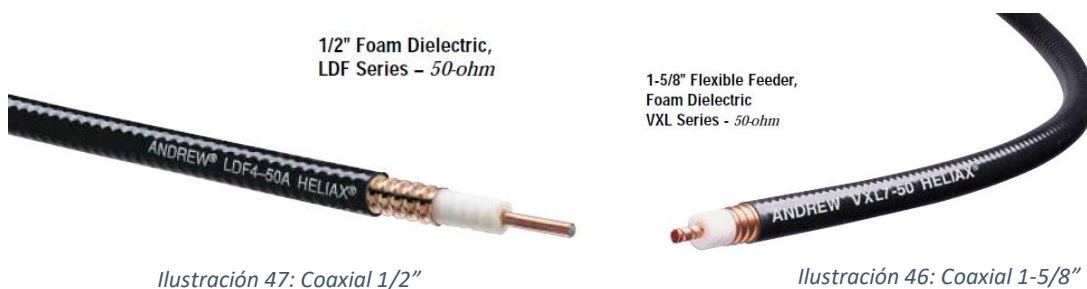
#### 7.4.1 Antenas

Tenemos diferentes zonas que necesitamos cubrir. Por un lado están los **túneles**, donde tendremos que usar antenas bastante directivas y de gran ganancia. Las antenas que hemos elegido son log-periódicas de la marca **“PROTEL” modelo AR1022.1**. Esta antena solo tiene una boca pero es “Dual Band”, lo cual nos permite introducir la señal de 900MHz combinada con la de 1800MHz. Además, lo más característico es su gran ganancia de 16,5 dBi que nos posibilitará conseguir una PIRE muy elevada.

Por otro lado, en las estaciones a las que queremos dotar de cobertura (Sol y NNMM) será necesario instalar antenas en los **andenes y en los vestíbulos**. Para ello hemos decidido hacer uso de dos tipos de antenas de la marca **“KATHREIN”**. El primer tipo es una **omnidireccional** para interiores; modelo **“80010748”**. Puede radiar ambas frecuencias simultáneamente por su única boca y tiene 2 dBi de ganancia. Se utilizarán en los vestíbulos y demás habitaciones en los interiores de la estación. En los andenes se instalarán dos antenas de panel modelo **“80010465”**, algo más directivas. No son omnidireccionales con lo cual se instalará **una a cada lado del andén**. Su ganancia es de 7 dBi y también poseen de una boca Dual Band.

#### 7.4.2 Cables y conectores

Los cables coaxiales que vamos a usar son de la marca **“Andrew Heliax”**. Usaremos dos modelos distintos, ambos con dieléctrico foam pero de dos grosores: **1/2”** (modelo LDF4-50A) de atenuación 10,1 dB por cada 100 metros y **1-5/8”** (modelo LDF7-50A) de atenuación 3,35 dB por cada 100 metros. Dependiendo de la longitud del tramo a cubrir con coaxial usaremos un diámetro u otro, pudiendo usar otros grosores como el 7/8” si fuese necesario. Quedará anotado cual se usa en cada momento en el esquema unifilar del diseño final. Dependiendo de que elementos pasivos haya que interconectar y como sean sus puertos se escogerá el conector correspondiente. Se establece una **pérdida por conector de 0,1 dB**.



#### 7.4.3 Elementos Pasivos

Los elementos pasivos que necesitaremos en las etapas de combinación y distribución son los siguientes:

- **Combinador** de 3:1
- **Splitter** de 1:2 y splitter de 2:3
- **Acoplador** de 40 dB
- **Diplexor** dual band

Tanto los combinadores como los diplexores son de la marca **“KATHREIN”** y se usarán en las etapas de combinación de señal. Los splitters también son de la misma marca y se usarán junto con los acopladores, de la marca **“Spinner”** para distribuir la señal hacia las antenas y hacia las DCUs. Todas las especificaciones se encuentran en el mencionado anexo.

Cabe destacar que para conseguir un combinador de 3:1 se usarán dos de 2:1 en paralelo. Para conseguir un acoplador de 40 dB se usarán dos de 20 dB en serie.

#### 7.4.4 Sistema de repetidores de fibra óptica

El sistema de repetidores de fibra óptica que vamos a utilizar es de la marca “Huawei”. Actualmente está siendo utilizado en otros proyectos de redes móviles en cercanías de Madrid. Este sistema está compuesto por una **unidad master o “DCU”** a la cual son conectadas las **unidades repetidoras o “DRHs”**. La conexión entre las DCUs y los DRHs se hace a través de fibra óptica lo cual posibilita posicionar los repetidores a grandes distancias. Las señales input se deben conectar a la DCU a través de sus puertos RF y sin multiplexar. A continuación, se muestra un esquema de funcionamiento del sistema:

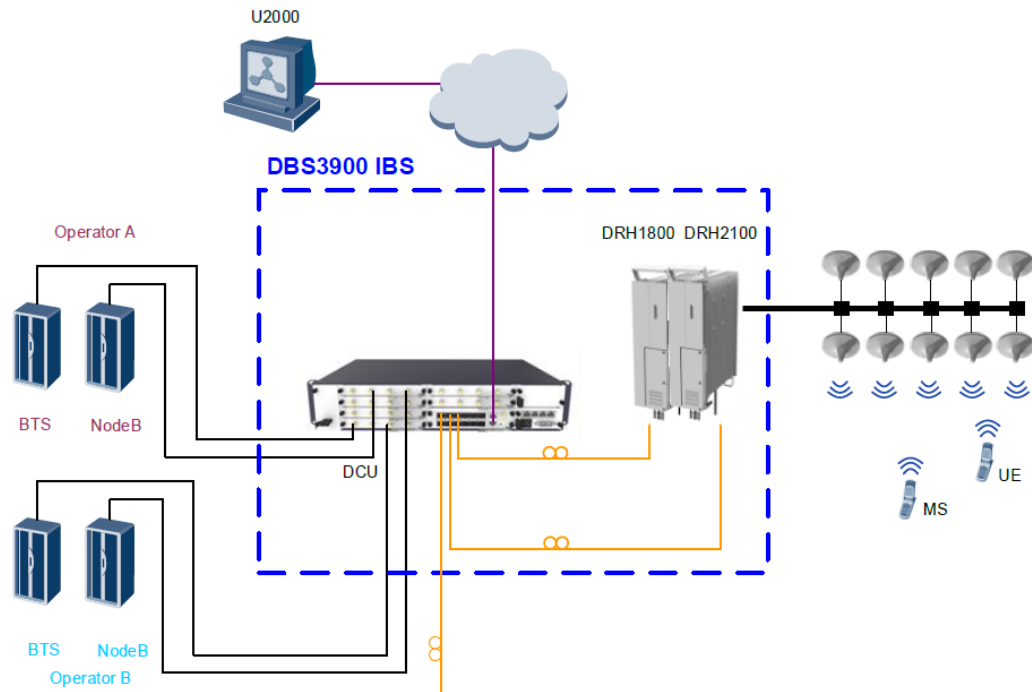


Ilustración 48: Diagrama de conexión de una DCU y sus DRHs

En la imagen superior se puede apreciar como las **señales procedentes de los nodos** de cada operador se introducen en la unidad DCU directamente. Esta unidad las multiplexa y las envía **por fibra óptica a las DRHs**. Para cada banda de frecuencia se debe instalar una DRH diferente y existe la posibilidad de conectarlas en **cascada** (tienen puertos de fibra óptica de entrada y salida). La DRH demultiplexa su banda correspondiente y genera una señal RF a esa frecuencia por sus dos salidas a **43 dBm**. Como nuestras antenas solo tienen una boca y por lo tanto no tienen diversidad, solo haremos uso de una salida de los DRH.

A las DCU se le pueden conectar señales de hasta **cuatro operadores por cada banda** y tiene hasta **doce salidas ópticas** para conectar DRHs. Nosotros instalaremos tres DCUs, una por sector, a las que conectaremos los repetidores DRHs pertenecientes a cada sector. El esquema de repetición se encuentra en el siguiente apartado (Diseño físico final).

Además, cabe mencionar que el **retardo máximo** del sistema son **16 microsegundos** (como se tuvo en cuenta para minimizar el ISI) y que el **rango de valores de entrada** a la DCU es entre **+6 y +16 dBm**. Por eso son necesarios los acopladores.

#### 7.4.5 Nodos B y enodos B

Por supuesto será necesario instalar los equipos de radio. Cada uno de los operadores elige e instala los que considera necesario, utilizando las bandas de frecuencia para las que se ha pensado diseñar el proyecto. En nuestro caso se ha querido diseñar el nodo de uno de los operadores. Como ejemplo se ha escogido el operador Orange y diseñado un nodo del vendor Ericsson.

Para el diseño del enodo B (LTE) y del nodo B (UMTS) es imprescindible elegir las cabinets (RBS), las unidades digitales (DU) y las unidades de radio (RU).

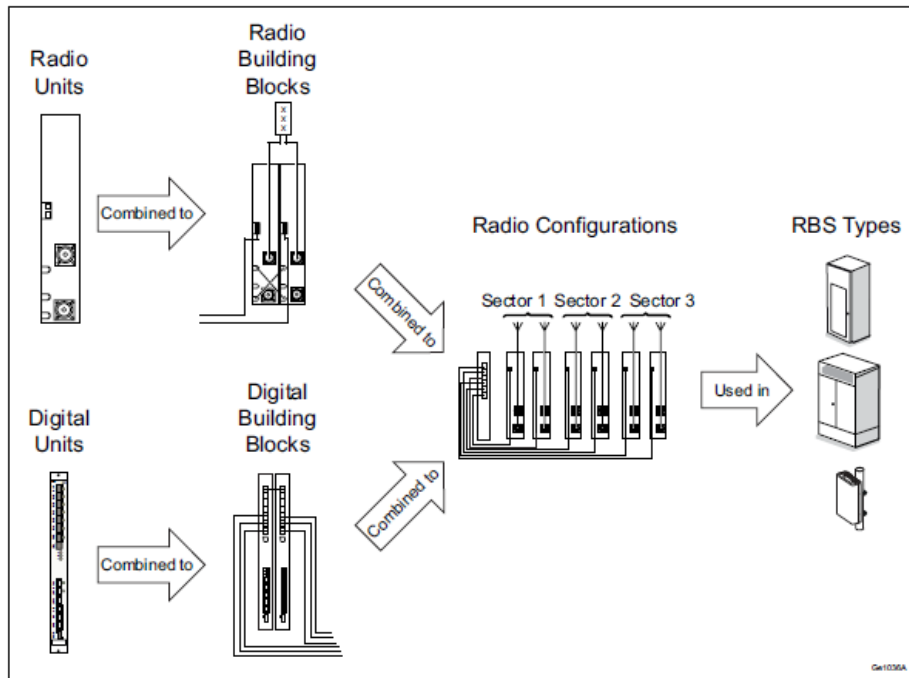


Ilustración 49: Equipos de radio que componen un nodo

En Ericsson a las **cabinets** se les llama RBS y existen diferentes familias. Nosotros hemos escogido una de la familia 6200, más concretamente la **RBS6201**. Es una cabinet pensada para interiores y para celdas de bastante capacidad. Además, permite integrar LTE y WCDMA en la misma RBS por lo que todos los equipos de radio de Orange los tendremos en el mismo armario. Esta cabinet dispone de dos baldas con espacio para **cuatro digital units** (o dos digital units dobles) y hasta **12 radio units**. Incluso si es necesario se puede agregar otro slot con capacidad de cuatro huecos para digital units extra.

Las Digital Unit que hemos escogido son la **DUW31** para WCDMA y la **DUS41** para LTE. Ambas ocupan dos huecos y tienen capacidad relativamente alta. Se pueden ver las especificaciones en el Anexo G. Por último, hemos elegido tanto para WCDMA como para LTE radio units del tipo **RUS02**. Cada RUS tiene dos puertos, uno RX y otro TRX de 80W (**49 dBm**). Solo se utilizará el TRX ya que las antenas no disponen de diversidad. Como queremos tres sectores por tecnología instalaremos seis radio units quedando el esquema final de la RBS de la manera que se muestra en la ilustración a la derecha.

En cada balda se instalan las DUs y las RUs de cada tecnología. Se dispone del slot con **cuatro huecos extra** por si hiciese falta instalar más digital units en el futuro. Con esta configuración ya estaría diseñado tanto el Nodo B como el eNodo B del operador Orange.

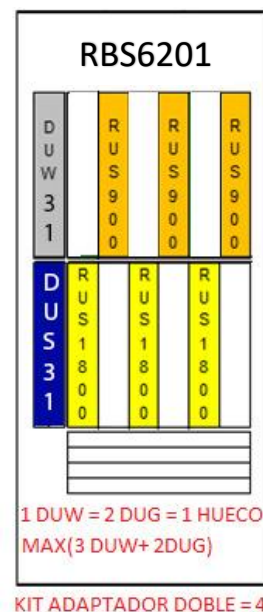


Ilustración 50: RBS diseñada

## 7.5 DISEÑO FINAL

Una vez escogidos los equipos y estudiado el entorno nos disponemos a realizar **la configuración final** del diseño físico. Lo primero de todo es definir los **operadores y la sectorización** del sistema.

### 7.5.1 Operadores

En este proyecto se busca dar servicio a tres operadores:

Operador/Tecnología	Orange	Movistar	Vodafone
2G	NO	NO	NO
3G	SÍ	SÍ	SÍ
4G	SÍ	SÍ	SÍ

Tabla 15: Tabla de operadores

**No se implantará 2G** en ninguno de los operadores puesto que el número de usuarios es reducido y no sería viable económicamente. Actualmente algunos tramos de cercanías en Madrid están cubiertos tan solo con **3G y 4G**.

### 7.5.2 Sectorización

La sectorización viene dada por el dimensionado de tráfico que realizan los operadores. Hemos establecido en un apartado anterior que cada celda puede dar cobertura como máximo a una estación. Necesitamos cubrir dos estaciones (Sol y NNMM) y tres tramos de túnel de alrededor de 2,5 km por lo que con **tres sectores** será más que suficiente. Como la distancia entre repetidores máxima es de 800 metros conectaremos 3 o 4 repetidores por celda dependiendo del tramo a cubrir. Se proporciona una tabla resumen de la sectorización:

Punto	Tipo de cobertura	Sector
<b>Atocha</b>	Cobertura propia	--
Apartadero 1 de Túnel 1	Repetidor	1
Apartadero 2 de Túnel 1	Repetidor	1
<b>Sol</b>	Repetidor	1
Apartadero 1 de Túnel 2	Repetidor	1
Apartadero 2 de Túnel 2	Repetidor	2
Apartadero 3 de Túnel 2	Repetidor	2
<b>Nuevos Ministerios</b>	Señal desde sala de equipos	2
Apartadero 1 de Túnel 3	Repetidor	2
Apartadero 2 de Túnel 3	Repetidor	3
Apartadero 3 de Túnel 3	Repetidor	3
Apartadero 4 de Túnel 3	Repetidor	3
<b>Chamartín</b>	Cobertura propia	--

Tabla 16: Resumen de sectorización

Se instalará la **sala de equipos** en la estación central (NNMM) que proporcionará cobertura a esa estación y al resto se les suministrará mediante repetidores.



### 7.5.3 Posicionamiento de repetidores

Se han tenido en cuenta tanto la **sectorización** como las **distancias máximas** entre repetidores de la misma celda (800 metros) y repetidores de distinta celda (650 metros). Se muestra el esquema final (más grande en el Anexo H):

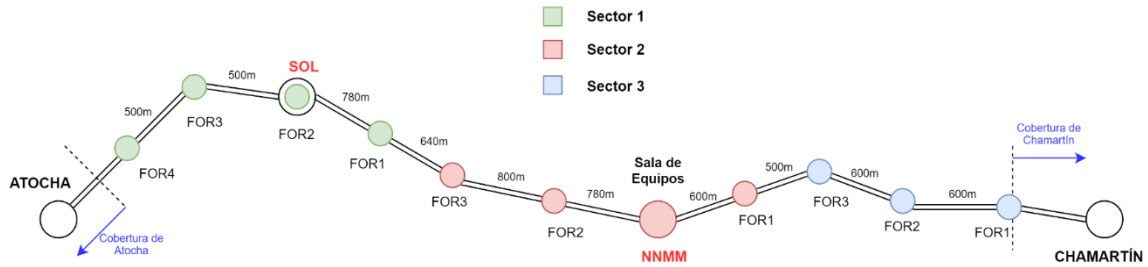


Ilustración 51: Posicionamiento de los repetidores

Las distancias marcadas en el esquema pueden variar hasta 20 metros si se encuentra otro apartadero óptimo o más amplio en el túnel. Se observa como los **handovers** se realizan siempre dentro del túnel y que la distancia mínima de 150 metros con buena señal está garantizada.

### 7.5.4 Sala de equipos

En la sala de equipos se instalarán los equipos tanto de LTE como de UMTS de cada uno de los tres operadores. Es necesario llevar estas señales a las DCU para su distribución a los repetidores y también dar cobertura a la estación central. Se ha definido que la cobertura a esta estación se hará mediante el sector dos de manera que tendremos dos configuraciones diferentes:

#### Sector 2:

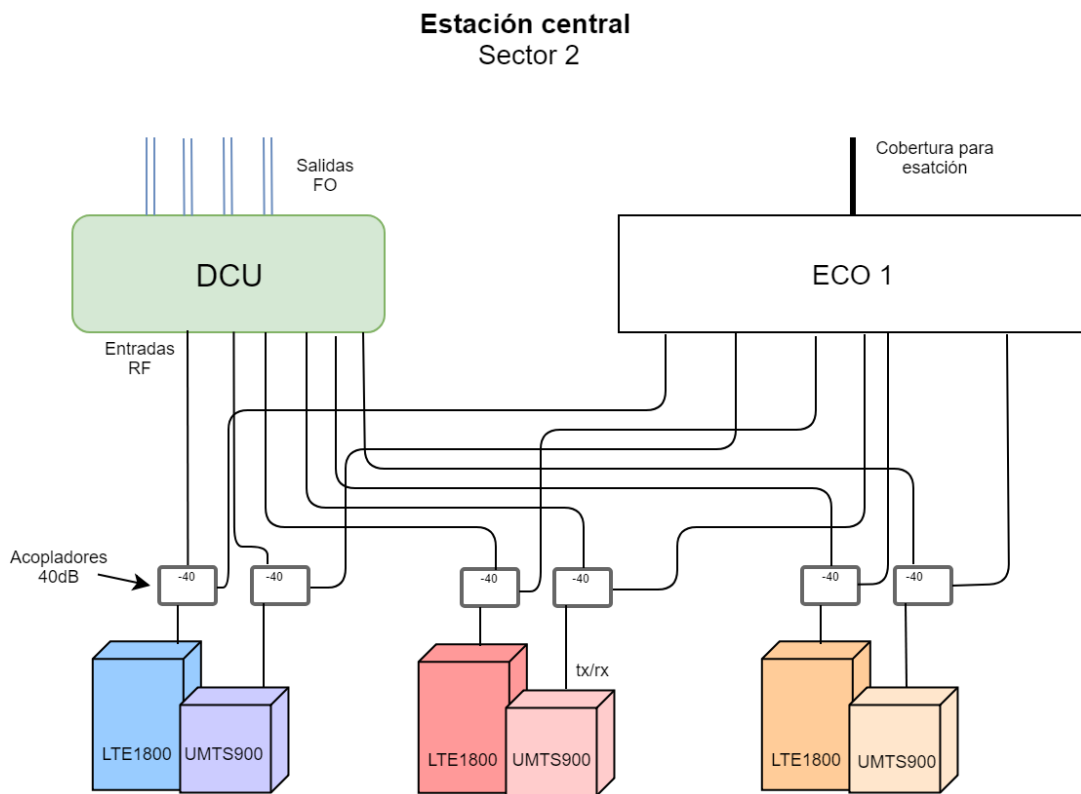
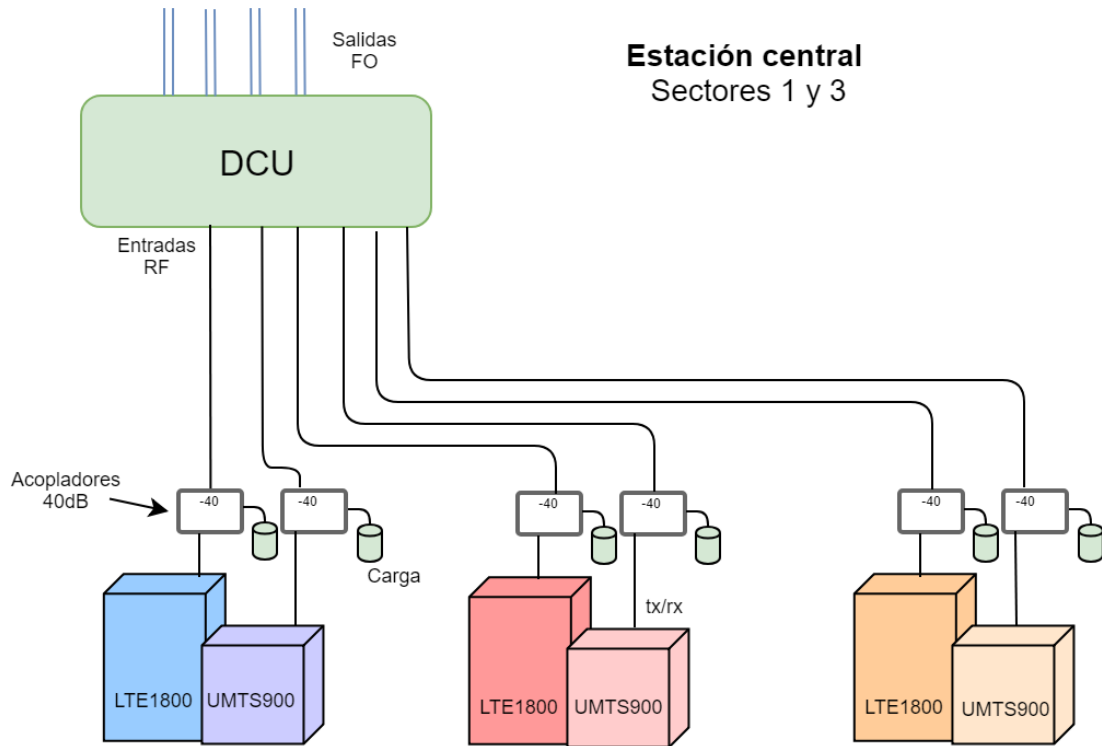


Ilustración 52: Esquema de distribución en estación central del sector 2

Se observa como la señal se obtiene únicamente del puerto TRX de las RUSes. Entra por un lado acoplada en 40 dB a la DCU para no quemarla y por otro lado sigue su camino hacia la etapa de combinación. Las señales de todas las bandas y operadores se combinan en una sola y de ahí se distribuye al sistema de antenas que tenga la estación de Nuevos Ministerios.

La DCU se encarga por su parte de multiplexar todas las señales de entrada y distribuir las a los DRHs en cada uno de los apartaderos de los túneles. En el apartado de repartición de fibra óptica se detalla mejor este concepto.

Sectores 1 y 3:



*Ilustración 53: Esquema de distribución en estación central de los sectores 1 y 3*

Los sectores dos y tres se comportan igual que el sector uno con la salvedad de que no es necesario dividirla. Toda ella entra directamente a la DCU correspondiente para ser transportada a los repetidores ópticos en los apartaderos de los túneles y en la estación de Sol.

**7.5.5 Etapas de combinación**

Se han definido dos etapas de combinación. Una de ellas es necesaria como hemos visto para combinar las señales que dan cobertura en la estación central. La llamaremos **ECO1**. La segunda etapa de combinación es necesaria en los repetidores ópticos. Estos repetidores están formados por dos DRHs en cascada, uno para cada banda. Como las antenas solo tienen una boca hay que combinar las señales en la **ECO2**. Ambas etapas de combinación se muestran a continuación:

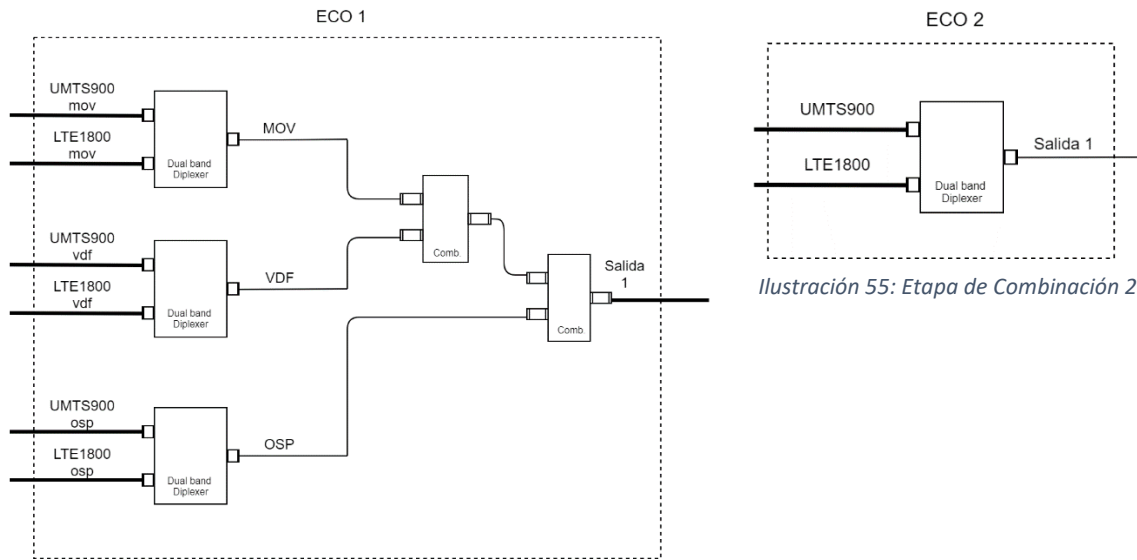


Ilustración 54: Etapa de Combinación 1

Ilustración 55: Etapa de Combinación 2

En la **ECO1** las dos señales de cada operador se diplexan y las tres señales diplexadas se combinan con un combinador triple o, como en este caso, con dos combinadores dobles. Esto genera una única salida.

La **ECO2** es una etapa muy sencilla; simplemente está formada por un diplexor que combina ambas bandas de frecuencia en una única salida que será llevada a las antenas.

### 7.5.6 Sistema de repartición de FO

En total tenemos diez repetidores de fibra óptica (DRH900 + DRH1800) a lo largo del tramo de cercanías que vamos a cubrir. Seis de ellos se encuentran en dirección Atocha y los otros cuatro en dirección Chamartín:

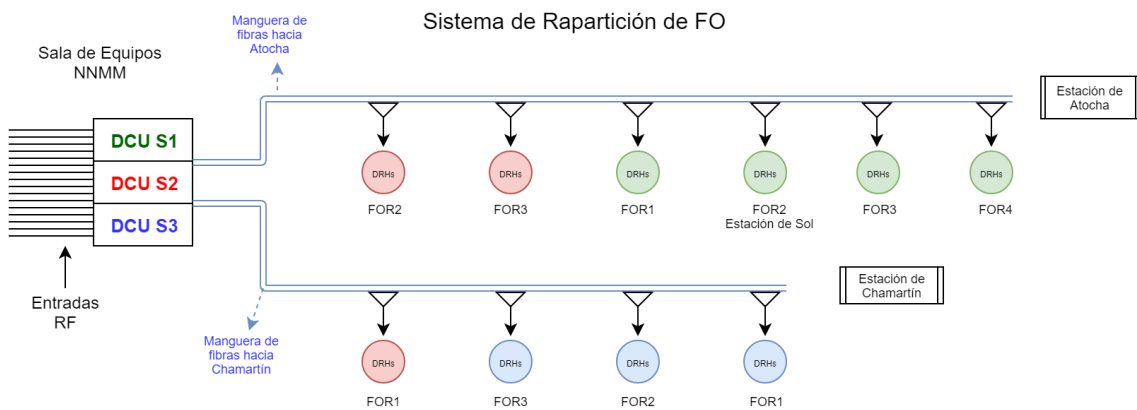


Ilustración 56: Esquema de repartición de FO

Como se muestra en el esquema, tenemos una **DCU por sector**. A cada una de ellas se le introducen las seis **señales RF** provenientes de los nodos. Después, se saca una fibra por cada FOR al que vaya a dar servicio esa DCU y se envía por la **manguera de fibras** correspondiente a la dirección de ese FOR. La fibra llega a uno de los DRH y el segundo se conecta en **casca**da.

### 7.5.7 Unifilares

Para el sistema de distribución de antenas se han diseñado dos **unifilares**. Uno para las antenas en los **apartaderos** y otro para las antenas en las **estaciones** (Sol y NNMM):

#### Apartaderos:

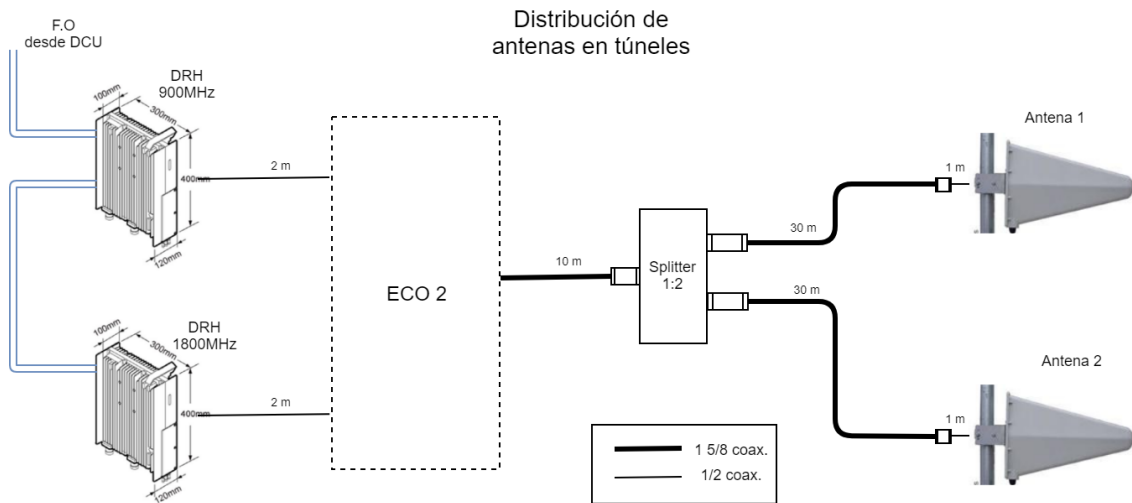


Ilustración 57: Unifilar de antenas en túneles

#### Estaciones:

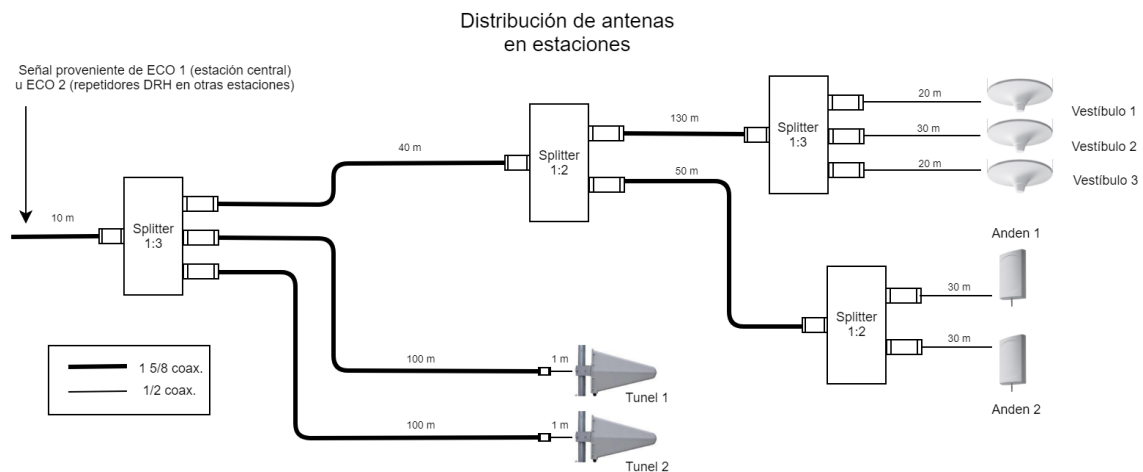


Ilustración 58: Unifilar de antenas en estaciones

En los apartaderos tendremos dos antenas **log-periódicas** situadas en lo alto del túnel. Cada una de ellas estará apuntando **en un sentido** como hemos descrito en apartados anteriores. El **down-tilt** será prácticamente nulo de manera que la señal se propague lo más lejos posible.

En las estaciones también disponemos de dos antenas log-periódicas que se situarán una en cada boca del túnel (también en lo alto). Para cubrir los andenes dispondremos de dos antenas de **panel** y para cubrir los vestíbulos de tres antenas **indoor omnidireccionales**.

La señal que llega a cada antena más la ganancia de ésta determinará su **PIRE**. Queremos que la PIRE de las antenas log-periódicas de los túneles sea como **mínimo de 50 dBm** para garantizar los requisitos de cobertura. Para las de panel y las omnidireccionales la PIRE necesaria será mucho menor ya que en el

interior de la estación apenas habrá pérdidas por propagación. Estableceremos una PIRE **mínima de 20 dBm**. A continuación, se muestran unas tablas con las PIREs de estas antenas:

En apartaderos de túnel:

Antena	Señal procedente de DRH	Perdidas en ECO	Perdidas por cables y conectores	Pérdidas por Splitters	Ganancia antena	PIRE	Margen disponible
Log	43 dBm	0,1 dB	4,5 dB	3 dB	16,5 dBi	51,9 dBm	<b>1,9 dB</b>

*Tabla 17: Potencia que llega a las antenas en apartaderos de túneles*

En estación central:

Antena	Señal procedente de nodos	Perdidas en ECO	Perdidas por cables y conectores	Pérdidas por Splitters	Ganancia antena	PIRE	Margen disponible
Log	49 dBm	6,1 dB	4,5 dB	4,7 dB	16,5 dBi	50,2 dBm	<b>0,2 dB</b>
Panel	49 dBm	6,1 dB	6,5 dB	10,7 dB	7 dBi	32,7 dBm	<b>12,7 dB</b>
Omni	49 dBm	6,1 dB	9,8 dB	12,4 dB	2 dBi	22,7 dBm	<b>2,7 dB</b>

*Tabla 18: Potencia que llega a las antenas en la estación central*

En estación de Sol:

Antena	Señal procedente de DRH	Perdidas en ECO	Perdidas por cables y conectores	Pérdidas por Splitters	Ganancia antena	PIRE	Margen disponible
Log	43 dBm	0,1 dB	4,5 dB	4,7 dB	16,5 dBi	50,2 dBm	<b>0,2 dB</b>
Panel	43 dBm	0,1 dB	6,5 dB	10,7 dB	7 dBi	32,7 dBm	<b>12,7 dB</b>
Omni	43 dBm	0,1 dB	9,8 dB	12,4 dB	2 dBi	22,7 dBm	<b>2,7 dB</b>

*Tabla 19: Potencia que llega a las antenas en la estación de Sol*

Se aprecia en las tablas como a cada una de las antenas le llega la PIRE mínima necesaria e incluso hay un **ligero margen**. Para las antenas de panel y omnidireccionales este margen es bastante holgado con lo que la cobertura dentro de la estación será buena. Aunque en las antenas log-periódicas el margen sea más escaso, al cumplir el requisito de 50 dB, **se garantizan los niveles de calidad** que establecimos en el balance del enlace en todo punto del túnel.

## 7.6 OPTIMIZACIÓN

Al finalizar las etapas de diseño, y una vez obtenida la configuración final, se pone en marcha el sistema. El proyecto se ha centrado en dar cobertura a un par de estaciones y túneles, aunque en la realidad formaría parte de una **red más grande**. En el apartado teórico del diseño lógico ya hemos comentado como serían los procedimientos de creado de **vecinas** y adjudicación de **SCs y PCIs**. Finalmente queremos completar la parte del desarrollo del proyecto con una descripción de **procedimientos de optimización** de la red (engloban tanto a este nodo como a sus vecinos). Estos procedimientos posibilitan el **correcto funcionamiento y monitorización** del sistema.

La optimización tiene como objetivo detectar problemas y **degradaciones** en un entorno concreto. Un proyecto que está actualmente en marcha es el de optimización en la red de metro y cercanías de Madrid. Una vez dotado de cobertura, nuestro tramo de cercanías sería incorporado a este proyecto y los **optimizadores** irían **monitorizándolo** y aplicando cambios cuando fuese necesario.

Los indicadores que se usan en optimización son los denominados **KPIs**. Hay distintos tipos de KPI dependiendo de la degradación a la que hacen referencia. Los más utilizados son la **accesibilidad** (CSSR) y el porcentaje de **llamadas caídas** (DCR). A continuación, se muestra como ejemplo una típica gráfica de la evolución del DCR, tanto PS como CS, de un determinado grupo de nodos a lo largo del tiempo:

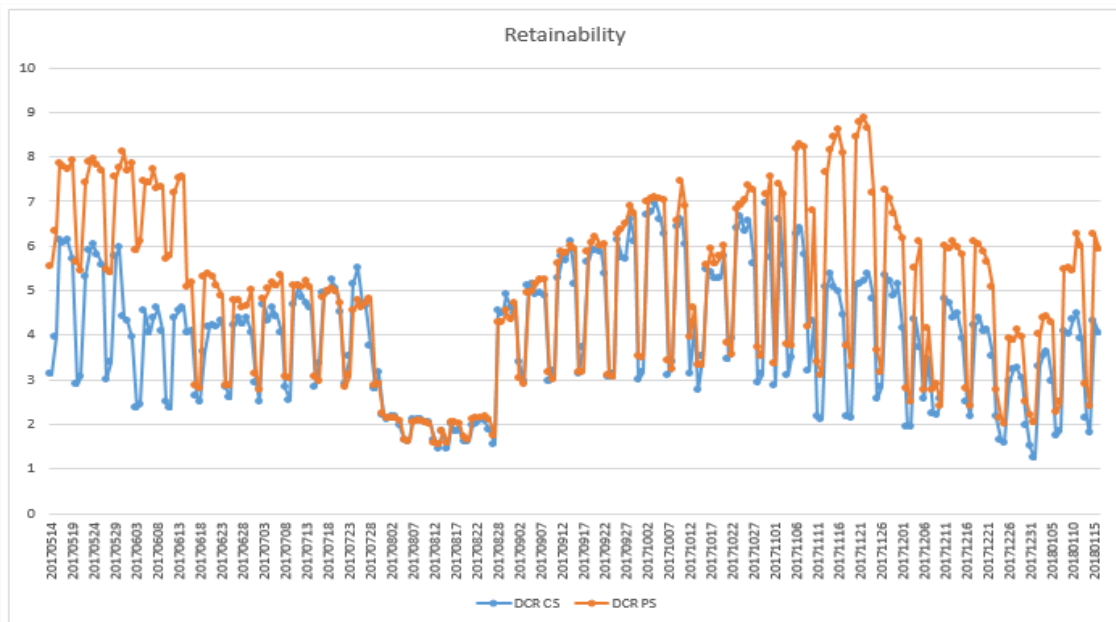
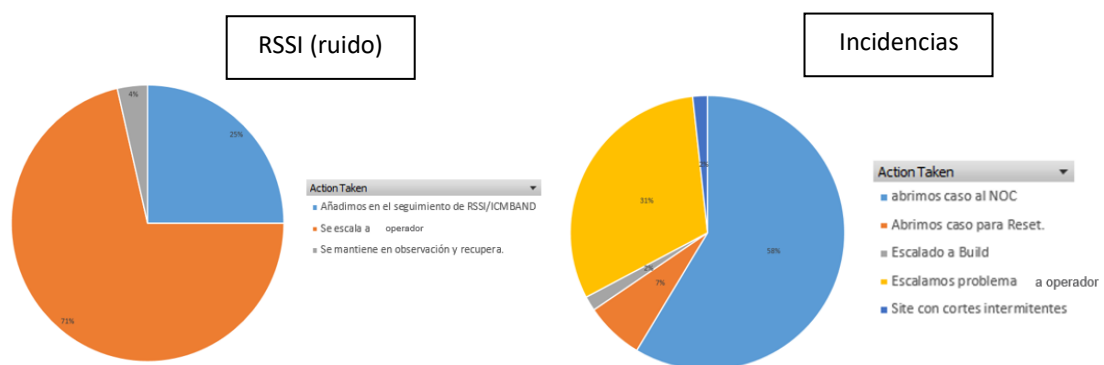


Ilustración 59: Evolución del DCR PS y CS en cercanías

En esta gráfica se puede identificar que en verano la congestión es mucho menor debido al menor tráfico. Si hubiese algún pico se identificaría y se iría **filtrando** por zonas, frecuencias, tecnologías, etc, hasta encontrar el origen de la degradación. También se suelen ordenar los datos de cada celda, según su número de fallos de mayor a menor, creando así un ranking en el cual las celdas **TOP** son las más afectadas. Otro de los mecanismos es comparar los fallos actuales de cada una con los fallos de esa misma celda en otro momento anterior en el tiempo creando así una **“delta de fallos”**.

Una vez **identificadas** las celdas o los nodos degradados se proceden a realizar las acciones pertinentes. Según el tipo de degradación, su gravedad o su persistencia se lleva a cabo una acción u otra.

En los gráficos (esta página y la siguiente) se ven casos tanto por **RSSI** (ruido externo en la banda de frecuencia) como por **incidencias puntuales** o simplemente sites que han sido **optimizados** para mejorar la cobertura. Las **acciones** llevadas a cabo son de todo tipo: añadir a ficheros de seguimiento, realizar tilts (aunque en el metro no aplicaría por el tipo de antenas instaladas), realizar un reset las RUSes, añadir o quitar una vecina, aumentar el nivel de señal de la portadora de referencia, etc. Siempre a criterio del optimizador, que llevará un seguimiento de la evolución de sus casos o su zona asignada.



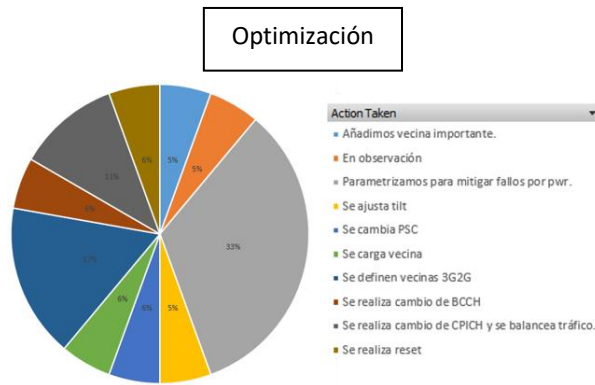


Ilustración 60: Gráficos con porcentaje de casos por RSSI, incidencias u optimización

En ocasiones, cuando se quiere mejorar una característica concreta de un grupo de nodos, se llevan a cabo los denominados “**Action Plans**”. Consisten en aplicar cambios masivos en las funcionalidades de un gran número de nodos mediante scripts. Ejemplos de este tipo de cambios pueden ser ajustes de parametrización para adelantar o retrasar HOs o balanceos de tráfico entre portadoras. Deben ser cuidadosamente estudiados y analizados ya que un cambio de esta magnitud puede mejorar los KPIs del conjunto (metro, cercanías, una provincia, ...) pero también puede empeorarlos.

## 7.7 PROPUESTA DE METODOLOGÍA

Tal y como se comentó al inicio del proyecto, el objetivo de éste es la **obtención de una metodología** de diseño. Esta metodología permitirá aplicar todas las fases que hemos llevado a cabo en cualquier entorno suburbano. En nuestro caso ha sido para un tramo específico de cercanías, aunque también se podría utilizar en un metro.

Una vez tratadas las **fases de diseño** a lo largo de la descripción de la solución, procederemos a abstraernos y convertirlas en un procedimiento genérico. La solución propuesta es un esquema de distribución mediante repetidores ópticos, de manera que la metodología se basa en dar cobertura con este tipo de solución. Este procedimiento se puede representar de una manera más visual con el siguiente **gráfico**:

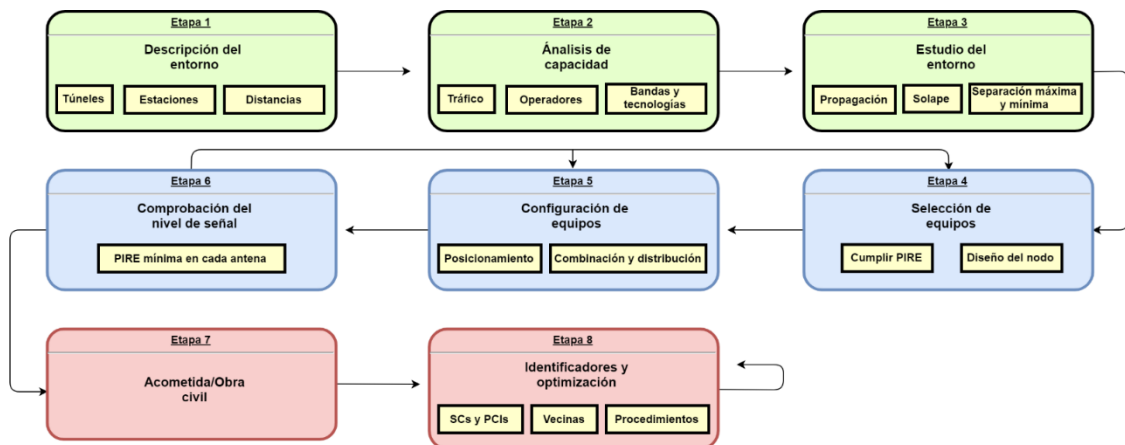


Ilustración 61: Diagrama de la propuesta de metodología

La **primera fase** está compuesta por tres etapas y está marcada de color verde. Es una fase previa de **análisis del entorno**. Lo primero de todo es describir el tramo a cubrir mediante planos, prestando

especial atención al número de estaciones, túneles y distancias entre ellos. La segunda etapa consiste en analizar el **tráfico** del entorno suburbano. Se hace un modelado en función de datos estadísticos y se da respuesta a las siguientes cuestiones:

- Número de nodos y celdas necesarios
- Bandas de frecuencia y tecnologías por operador

La última de las etapas de esta fase constituye una serie de **cálculos** necesarios posteriormente en el diseño. Se calculará, en este orden, el modelo de propagación, la distancia de solape, las distancias máximas entre repetidores y el delay para asignar el CP más adecuado. Para el modelo de propagación se tomarán medidas en los túneles con aparatos de radio. En esta simulación las medidas han sido proporcionadas por una empresa colaboradora en proyectos de optimización en metro y cercanías. Para el cálculo de las distancias máximas entre repetidores se hace un balance del enlace definiendo una PIRE mínima que se deberá cumplir en la segunda fase.

En la **segunda fase**, color azul, se trata por un lado de seleccionar los **equipos** y por otro lado de posicionarlos y configurarlos correctamente para que llegue la señal necesaria a cada antena. Después se comprobará que se cumple la PIRE mínima, y si no es así, se iterará volviendo a diseñar las etapas de distribución o incluso volviendo a la selección de equipos.

Por último, la **fase roja** consiste en llevar acabo la **obra civil**, gracias a los planos y unifilares proporcionados por el ingeniero. Una vez finalizada se asignan los identificadores (Scrambling Codes en 3G y PCIs en 4G) así como las vecinas. Para terminar, se incluye el tramo dotado de cobertura a un proyecto de **optimización** concreto en el cual los ingenieros irán modificando parámetros o configuraciones del nodo cuando sea preciso. Este proceso es constante a lo largo del tiempo y de esta manera se consiguen mejorar los KPIs de la red global de metro o cercanías.

Si se cumplen todas las etapas de la metodología en el orden indicado, se conseguirá un diseño (físico y lógico) que se adapta al entorno suburbano específico y que es económicamente eficiente y técnicamente fiable.



## 8 PLAN DE TRABAJO

En este apartado se explica el plan de trabajo seguido a lo largo del proyecto. Para la realización de este proyecto se ha creído conveniente dividirlo en unidades llamadas **paquetes de trabajo** o PTs. A continuación, se muestran unas tablas donde se aprecia una descripción del grupo de trabajo y de todos los paquetes. También se ha dibujado el **diagrama de Gantt**, y se ha realizado un resumen de los hitos y de los entregables a lo largo del mismo:

<b>Código</b>	<b>Responsabilidad</b>	<b>Nombre</b>	<b>Rol</b>
C1	Ingeniero Senior	Pablo Angueira	Director de proyecto
C2	Ingeniero Senior	Jon	Director técnico
C3	Ingeniero Junior	Jaime Torres	Autor del proyecto
C4	Otros Ingenieros	Ernesto, Iñigo	Subdirectores de diseño

Tabla 20: Grupo de trabajo

### PT0: Coordinación, gestión y supervisión del proyecto

Para este proyecto se han designado dos directores que los supervisarán durante toda la duración del mismo. Uno de ellos supervisa el trabajo realizado a nivel global, comprobando que se van cumpliendo los paquetes de trabajo. El otro supervisa los aspectos técnicos de redes móviles del proyecto. Se realizan reuniones con el director técnico con más frecuencia.

**Comienzo:** 08/01/2018

**Final:** 15/07/2018

**Recursos humanos:** Ingeniero Senior C1 (10h), Ingeniero Senior C2 (24h)

**Recursos técnicos:** Un ordenador con el software TEMS y Microsoft Office (25h)

Tabla 21: PT0

### PT1: Planificación del proyecto

Organizar qué trabajo se va a realizar y cómo se va a realizar.

**PT1.1: Definición de objetivos y alcance.** Establecer un por qué de la realización del proyecto y qué se quiere conseguir a lo largo de éste.

**PT1.2: Definición de las etapas.** Se definen los pasos a seguir para conseguir los objetivos del apartado anterior.

**Comienzo:** 08/01/2018

**Final:** 12/01/2018

**Recursos humanos:** Ingeniero Senior C1 (5h), Ingeniero Senior C2 (5h), Ingeniero Junior C3 (15h)

**Recursos técnicos:** Un ordenador con el software Microsoft Office (5h)

Tabla 22: PT1

#### PT2: Preparación

Estudiar los conceptos básicos que serán necesarios en los próximos apartados del proyecto. Se recibirán documentos de apoyo por parte de los subdirectores del proyecto que se encargan de monitorizar esta fase.

**PT2.1: Formación.** Se analiza y estudia documentación genérica sobre redes móviles.

**PT2.2: Análisis del estado del arte.** Se buscan y estudian trabajos, publicaciones e investigaciones sobre redes móviles en entornos suburbanos y propagación.

**Comienzo:** 13/01/2018

**Final:** 01/03/2018

**Recursos humanos:** Ingeniero Senior C2 (5h), Ingeniero Junior C3 (65h), Otros Ingenieros C4 (15h)

**Recursos técnicos:** Un ordenador con el software TEMS y Microsoft Office (40h)

Tabla 23: PT2

#### PT3: Análisis de las alternativas

Se estudian las distintas alternativas de cobertura en entornos suburbanos. Se escoge una en función de criterios económicos, del rango de cobertura y de la fiabilidad.

**PT3.1: Descripción.** Se describen cada una de las alternativas que posibilitan cobertura en túneles.

**PT3.2: Comparación de las alternativas.** Se clasifican ordenándolas de más adecuada a menos adecuada en función de los criterios anteriormente mencionados.

**Comienzo:** 01/03/2018

**Final:** 01/04/2018

**Recursos humanos:** Ingeniero Senior C2 (5h), Ingeniero Junior C3 (50h)

**Recursos técnicos:** Un ordenador con el software TEMS y Microsoft Office (35h)

Tabla 24: PT3

#### PT4: Simulación del diseño en un escenario real

A lo largo de este paquete de trabajo se realiza un diseño de red móvil en un escenario real de Cercanías Madrid. Esta simulación servirá para llegar al objetivo final, es decir, de aquí se abstraerá una metodología. Los subdirectores del proyecto revisan las fases de diseño llevadas a cabo durante la simulación.

**PT4.1: Estudio del entorno.** Se estudia el entorno suburbano con medidas y el programa TEMS. A partir de aquí podemos definir un modelo de propagación.

**PT4.2: Cálculos.** Con TEMS y Excel se realizan todos los cálculos necesarios para el diseño lógico y físico.

**PT4.3: Selección de equipos.** En este apartado del paquete de trabajo se escogen los equipos en función de lo calculado en apartados anteriores.

**PT4.4: Configuración final.** Se describe una solución final mediante unifilares, planos y tablas con la posición y configuración de los equipos seleccionados en el apartado anterior. Se comprueban los niveles necesarios.

**Comienzo:** 01/04/2018

**Final:** 01/06/2018

**Recursos humanos:** Ingeniero Senior C2 (15h), Ingeniero Junior C3 (90h), Otros Ingenieros C4 (20h)

**Recursos técnicos:** Un ordenador con el software TEMS y Microsoft Office (60h)

Tabla 25: PT4

**PT5: Abstracción de una metodología**

En este paquete se consigue el objetivo principal del proyecto, es decir, se abstrae de la simulación una metodología de diseño que pueda ser aplicada en entornos suburbanos.

**Comienzo:** 01/06/2018

**Final:** 10/06/2018

**Recursos humanos:** Ingeniero Senior C1 (5h), Ingeniero Senior C2 (5h), Ingeniero Junior C3 (15h)

**Recursos técnicos:** Un ordenador con el software Microsoft Office (10h)

Tabla 26: PT5

**PT6: Documentación**

Plasmar todos los resultados obtenidos en un documento final y preparar la presentación.

**PT6.1; Escribir la documentación del proyecto.** Realizar el documento final.

**PT6.2: Preparar la presentación.** Preparar la presentación del proyecto.

**Comienzo:** 10/06/2017

**Final:** 15/07/2017

**Recursos humanos:** Ingeniero Junior C3 (65h)

**Recursos técnicos:** Un ordenador con el software Microsoft Office (50h)

Tabla 27: PT6

Entregables		
<b>E1</b>	Documento que resume el plan de trabajo	12/01/2018
<b>E2</b>	Documento Word que recoge descripción de conceptos teóricos	20/03/2018
<b>E3</b>	Documentos Excel y Word con análisis de modelo de propagación	25/03/2018
<b>E4</b>	Documento Excel con cálculos de solape y balance del enlace	01/05/2018
<b>E5</b>	Documento Word con simulación de la solución	01/06/2018
<b>E6</b>	Planos y unifilares de posicionamiento de equipos y distribución de la señal	01/06/2018
<b>E7</b>	Gráfico con propuesta de metodología	12/06/2018
<b>E8</b>	Memoria del proyecto	28/06/2018

Tabla 28: Entregables

Hitos		
<b>H1</b>	Proyecto definido.	12/01/2018
<b>H2</b>	Preparación realizada.	01/03/2018
<b>H3</b>	Análisis de alternativas definido.	20/03/2018
<b>H4</b>	Diseño en escenario real terminado y evaluado.	01/06/2018
<b>H5</b>	Metodología propuesta.	10/06/2018
<b>H6</b>	Proyecto finalizado.	15/07/2018

Tabla 29: Hitos

Todas las etapas y apartados anteriores se han querido representar de una manera más visual mediante un **diagrama de Gantt**. Los paquetes de trabajo se muestran en color **rojo**, los subpaquetes en **azul** y los hitos en **negro**:

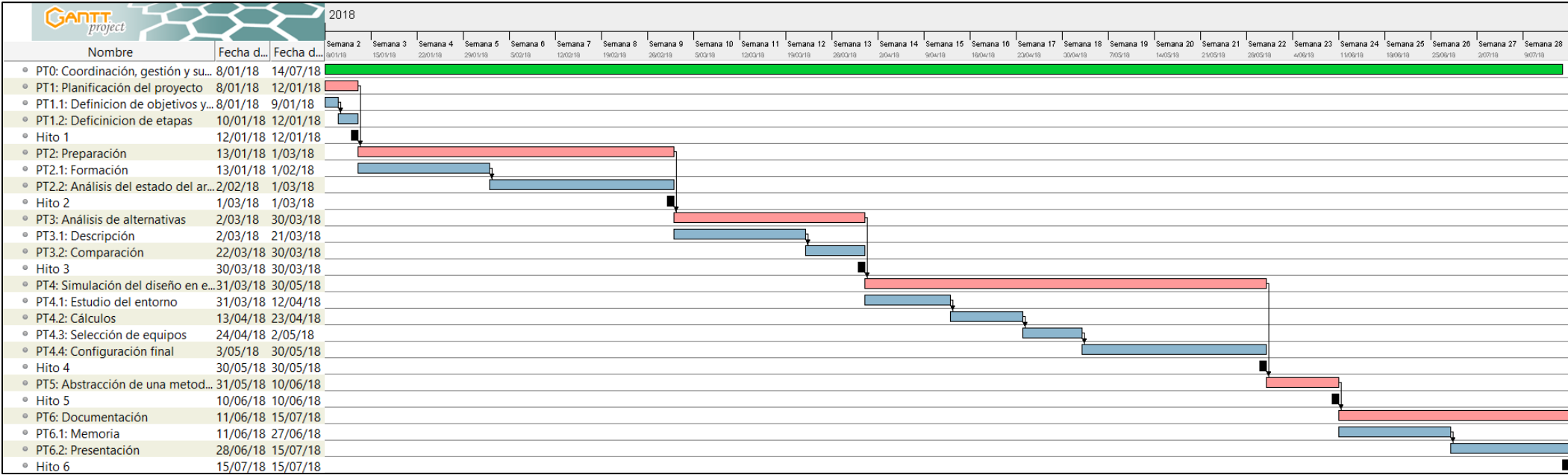


Ilustración 62: Diagrama de Gantt

## 9 RESUMEN ECONÓMICO

En este apartado se explicarán todos los gastos en los que se ha incurrido a lo largo del proyecto. Se ha creído conveniente dividirlos en cuatro grupos: **recursos humanos, amortizaciones, subcontrataciones y otros gastos.**

### 9.1 RECURSOS HUMANOS

Si realizamos una cuenta de las horas de los participantes de cada paquete de trabajo y el **coste** de cada una se obtienen los siguientes gastos:

Código	Coste (€/h)	Nº de horas	Coste total
<b>C1</b>	60,00	20	1.200
<b>C2</b>	60,00	59	3.540
<b>C3</b>	25,00	300	7.500
<b>C4</b>	50,00	35	1.750
<b>Subtotal</b>			<b>13.990 €</b>

Tabla 30: Recursos humanos

### 9.2 AMORTIZACIONES

Material que hay accesible tanto en la empresa colaboradora como en la universidad, y que se **puede reutilizar** en otro proyecto. El precio de los **ordenadores** se ha estimado en función del modelo y sus prestaciones, que son diferentes para cada participante. Se estiman 3.200 horas de vida útil. Las **licencias** del programa TEMS son de la versión “Investigation” y las de Office son las estándar, cada una con el coste que se indica en la tabla. En este caso se estiman 1.500 horas de vida útil. Se apunta en la columna cuatro el número de horas utilizadas de cada servicio por participante y se calcula el coste total del servicio en la columna cinco:

Recurso	Coste inicial (€)	Vida útil (h)	Tiempo de uso (h)	Coste (€)
<b>Ordenador del participante C1</b>	800	3.200	15	3,75
<b>Ordenador del participante C2</b>	1.200	3.200	50	18,75
<b>Ordenador del participante C3</b>	1.100	3.200	250	85,94
<b>Ordenador de los participantes C4</b>	1.200	3.200	15	5,63
<b>Licencia anual de TEMS de C2</b>	3.000	1.500	5	10,00
<b>Licencia anual de TEMS de C3</b>	3.000	1.500	20	40,00
<b>Licencia anual de TEMS de C4</b>	3.000	1.500	10	20,00
<b>Licencia anual de OFFICE de C1</b>	80	1.500	12	0,64
<b>Licencia anual de OFFICE de C2</b>	80	1.500	30	1,60

Licencia anual de OFFICE de C3	80	1.500	200	10,67
<b>Subtotal</b>				<b>196,98 €</b>

Tabla 31: Amortizaciones

### 9.3 SUBCONTRATACIONES

No se ha realizado ninguna subcontratación en la realización de este proyecto. El coste de este subapartado es **nulo**.

### 9.4 OTROS GASTOS

Material que una vez acabado el proyecto **no se podrá reutilizar**:

Recursos	Coste (€)
Material de Oficina	120,00
<b>Subtotal</b>	<b>120,00 €</b>

Tabla 32: Otros gastos

### 9.5 COSTES TOTALES

El resumen de todos los costes del proyecto se muestra en la siguiente tabla:

Declaración de costes	
Recursos humanos	13.990,00 €
Amortizaciones	196,98 €
Subcontrataciones	0,00 €
Otros gastos	120,00 €
<b>Total</b>	<b>14.306,98 €</b>

Tabla 33: Costes totales

A lo largo del desarrollo del presente proyecto se ha incurrido en un gasto total de **catorce mil trescientos seis euros con noventa y ocho céntimos**.

# 10 ANÁLISIS DE RIESGOS

---

En este apartado se realiza un análisis de todos los riesgos que pueden ir surgiendo a lo largo del presente proyecto. Estos riesgos se pueden traducir en **demoras** en la entrega de alguno de los documentos o en la consecución de los hitos. Incluso podrían **afectar a los costes** totales aumentándolos.

## 10.1 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Lo primero es identificar los riesgos potenciales para después introducir ciertas medidas que nos permitirán controlarlos (**mitigarlos**) e incluso **solucionarlos**. A cada riesgo se le asignará un código que posteriormente representaremos en la tabla inferior para calificarlo en función de su **gravedad**.

### 10.1.1 R1: Indisponibilidad de los miembros del proyecto

Uno de los posibles riesgos, siempre presente en proyectos de este tipo, es que alguna de las personas implicadas no esté disponible durante cierto periodo de tiempo. Esto puede darse por **enfermedad, baja laboral, permiso, vacaciones**, etc. El no poder contar con alguno de los participantes supondrá un retraso en la planificación prevista.

Para mitigar este riesgo es importante evaluar la gravedad de la ausencia y dependiendo de ella actuar en consecuencia. Si se produce debido a un viaje se procederá a trabajar **a distancia** durante ese periodo de tiempo utilizando herramientas como Skype o simplemente por teléfono. Si la ausencia es indefinida se **sustituirá** a ese miembro del equipo por otro.

### 10.1.2 R2: Imposibilidad de obtener mediciones fiables

A lo largo de este proyecto necesitamos **obtener medidas** (nivel de señal en túnel), valores de parámetros (por ejemplo, el TTT) y distancias en túneles para nuestros cálculos. Estas medidas y valores deben de ser proporcionadas por los operadores, siempre por mediación de la empresa colaboradora. Existe el riesgo de que ciertos documentos de los operadores no estén disponibles para su difusión o que haya impedimentos por privacidad.

Para intentar minimizar este riesgo se solicitarán los documentos a más de un operador, pudiendo incluso compararlos si se obtienen **diferentes versiones**. Se puede incluso solicitar documentos a operadores y empresas extranjeras, con menos restricciones de **privacidad**, si es necesario.

### 10.1.3 R3: Problemas con los recursos software

Para la realización de una simulación y su posterior documentación son necesarios ciertos recursos software y pueden surgir problemas. Estos problemas pueden ser bien por **licencias** como por su **mala utilización**. El primero conllevaría un aumento en el coste y el segundo un retraso en las fechas de entrega de los documentos.

La aparición de este tipo de problemas está prácticamente garantizada, aunque es verdad que el impacto no es muy alto debido a su **fácil solución**. Para evitar en cierta medida estos contratiempos se puede hacer uso de los recursos humanos (técnicos informáticos) disponibles tanto en la universidad como en la empresa colaboradora.

## 10.2 CALIFICACIÓN DE RIESGOS

Una vez identificado los posibles riesgos del proyecto se procede a evaluar cada uno. Para ello, se definen los parámetros de impacto y probabilidad de ocurrencia.

- Probabilidad de ocurrencia → P
  - 1 (Baja), 2 (Medio-baja), 3 (Medio-alta) o 4 (Alta)
- Impacto → I
  - 1 (Bajo), 2 (Medio-bajo), 3 (Medio-alto) o 4 (Alto)

La calificación de los posibles riesgos identificados es la siguiente:

1. **R1:** Indisponibilidad de los miembros del proyecto
  - a. P = 3 (Medio-alta)
  - b. I = 2 (Medio-bajo)
2. **R2:** Imposibilidad de obtener mediciones fiables
  - a. P = 1 (Baja)
  - b. I = 2 (Medio-alto)
3. **R3:** Problemas con los recursos software
  - a. P = 2 (Medio-alta)
  - b. I = 2 (Bajo)

Una vez evaluado cada riesgo, se muestran gráficamente todos los riesgos en una matriz de probabilidad-impacto:

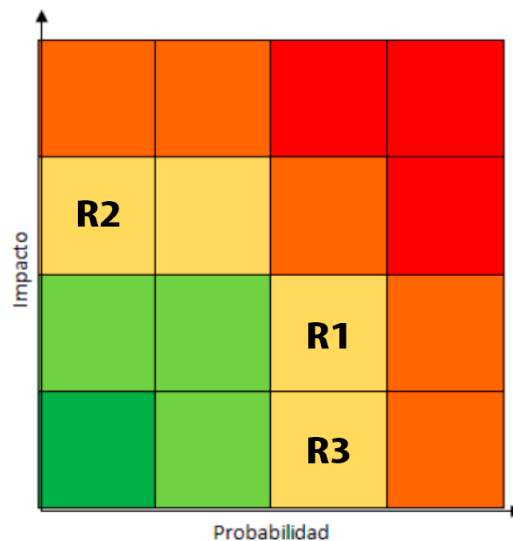


Ilustración 63: Matriz de riesgos (probabilidad-impacto)



# 11 CONCLUSIONES

---

En este capítulo se recogen las conclusiones generales de cada uno de los apartados del proyecto. Se describirá la **metodología** seguida en cada uno de ellos, así como los **resultados** finales.

Haciendo referencia a los primeros apartados, se quiere comentar que se estableció un **objetivo claro**, proponer una metodología de diseño de redes móviles en entornos suburbanos, que cubriría una necesidad descrita en la introducción de esta memoria. Además de esta metodología se establecieron objetivos secundarios tales como el estudio de conceptos genéricos de diseño de redes móviles, obtención de modelo de propagación y simulación del diseño en un entorno suburbano real. Como continuación, se listaron los **beneficios** que acarrearía la consecución de estos objetivos: despliegue de red móvil más eficiente y económico en metro y cercanías, así como mejora de cobertura para el público general.

Los siguientes puntos se centraron en el estudio teórico del **estado del arte**. Lo primero era empezar con la descripción de conceptos genéricos de diseño físico y lógico que se utilizarían más adelante. También se hizo especial hincapié en el análisis de las **alternativas** para áreas suburbanas. Se plantearon tres: cobertura proveniente del exterior, cobertura mediante “leaky feeders” y un **sistema de antenas distribuido**. El primero se descartó principalmente por su ineficacia en túneles largos, el segundo por el coste económico y se optó por el tercero.

El apartado que sigue, **descripción de la solución**, es el más extenso y detallado del proyecto. Esto es debido a que para la simulación del despliegue de una red móvil es necesario llevar a cabo una serie de etapas a las cuales hay que añadir otras propias de los entornos suburbanos. Se obtuvo un modelo de propagación adecuado, se realizaron todos los cálculos y se dibujaron los planos que darían cobertura a un entorno suburbano real. De esta forma se cumplieron los objetivos secundarios y solo quedaba proponer la metodología.

Para la **propuesta de metodología** se llevó a cabo un proceso de abstracción de la solución planteada en el apartado anterior. Las etapas que se ejecutaron durante la simulación constituyen el objetivo principal del proyecto y se resumen de manera visual con un **gráfico**. Todo esto se describe con más detalle en el último capítulo del apartado “Descripción de la solución”. Al mismo tiempo la validez de la metodología queda contrastada ya que son los mismos pasos descritos durante la simulación y al final de ésta se comprueba que los niveles de señal en todo punto están por encima del mínimo.

Se ha concluido el trabajo con un resumen del **plan de proyecto** en el cual se muestran todos los paquetes y entregables que se han ido ejecutando en las fechas establecidas. También se ha hecho un análisis para estudiar la **viabilidad económica** del proyecto. La conclusión de este análisis ha sido satisfactoria. Por último, se han estudiado los **riesgos** presentes a lo largo del desarrollo y la forma de solucionarlos o mitigarlos.

## 12 REFERENCIAS

---

- [1] A. Hrovat, G. Kandus and T. Javornik, *"A Survey of Radio Propagation Modeling for Tunnels"*, IEEE Communications Society, 2013.
- [2] DJ. Cichon, T. Kurner y E. Bonek, *"Propagation Prediction Models"*, Cost.231, Technical University of Vienna, 1998, pp. 190-196.
- [3] J. Lähteenmäki, *"Testing and verification of indoor propagation models"*, Cost.231, Sept 1994.
- [4] S. W. Marcus, *"A hybrid method for computing transmission losses in an inhomogeneous atmosphere over irregular terrain"*, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 40, no. 12, Dec. 1992.
- [5] P. Kreuzgruber, P. Unterberger, R. Gahleitner, *"A ray splitting model for indoor radio propagation associated with complex geometries"*, Proc. IEEE, USA, 1993, pp. 227-230.
- [6] Ericsson, *"Tunnel Planning Guideline"*, Ericsson Radio Systems AB 2000, Jan. 2000.
- [7] P. Aviles, C.A. Rodríguez, S. Montejó, R. López, E. Orozco, *"Study of Handover Impact in LTE Networks"*, UCLV, 2016.
- [8] 3GPP, *"Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities"*, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 36.306, June 2010.
- [9] 3GPP, *"Technical Specifications and Technical Reports for a UTRAN-based 3GPP system" (Release 8)*, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TR 21.101
- [10] A. Racz, A. Temesvary, and N. Reider, *"Handover performance in 3gpp longterm evolution (lte) systems"*, in Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST, july 2007, pp. 1–5.
- [11] Ericsson, *"Intra-LTE Handover"*, Ericsson Radio Systems AB 2017, CPI 57/221 04-LZA 701 6014/1, Sept. 2017.
- [12] Ericsson, *"Handover WCDMA RAN"*, Ericsson Radio Systems AB 2016, CPI 76/1553-HSD 101 02, Apr. 2016.
- [13] Eurostat, *Estadísticas de consumo*, Oficina Europea de Estadística.  
<http://ec.europa.eu/eurostat>

- [14]INE, “*Estadísticas de Transporte de Viajeros*”, Instituto Nacional de Estadística, Ago. 2014. <http://www.ine.es/daco/daco42/daco4210/tv0614.pdf>
- [15]Metro Madrid, *Datos estadísticos de viajeros*, Metro de Madrid Portal Online. [https://www.metromadrid.es/es/portal\\_de\\_transparencia/](https://www.metromadrid.es/es/portal_de_transparencia/)
- [16]Ascom, “*TEMS Investigation User’s Manual*”, Ascom Network Testing AB, Doc. no NT13-24937, 2013.
- [17]3dB Consult, *Documentación interna*, 3dB Consultores Sociedad Limitada, 2012-2018.<sup>1</sup>
- [18]Ericsson, *Documentación interna*, Ericsson Radio Systems AB, 1999-2018.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Además de los trabajos citados, una gran parte de los documentos usados como referencias en este proyecto han consistido en documentación interna de 3dB Consult.

<sup>2</sup> Además de los trabajos citados, una gran parte de los documentos usados como referencias en este proyecto han consistido en documentación interna de Ericsson.

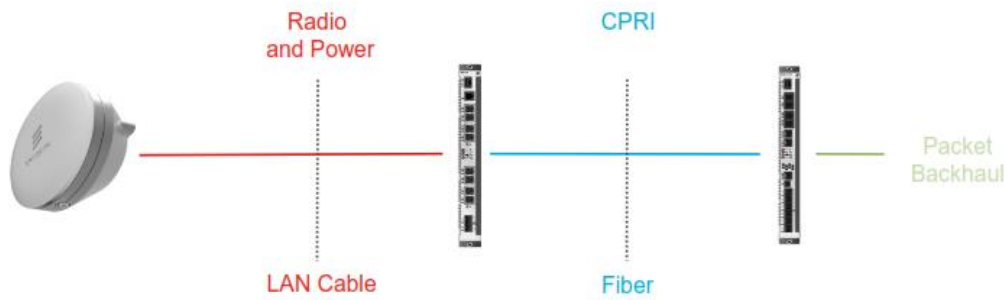
---

# ANEXO A

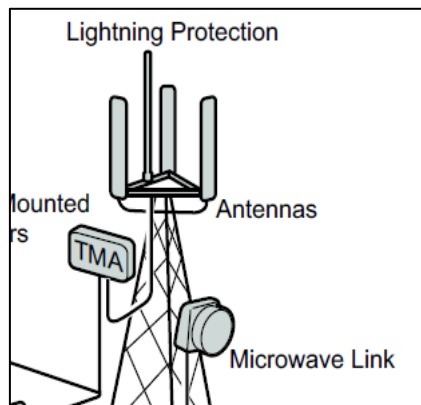
---

Enlaces de Transmisión

## ANEXO: Enlaces de transmisión



El enlace de transmisión es el medio físico que **interconecta los nodos B** (equipos radio) y **las estaciones controladoras** de las distintas tecnologías que haya implantadas en el emplazamiento. Normalmente se hace mediante enlaces RF punto a punto.



El problema de las redes móviles en entornos suburbanos es que **no hay cobertura visual** para este tipo de enlaces por lo que habrá que buscar una solución alternativa. No es el objetivo de este proyecto, pero se podría contemplar una solución mediante **fibra óptica**:

- Desde la arqueta de fibra óptica de cada uno de los operadores de red habrá que realizar una fusión de fibras, multiplexar las señales que nos interesan y hacerlas bajar hasta la sala de equipos donde se encuentra nuestro nodo.

---

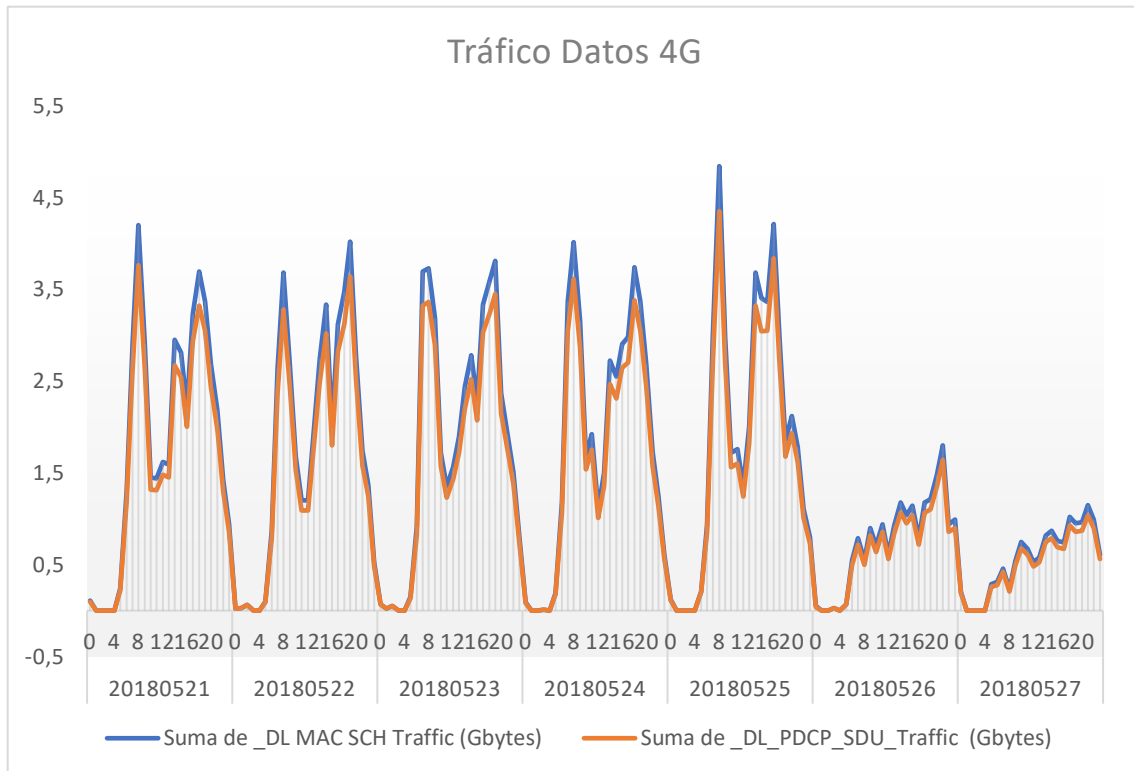
# ANEXO B

---

Modelado de Tráfico

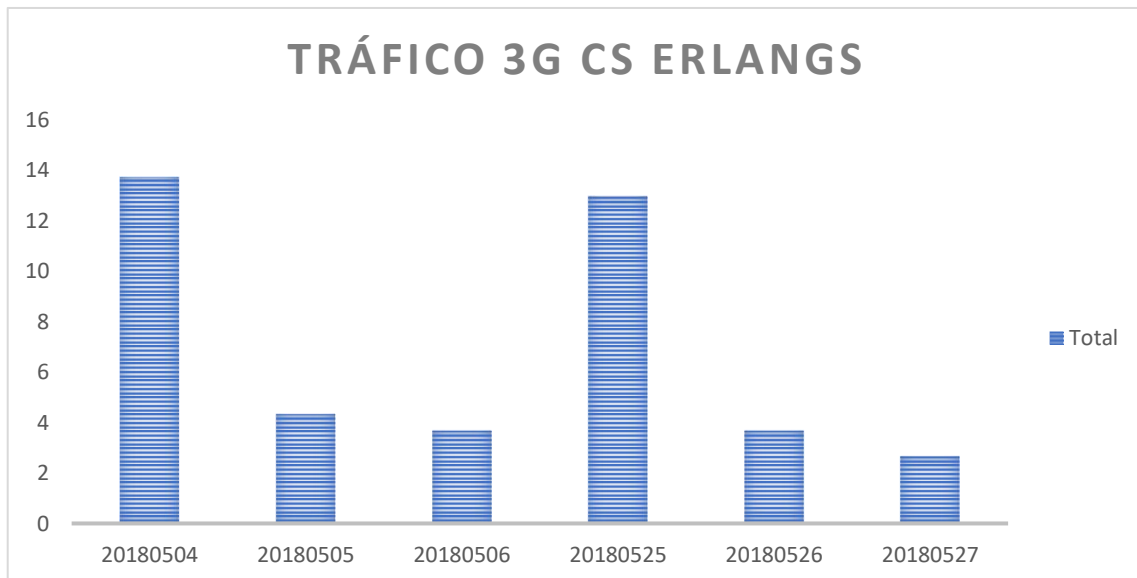
## ANEXO: Modelado de Tráfico

Este anexo servirá como **justificación** del número de estaciones al que podemos dar servicio con una celda. Para ello normalmente cada operador tiene sus propios criterios. Como en este caso no conocemos los criterios del operador, nos basaremos en el tráfico de otras celdas de cercanías que están ya operativas. En este caso hemos tenido acceso a los datos de un **nodo perteneciente a la red de cercanías de Madrid**. Por un lado tenemos el tráfico de voz en 3G medido en **Erlangs** y por otro lado el tráfico de datos en 4G medido en **Gbytes**. Como la gran mayoría del tráfico de **voz es en 3G y de datos en 4G** podremos basarnos en estas gráficas:



Esta celda ha sido escogida porqué es de características similares a las que vamos a implantar y está funcionando prácticamente al límite de su capacidad de manera que podemos basarnos en sus datos de tráfico para el dimensionado.

En la primera de las gráficas tenemos los datos horarios del **tráfico 4G** a lo largo de la semana. Se ve como de **lunes a viernes** hay mucho más tráfico que los **fines de semana** y que la hora punta es a las 8-9 de la mañana. A esta hora el tráfico absorbido por la celda es de unos **5 Gbytes**. Si (según datos estadísticos) la media de consumo por persona en el metro durante una hora es de 10 MB, lo equivalente a diez canciones o dos o tres videos en calidad SD. Nos queda entonces que podemos dar servicio a un máximo de **500 personas** en hora punta. Si accedemos a los datos que metro o cercanías de Madrid tienen publicados en su web calculamos una media de 2500-3000 personas por estación haciendo uso del servicio a esa hora (estaciones grandes). También debemos tener en cuenta que no todas esas personas harán uso simultáneo del servicio y que no todas tienen tarifa con ese operador. Con lo cual podríamos dar servicio a unos 400-450 usuarios como **máximo**, es decir, **a una estación por celda**, incluyendo los tramos de túnel.



La segunda gráfica representa los **Erlangs de tráfico de voz diarios en 3G**. Siendo el día 04 y 25 viernes, y los días 05, 06, 26 y 27 fines de semana. Si cogemos como referencia un viernes, es decir 14 Erlangs, eso equivalen aproximadamente a 850 minutos de voz a la hora, y si la media de una llamada es de 1,5 minutos obtenemos una capacidad de **500 usuarios**. Que es igual al caso anterior: **una estación más sus túneles**.

Nuestro tramo a cubrir consta de dos estaciones más sus túneles. Como un nodo tiene normalmente tres sectores (celdas 3G y 4G), podremos cubrir todo el proyecto con **solamente un site**. A cada una de las celdas se le pueden conectar **repetidores**. Cada repetidor tiene un coste adicional de manera que se instalarán solo los necesarios para cubrir el tramo descrito.



---

# ANEXO C

---

Modelo de Propagación

## ANEXO: Modelo de Propagación

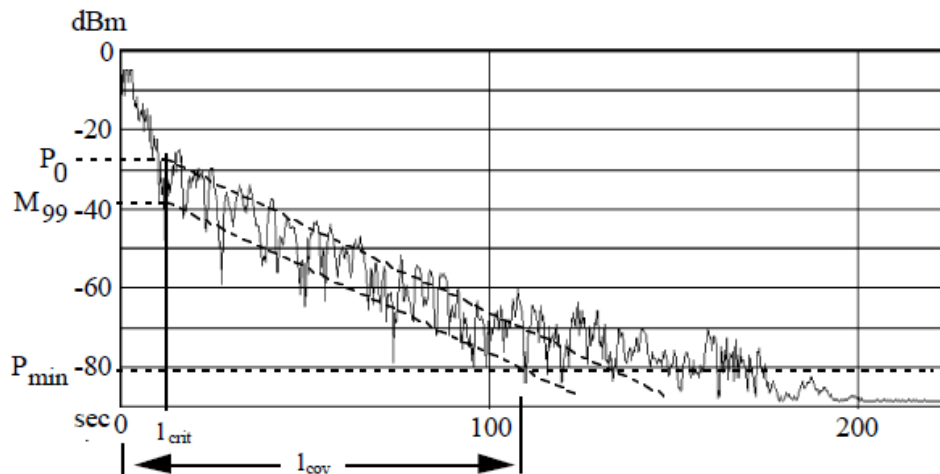
Las pérdidas por trayecto dentro de un túnel son difíciles de caracterizar debido a que hay muchos factores a tener en cuenta para la propagación de la señal:

- **Sección del túnel:** una sección semi-circular tiene peor propagación que una sección rectangular (alrededor de 2 dB menos)
- **Forma del túnel:** un túnel con muchas curvas normalmente tiene peor propagación que uno recto. Además, si tiene aberturas en su interior también tiene peor propagación (aunque las señales del exterior penetrarían mejor)
- **Obstáculos en el interior:** por ejemplo; ventiladores, otras antenas o señales, podrían penalizar seriamente la propagación
- **Tipo de tráfico:** la presencia de alta densidad de vehículos, camiones o trenes que ocupen la sección del túnel también afecta

Existen diversos estudios teóricos y experimentales que analizan la propagación de las señales de radio UHF y VHF en túneles. Además, muchos de ellos específicamente pensados para distancias medias y cortas y aplicaciones de GSM, UMTS, WiFi, LTE and WiMAX. Dentro del túnel está comprobado que generalmente la atenuación es más pequeña que en el espacio libre, debido a su geometría parecida a una guía onda. Los modelos de canal que describen este fenómeno se dividen en **modelos de canal deterministas y empíricos**. Los modelos deterministas incluyen **modelos de guía de onda**, modelos basados en “Ray Tracing” y modelos basados en métodos numéricos para resolver las **Ecuaciones de Maxwell** en un entorno de túneles. Los modelos empíricos más utilizados son aquellos basados en un canal “two-slope” (dos pendientes).

Los túneles normalmente están repletos de trenes y/o coches, además de que sus paredes no son planas y contienen muchos obstáculos. Además, los vehículos y personas moviéndose dentro del túnel y ocupando su sección causa que la propagación de las señales sea totalmente impredecible y variable. En estos casos los **modelos de canal empíricos, como por ejemplo el de two-slope, proporcionan información muy fiable y adecuada** sobre las pérdidas por trayecto dentro del túnel.

En este proyecto se hará uso de un modelo empírico “two-slope” que a su vez se basa en los modelos de “waveguide” y “ray tracing”.



Measured signal level in road tunnel and fitted model ( $f = 960$  MHz,  $v = 80$  km/h,  $100$  sec =  $1.9$  km)

Se define un **punto crítico**  $l_{crit} = \frac{D^2}{\lambda}$  a partir del cual las características de propagación del túnel se empiezan a comportar de una manera distinta (“two-slope”, tal como se puede ver en la imagen).

Donde **D es la dimensión más larga** de la estructura guía onda (el túnel) y  **$\lambda$  es la longitud de onda**. A esa distancia las diferencias de fase entre trayectos individuales se vuelven más pequeñas que un cierto valor. De manera que la cobertura en cualquier punto puede predecirse mediante la siguiente ecuación:

$$P_r = P_0 - 1 * \alpha_0$$

**Pr sería la potencia recibida** en dB a una distancia l de la antena (dentro del túnel), **P0 es el nivel de referencia medido a una distancia lcrit** de la antena, y **a0 es el factor de pérdidas por propagación** (dB/km) específico de cada túnel y frecuencia.

Tanto **P0 como a0 son medidas de referencia** para cada túnel, y deben de obtenerse empíricamente (con aparatos de medición). Para realizar un cálculo práctico de la distancia de cobertura (lcov), se debe incluir un **margen de probabilidad** (por ejemplo, el nivel de diferencia entre probabilidad de cobertura del 50% y 99%, M99) para obtener finalmente la ecuación:

$$l_{cov} = l_{crit} + (P_0 - M_{99} - P_{min}) / a_0$$

Algunos ejemplos de resultados de la aplicación de este modelo para distintas configuraciones:

Situation	P <sub>0</sub> [dBm]	C [dB]	a <sub>0</sub> [dB/km]	M <sub>95</sub> [dB]	M <sub>99</sub> [dB]	l <sub>cov</sub> ·(95/99%) [km]
960 MHz, 53dBm ERP, Tx in niche	-25	78	20	8	13	3.3 / 3 (both directions)
960 MHz, 53dBm ERP, Tx 67m outside	-23	76	18-22	8	13	~3.3 / 3
1800 MHz, 46dBm ERP, Tx in niche	-45	91	14	12	18	3 / 2.7 (both directions)
1800 MHz, 46dBm ERP, Tx 67m outside	-48	94	15	12	18	2.7 / 2.4
1800 MHz, 46dBm ERP, Tx 67m outside northern entrance	-55	101	20 (15)	12	18	1.7 / 1.4

A la hora de utilizar este método, se define normalmente unas pérdidas por acoplamiento al túnel y otras pérdidas por propagación hasta llegar el **punto lcrit** (320m para un túnel de sección 10m y f=960MHz). Después, tendremos en cuenta el factor **tráfico y obstáculos** en el túnel que afectarán al parámetro a0:

<b>Insertion loss</b>	45 dB		
<b>First 300 m</b>	20 dB		
<b>After first 300 m</b>	<b>300 vehicles/hour</b>	<b>500 vehicles/hour</b>	<b>800 vehicles/hour</b>
	27 dB/Km	34 dB/Km	40 dB/Km

A este modelo empírico, como lo utilizaremos para líneas de metro y cercanías, también se pueden añadir pérdidas adicionales por **penetración en el interior del vagón** y pérdidas adicionales por **alta carga** (las pérdidas por alta carga se deben a la gran densidad de tráfico en el tren). Ambas rondarían los 10 dB.

---

# ANEXO D

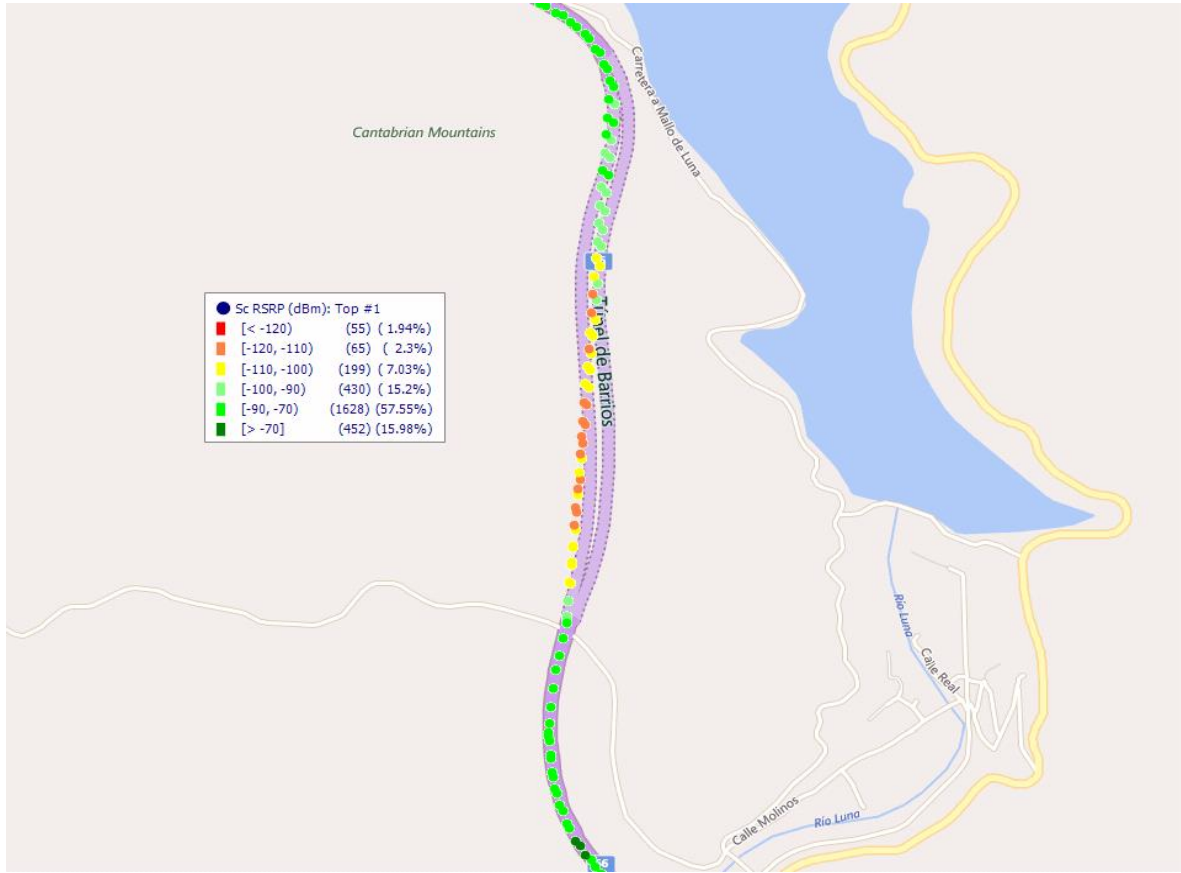
---

Caracterización de modelo de carretera

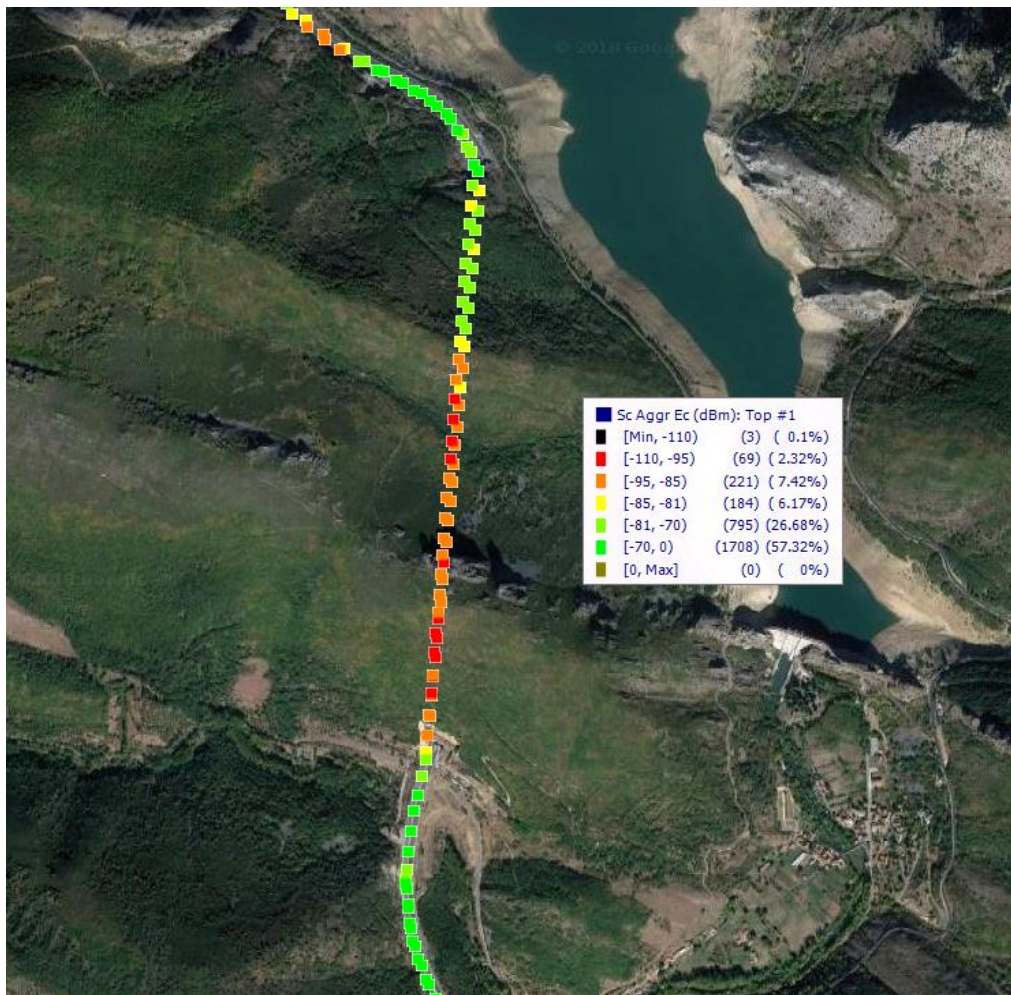
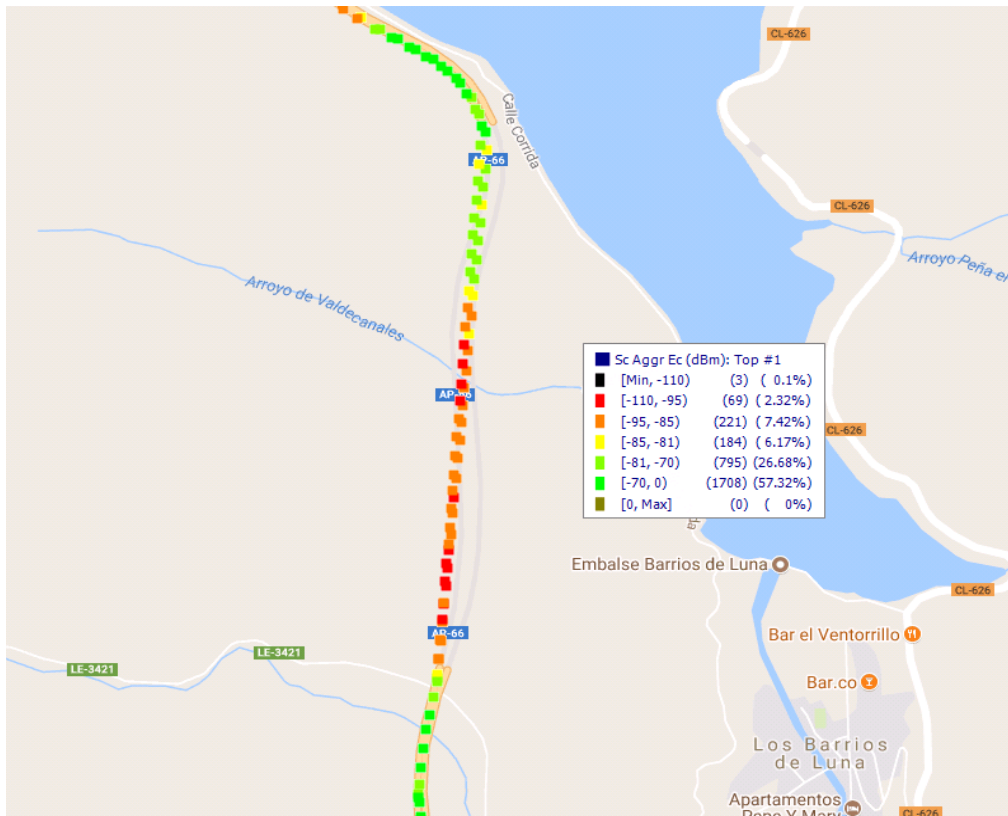
Túnel Barrios 1625m



# Medidas LTE

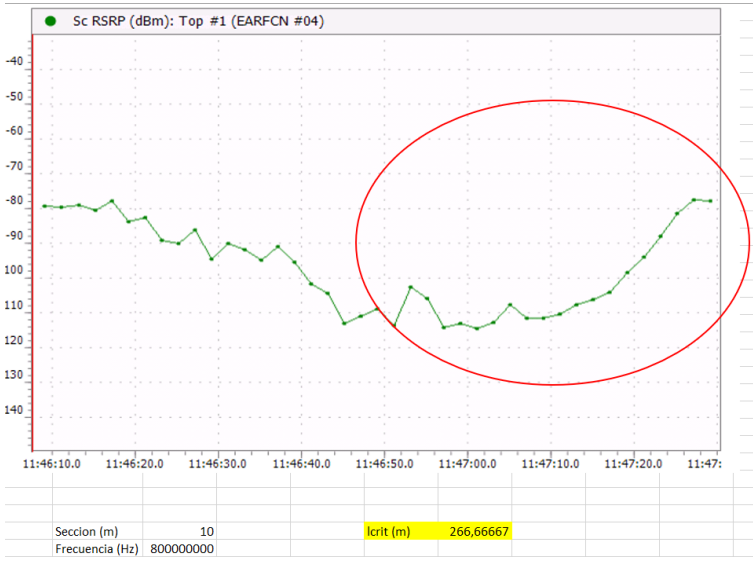


# Medidas UMTS

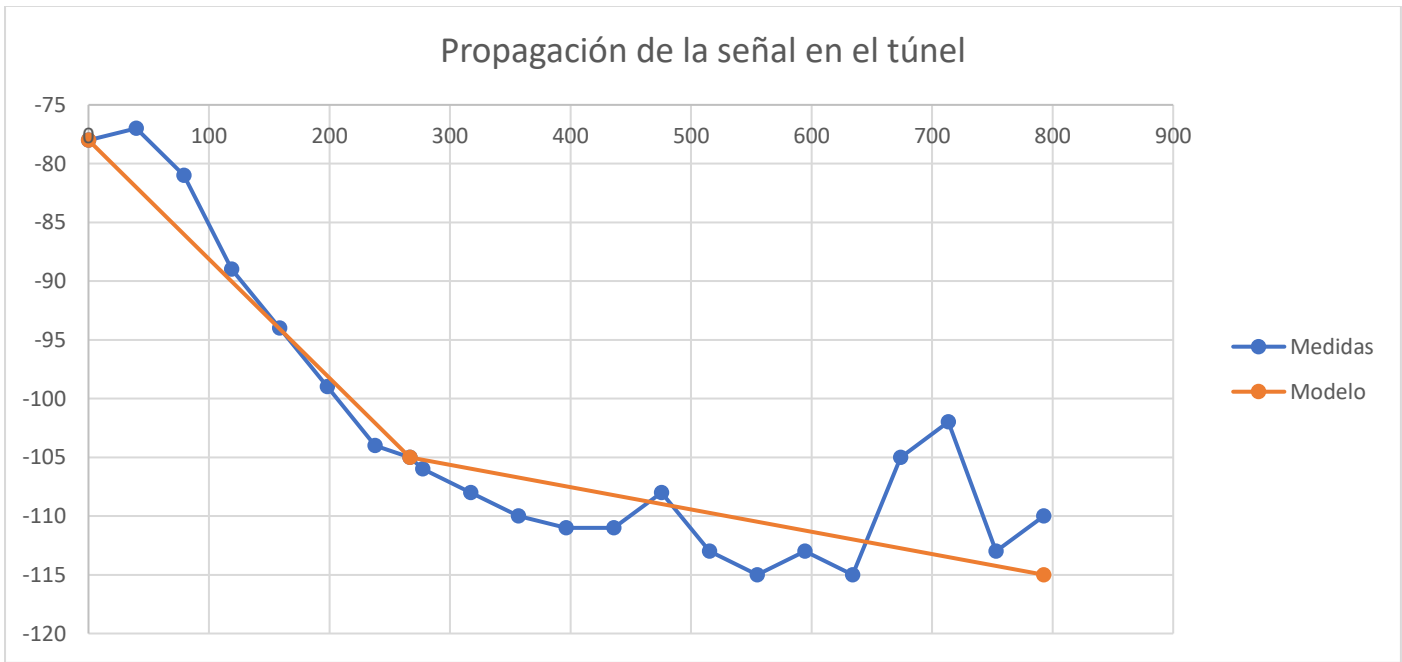




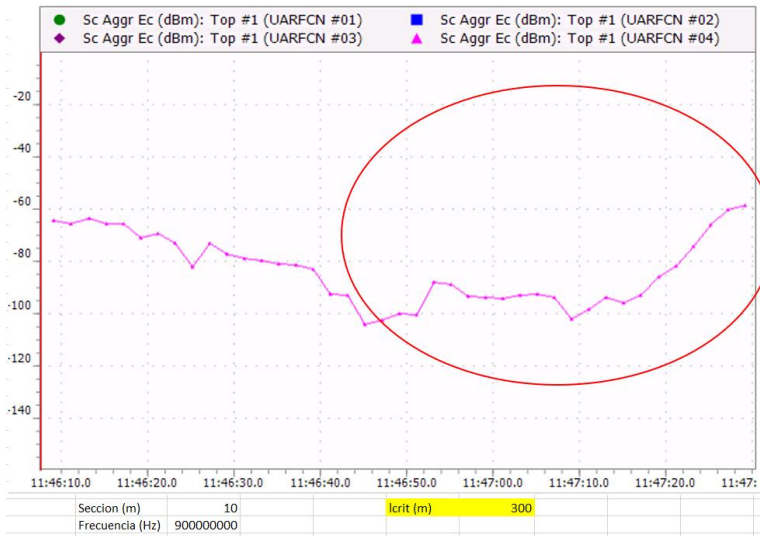
# Modelo para LTE



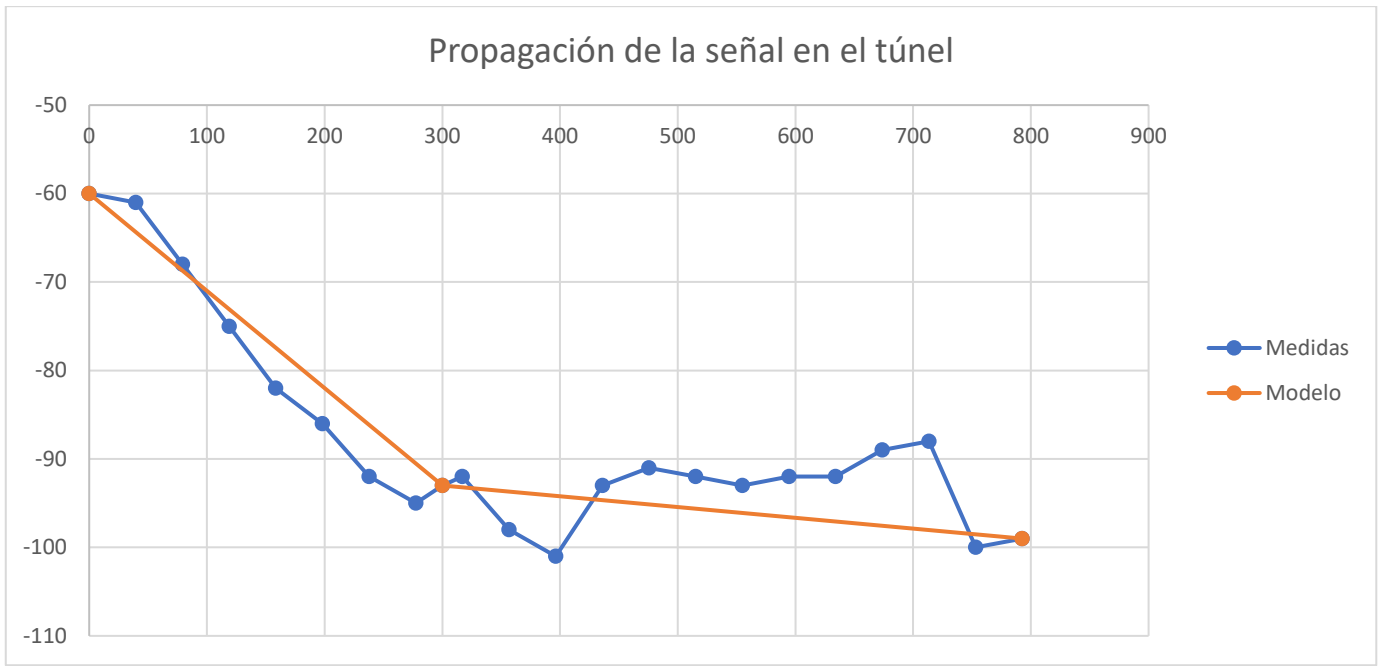
Metros	Real dBm	Modelo dBm	Pendiente 1	
0	-78	-78	101,248734	
39,634	-77			27 dB de pérdidas en los primeros 300m de túnel
79,268	-81			
118,902	-89			
158,536	-94			
198,17	-99			
237,804	-104			
266,67	-105	-105		
277,438	-106		Pendiente 2	19,0110454
317,072	-108			
356,706	-110			19,01 dB/km a partir de lcrit
396,34	-111			
435,974	-111			
475,608	-108			
515,242	-113			
554,876	-115			
594,51	-113			
634,144	-115			
673,778	-105			
713,412	-102			
753,046	-113			
792,68	-110	-115		



# Modelo para UMTS



Metros	Real dBm	Modelo dBm	Pendiente 1	
0	-60	-60		
39,634	-61			33 dB de pérdidas en los primeros 300m de túnel
79,268	-68			
118,902	-75			
158,536	-82			
198,17	-86			
237,804	-92			
277,438	-95			
300	-93	-93		
317,072	-92		Pendiente 2	12,1782902
356,706	-98			
396,34	-101			12,18 dB/km a partir de lcrit
435,974	-93			
475,608	-91			
515,242	-92			
554,876	-93			
594,51	-92			
634,144	-92			
673,778	-89			
713,412	-88			
753,046	-100			
792,68	-99	-99		



---

# ANEXO E

---

Caracterización túnel de cercanías

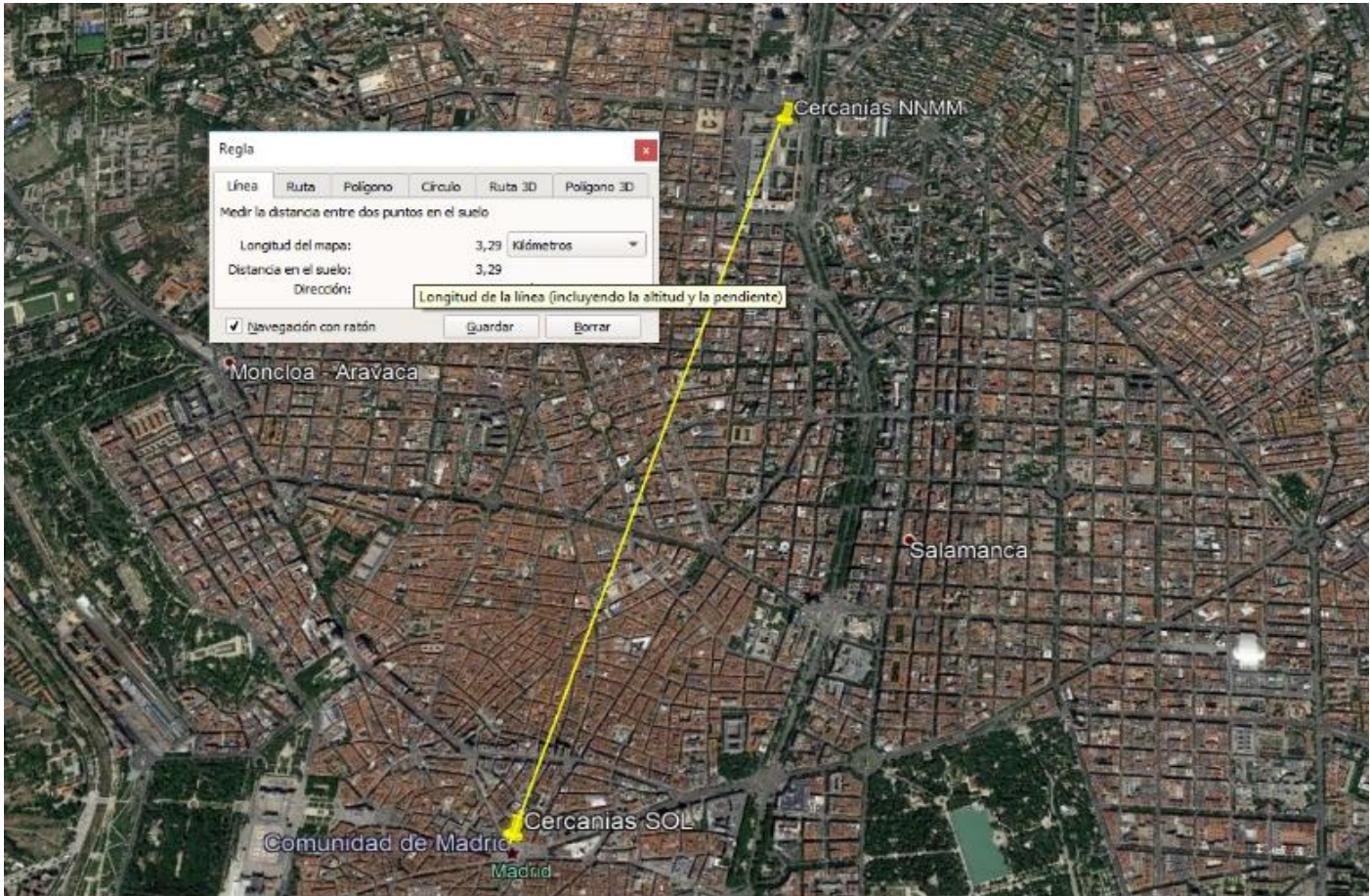
**UMTS: Túnel Cercanías Madrid: Sol-NNMM**

Sección típica cercanías:

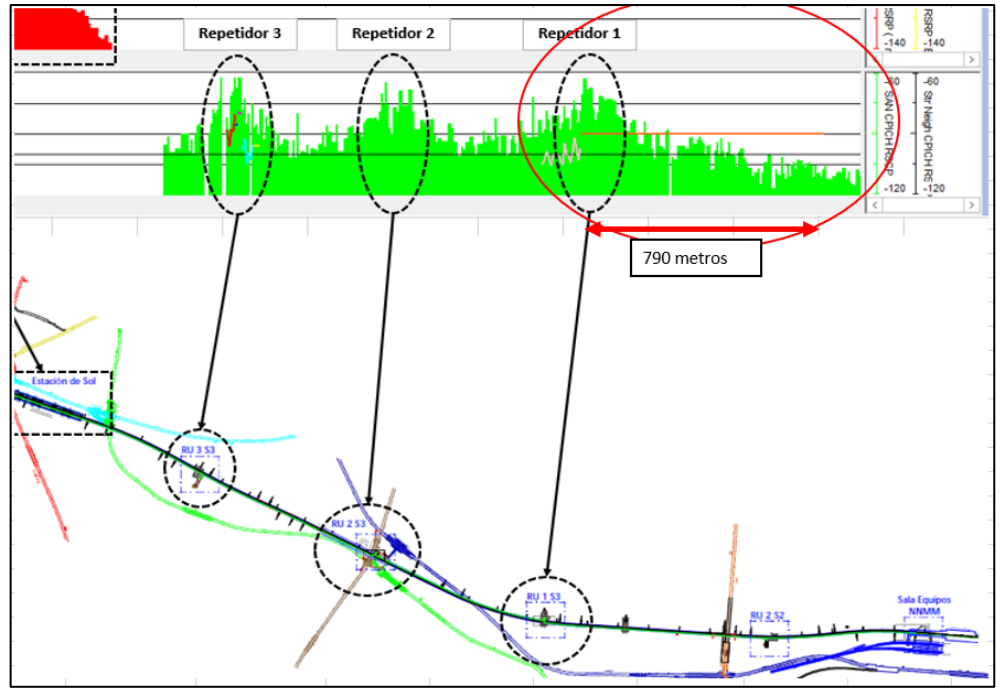
10m

Longitud aprox.:

3,3km

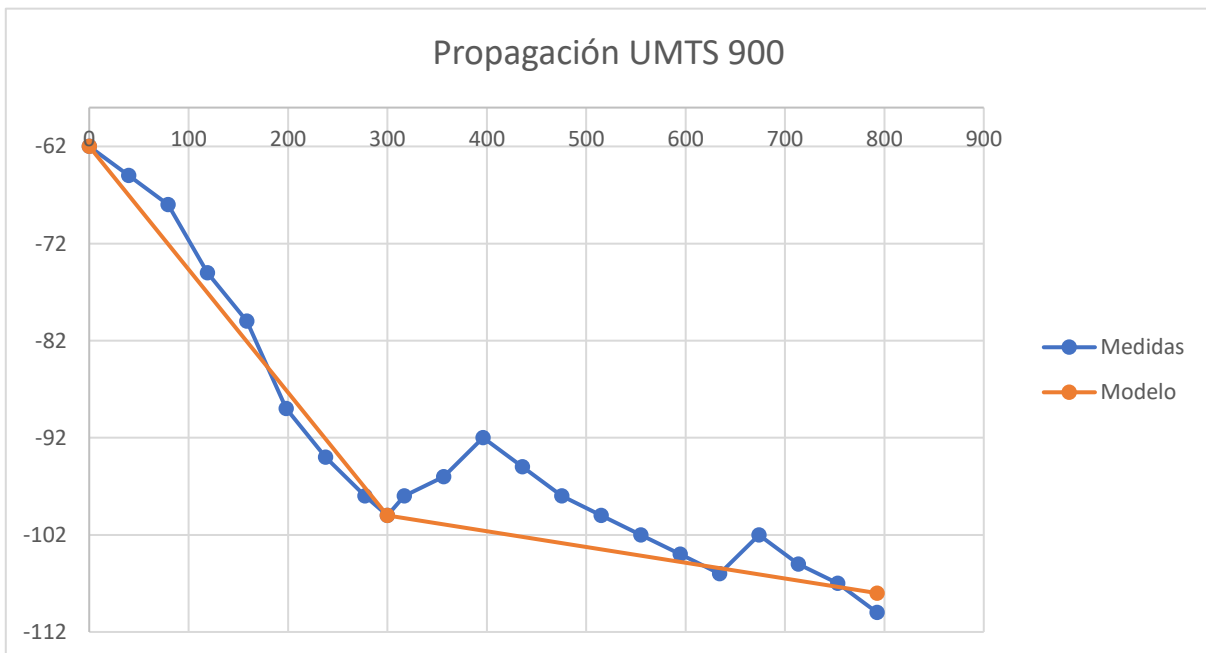


# Modelo UMTS



Metros	Real dBm	Modelo dBm	Pendiente 1	126,666667	Acoplamiento: -86,5 dB (1ª medida - PIRE + pérdidas adicionales)
0	-62	-62			
39,634	-65			<b>38 dB de pérdidas en los primeros 300m de túnel</b>	
79,268	-68				
118,902	-75				
158,536	-80				
198,17	-89				
237,804	-94				
277,438	-98				
300	-100	-100			
317,072	-98		Pendiente 2	16,2377202	
356,706	-96				
396,34	-92			<b>16,23 dB/km a partir de lcrit</b>	
435,974	-95				
475,608	-98				
515,242	-100				
554,876	-102				
594,51	-104				
634,144	-106				
673,778	-102				
713,412	-105				
753,046	-107				
792,68	-110	-108			

lcrit (m)	300
Seccion (m)	10
Frecuencia (Hz)	900000000
Tramo entre RU1S3 y RU2S2 (m)	770
Potencia salida FOR (dBm)	38
Perdidas cables	2,5
Perdidas divisor	3
Ganancia antena	12
PIRE	<b>44,5</b>
Perdidas adicionales	<b>20</b>
(alta carga, penetración en vagón)	

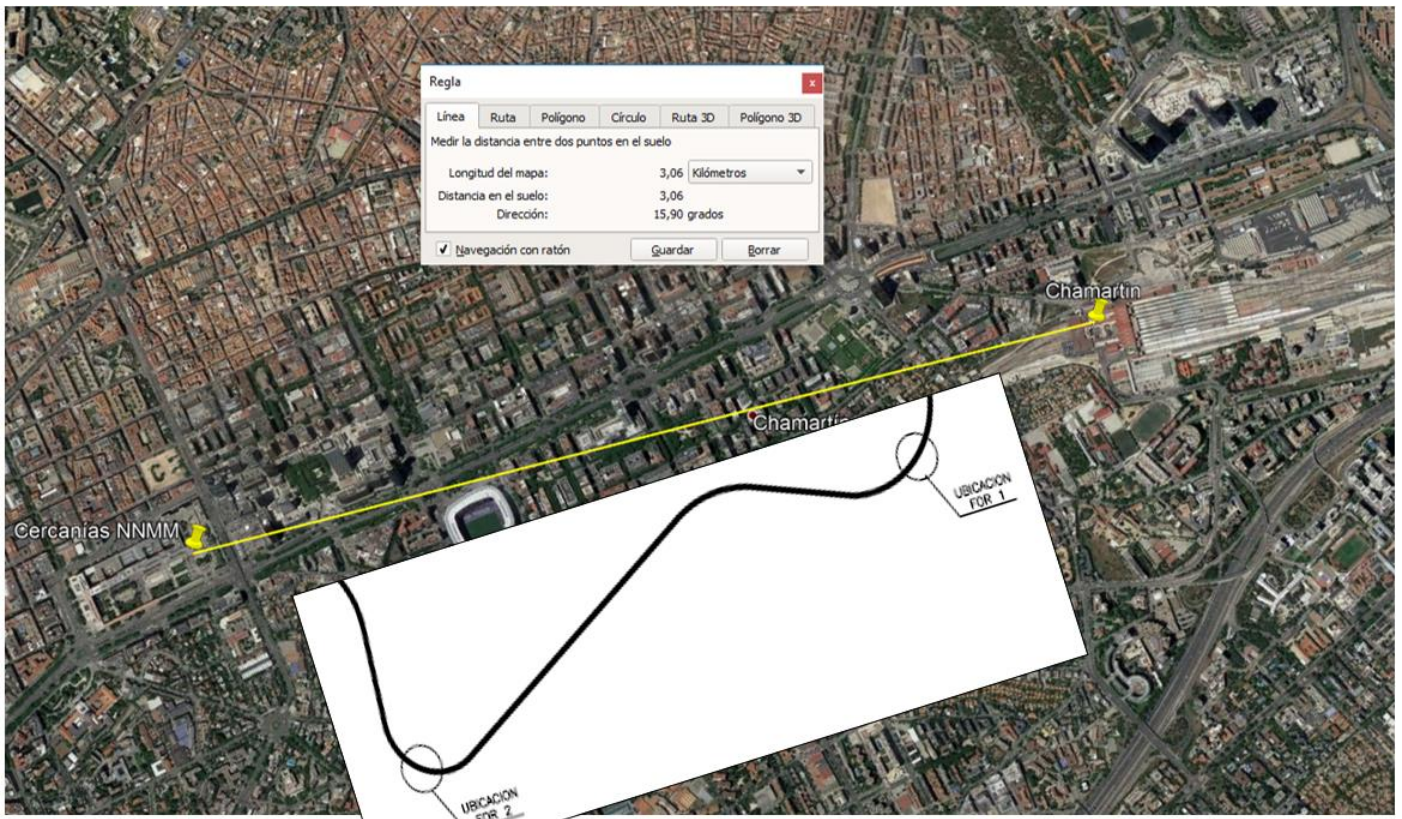


**LTE: Túnel Cercanías Madrid: Chamartín-  
NNMM**

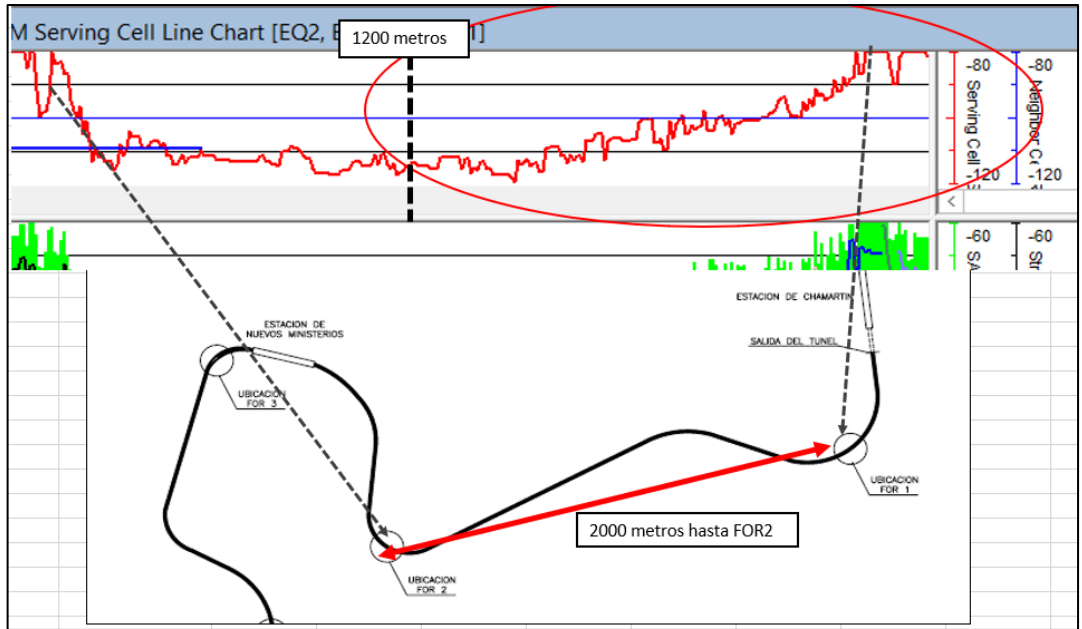
**Sección típica cercanías: 10m**

**Longitud aprox.: 3,06km**

**Distancia entre FORs: 2000m**



# Modelo LTE

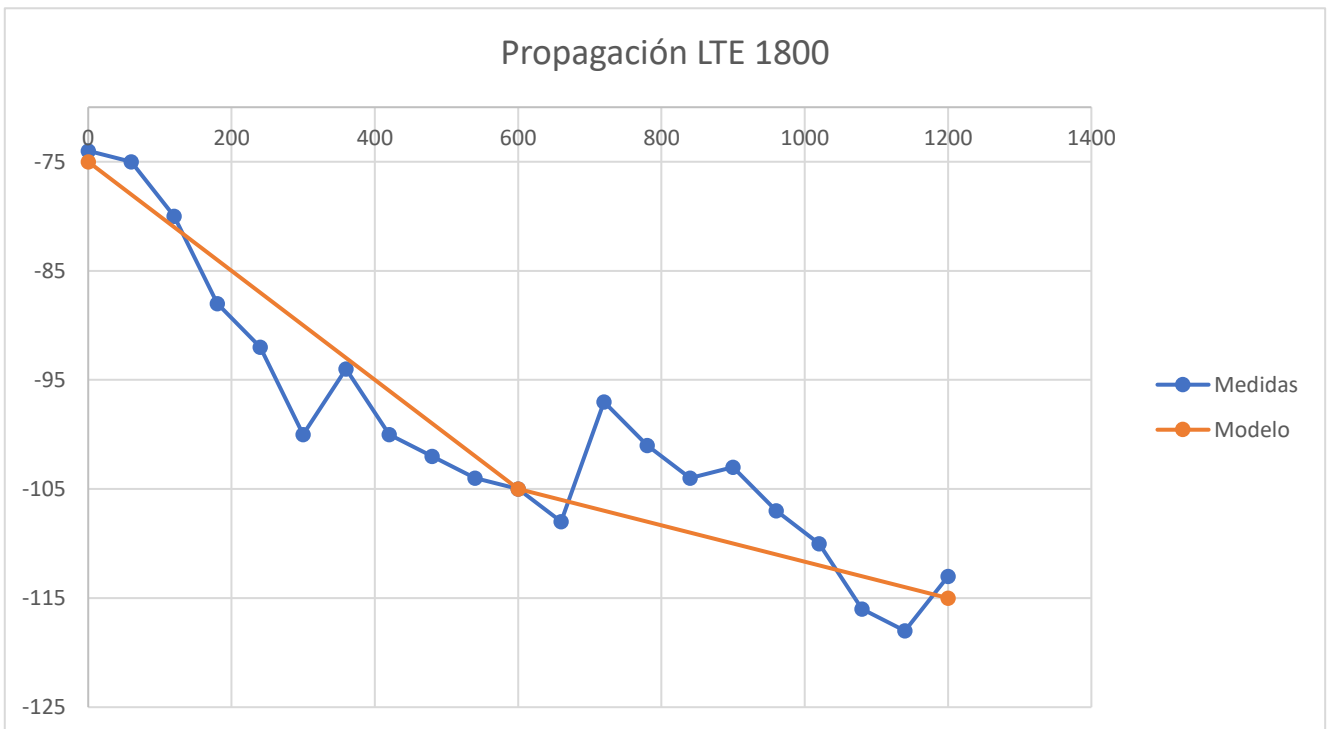


Metros	Real dBm	Modelo dBm	Pendiente 1	50	Acoplamiento: -98,5 dB (1ª medida - PIRE + perdidas adicionales)
0	-74	-75			
60	-75				
120	-80				
180	-88				
240	-92				
300	-100				
360	-94				
420	-100				
480	-102				
540	-104				
600	-105	-105	Pendiente 2	16,666667	
660	-108				
720	-97				
780	-101				
840	-104				
900	-103				
960	-107				
1020	-110				
1080	-116				
1140	-118				
1200	-113	-115			

31 dB de pérdidas en los primeros 600m de túnel

16,7 dB/km a partir de lcrit

lcrit (m)	600
Seccion (m)	10
Frecuencia (Hz)	1,8E+09
Tramo entre RU4S3 y RU3S3 (m)	2000
Potencia salida FOR (dBm)	38
Perdidas cables	2,5
Perdidas divisor	3
Ganancia antena	12
PIRE	44,5
Perdidas adicionales	20
(alta carga, penetración en vagón)	



---

# ANEXO F

---

Balance del Enlace



## FÓRMULAS:

**Prx -->** PIRE - Lpropagacion - Lvagon - Ltrafico

donde **Lpropagacion -->** Lcoupling + Ldistancia

**Ldistancia UMTS -->**  $X * \text{Pendiente1\_3G}$  (si  $X < 300\text{m}$ )  
 $38 + (X - 300) * \text{Pendiente2\_3G}$  (si  $X > 300\text{m}$ )

**Ldistancia LTE -->**  $X * \text{Pendiente1\_4G}$  (si  $X < 600\text{m}$ )  
 $31 + (X - 600) * \text{Pendiente2\_4G}$  (si  $X > 600\text{m}$ )

### Misma celda

Se calculan las Prx desde la primera antena hasta el pto. medio

Se calculan las Prx desde la segunda antena hasta el pto. medio

Se representan las Prx en cada pto. del trayecto

### Distinta celda

Se calculan las Prx desde la primera antena hasta el final del trayecto

Se calculan las Prx desde la segunda antena hasta el final del trayecto

Se representa la mejor Prx en cada pto. del trayecto

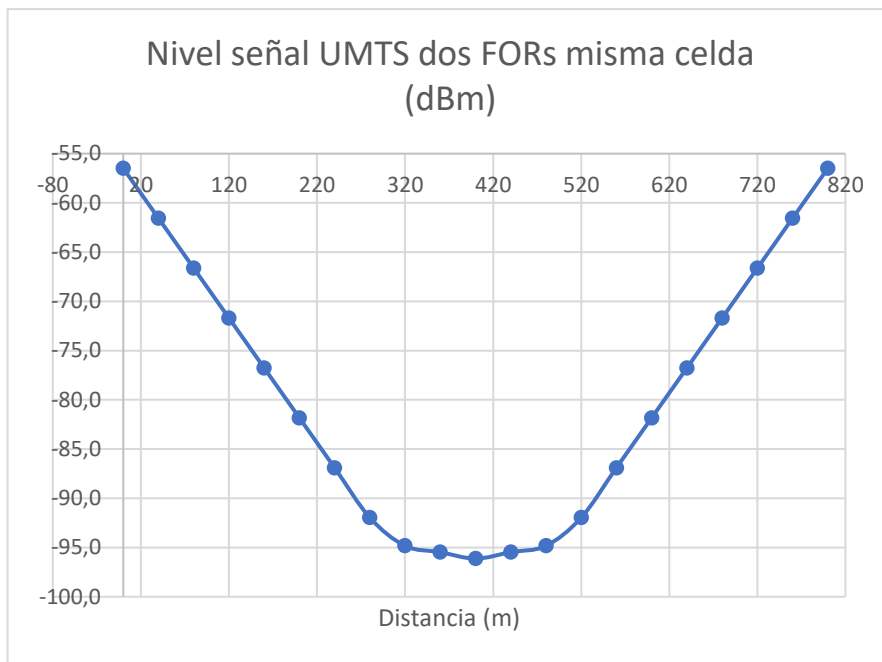
Debe quedar un espacio de al menos 150m en el que ambas celdas tengan señal  $>96\text{dBm}$  (3G) o  $>100\text{dBm}$  (4G)

### DATOS

PIRE	50 dBm
Lvagon	10 dB
Ltrafico	10 dB
Lcoupling 3G	86,5 dB
Lcoupling 4G	98,5 dB
Pendiente1_3G	0,1267 dB/m
Pendiente2_3G	0,0162 dB/m
Pendiente1_4G	0,0633 dB/m
Pendiente2_4G	0,0167 dB/m
X	distancia en m

### Distancia REP 3G misma celda

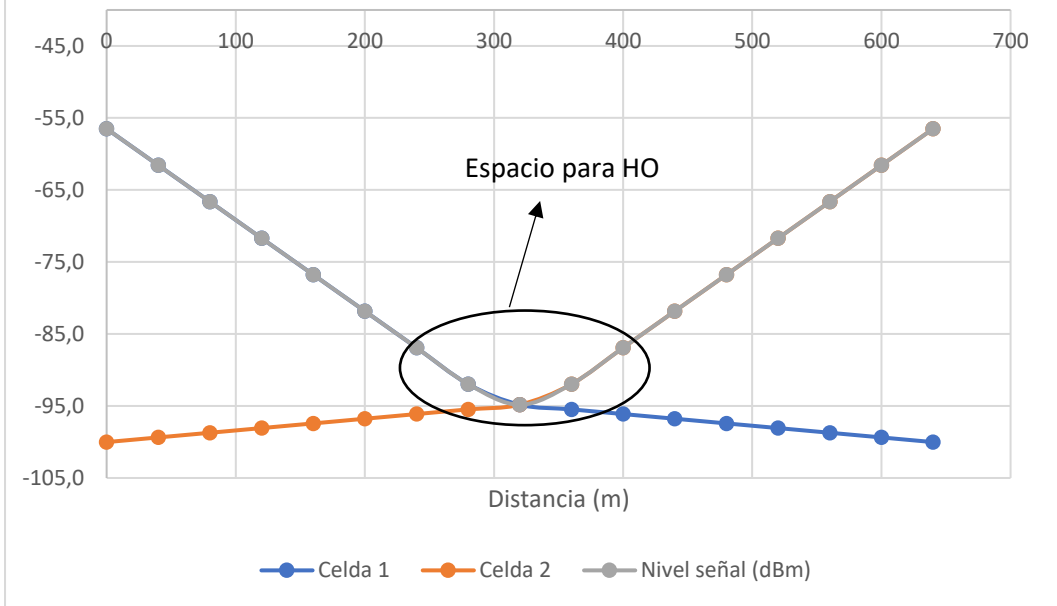
	Distancia (x)	Nivel señal (dBm)
<b>Antena 1</b>	0	-56,5
	40	-61,6
	80	-66,6
	120	-71,7
	160	-76,8
	200	-81,8
	240	-86,9
	280	-92,0
	320	-94,8
	360	-95,5
	400	-96,1
	440	-95,5
	480	-94,8
	520	-92,0
	560	-86,9
	600	-81,8
640	-76,8	
680	-71,7	
720	-66,6	
760	-61,6	
<b>Antena 2</b>	800	-56,5



### Distancia REP 3G diferente celda

	Distancia (x)	Celda 1	Celda 2	Nivel señal (dBm)
<b>Antena 1</b>	0	-56,5	-100,0	-56,5
	40	-61,6	-99,4	-61,6
	80	-66,6	-98,7	-66,6
	120	-71,7	-98,1	-71,7
	160	-76,8	-97,4	-76,8
	200	-81,8	-96,8	-81,8
	240	-86,9	-96,1	-86,9
	280	-92,0	-95,5	-92,0
	320	-94,8	-94,8	-94,8
	360	-95,5	-92,0	-92,0
	400	-96,1	-86,9	-86,9
	440	-96,8	-81,8	-81,8
	480	-97,4	-76,8	-76,8
	520	-98,1	-71,7	-71,7
	560	-98,7	-66,6	-66,6
	600	-99,4	-61,6	-61,6
<b>Antena 2</b>	640	-100,0	-56,5	-56,5

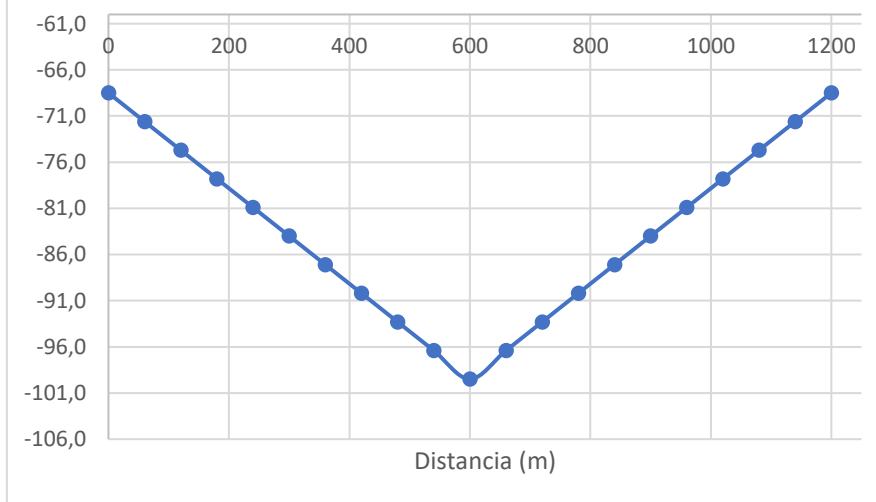
Nivel señal UMTS celdas diferentes (dBm)



Distancia REP 4G misma celda

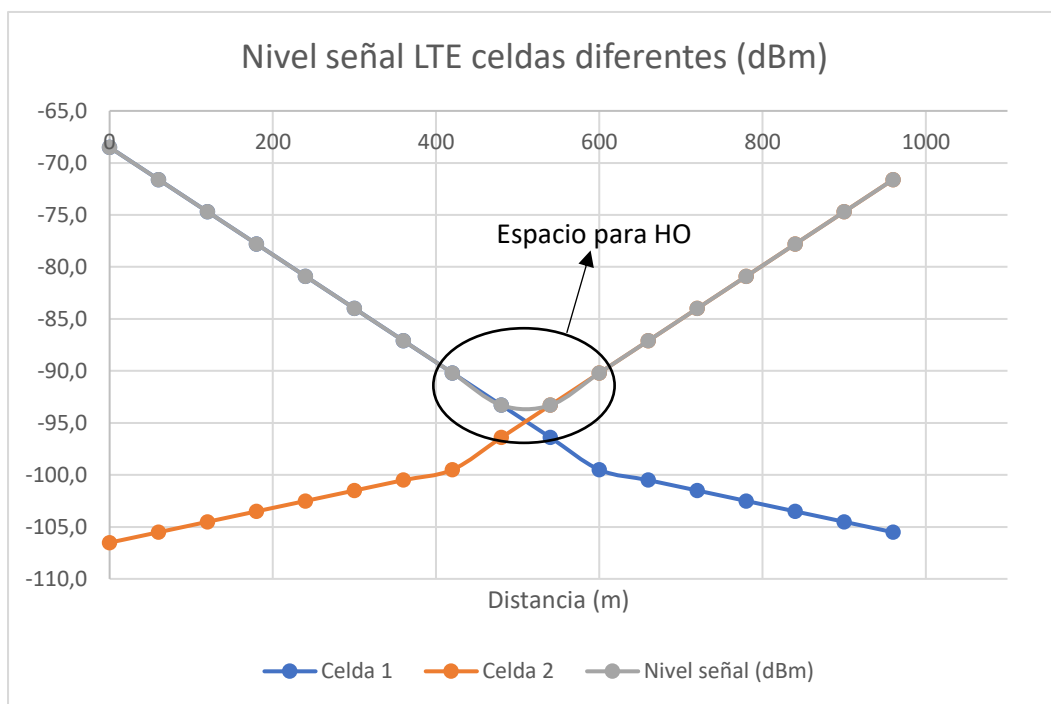
	Distancia (x)	Nivel señal (dBm)
<b>Antena 1</b>	0	-68,5
	60	-71,6
	120	-74,7
	180	-77,8
	240	-80,9
	300	-84,0
	360	-87,1
	420	-90,2
	480	-93,3
	540	-96,4
	600	-99,5
	660	-96,4
	720	-93,3
	780	-90,2
	840	-87,1
900	-84,0	
960	-80,9	
1020	-77,8	
1080	-74,7	
1140	-71,6	
<b>Antena 2</b>	1200	-68,5

Nivel señal LTE dos FORs misma celda(dBm)



## Distancia REP 4G diferente celda

	Distancia (x)	Celda 1	Celda 2	Nivel señal (dBm)
<b>Antena 1</b>	0	-68,5	-106,5	-68,5
	60	-71,6	-105,5	-71,6
	120	-74,7	-104,5	-74,7
	180	-77,8	-103,5	-77,8
	240	-80,9	-102,5	-80,9
	300	-84,0	-101,5	-84,0
	360	-87,1	-100,5	-87,1
	420	-90,2	-99,5	-90,2
	480	-93,3	-96,4	-93,3
	540	-96,4	-93,3	-93,3
<b>Antena 2</b>	600	-99,5	-90,2	-90,2
	660	-100,5	-87,1	-87,1
	720	-101,5	-84,0	-84,0
	780	-102,5	-80,9	-80,9
	840	-103,5	-77,8	-77,8
	900	-104,5	-74,7	-74,7
	960	-105,5	-71,6	-71,6
	1020	-106,5	-68,5	-68,5



---

# ANEXO G

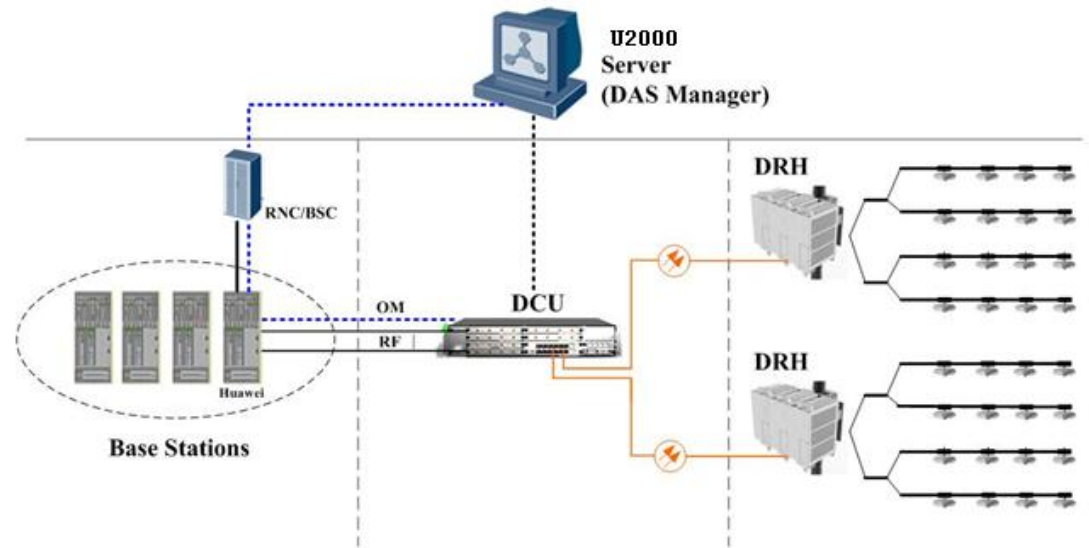
---

Hojas de especificaciones del equipamiento

DBS3900 IBS (DBS3900 In-Building Solution) is an advanced high power solution for multi-band & multi-network & multi-vendor & multi-operator MBB network coverage extending. It can be deployed flexibly and evaluated smoothly with high scalability. It applies for in-building coverage of large commercial buildings, airports, stadiums, metros, tunnels, campuses and other in-building places.

## Features

- ◆ Up to 4 operators for each band per RFC supported
- ◆ G/U/L technology ready for refarming
- ◆ Digital operator sub-band tuning independently
- ◆ Digital optical transport over Common Public Radio Interface (CPRI)
- ◆ 2\*2 MIMO supported
- ◆ Downlink RF port VSWR detection
- ◆ Uplink frequency scanning
- ◆ High efficiency Digital Pre-Distortion (DPD) linearization Power Amplifier (PA) technology
- ◆ Co-OM with Huawei U2000



Network diagram

## DCU: Distributed Control Unit

The DCU is installed next to the base stations (BTS) typically. On downlink path, RF signals of all BTS are fed into DCU through couplers, and then be digitized and combined through digital filtering. The combined digital signal will be transported to DRHs over optic ports through single mode optical fibers. On uplink path, DCU receives the digitized RF signals from all DRHs and converts them to analog signals, and then feed them back to the BTS. The DCU can be connected to a LMT or U2000 over an Ethernet port. The DCU provides some common external alarming interfaces for environments monitoring .



DCU

## DRH: Distributed Remote Head

The DRH is installed next to DBS3900 IBS system. It accomplishes the RF signals D/A regeneration and amplification on downlink path and digitizes the RF signals on uplink path. The DRH also provides some common external alarming interfaces for environments monitoring. DRH is modularized, high scalable, high reliable, high efficiency and easy to be installed and maintained.



DRH Type 1



DRH Type 2

Product Model		Product Description
DCU3900		Distributed Control Unit: 6 RFC-12 digital simulcasting optical ports -DC-cabinet/wall-mounted
DRH39XX	Type 1	Distributed Remote Head: DRH3908B: 2 x 43 dBm 800M band (uplink: 832 to 862 MHz, downlink: 791 to 821 MHz) - 30 MHz instantaneous bandwidth -9.8Gbps DRH3909B: 2 x 43 dBm 900M band (uplink: 880 to 915 MHz, downlink: 925 to 960 MHz) - 35 MHz instantaneous bandwidth -9.8Gbps DRH3918C: 2 x 43 dBm 1800M band (uplink: 1710 to 1785 MHz, downlink: 1805 to 1880 MHz) - 75 MHz instantaneous bandwidth -9.8Gbps DRH3921C: 2 x 46 dBm 2100M band (uplink: 1920 to 1980 MHz, downlink: 2110 to 2170 MHz) - 60 MHz instantaneous bandwidth -9.8Gbps DRH3926B: 2 x 46 dBm 2600M band (uplink: 2500 to 2570 MHz, downlink: 2620 to 2690 MHz) -70 MHz instantaneous bandwidth -9.8Gbps
	Type 2	DRH3907A: 2 x 43 dBm 700M band (uplink: 703 to 748 MHz, downlink: 758 to 803MHz) - 45MHz instantaneous bandwidth -9.8Gbps

Mechanical and Environmental Specifications		
Item	DCU	DRH
Dimension (mm)	442 x 310 x 86.1	400 x 300 x 100 (Type 1) 400 x 300 x 150 (Type 2)
Weight (kg)	≤ 10	≤ 15 (Type 1) ≤ 20 (Type 2)
Installation mode	Wall-mounted // 19" Cabinet-mounted	Pole // Wall-mounted // Floor installation
Heat dissipation mode	Fan	Natural cooling
Ingress protection class	IP20	IP65
Operating temperature (°C)	-10 ... +50	-40 ... +55
Operating humidity	5% ~ 95%	5% ~ 100%
Number of optical Interface	12	2
RF connector	SMA-Female	7/16 DIN Female

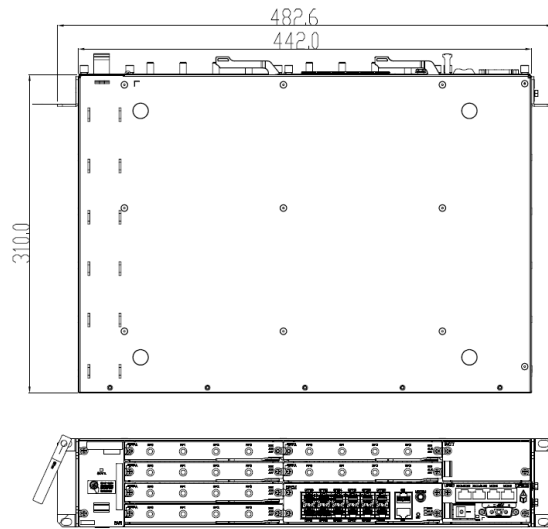
## Optical Specifications

Digital transport rate (Gbps)	2.5 / 5 / 9.8
Optical fiber type	Single-mode
Digital simulcast	Up to 12:1 single host
Optical connector	DLC

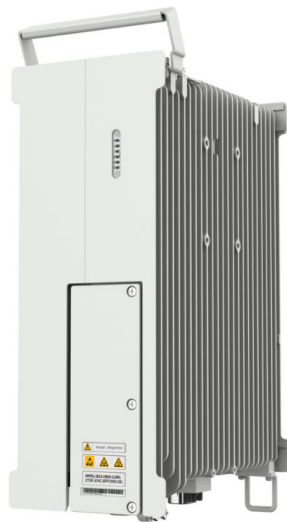
## Electrical Specifications

Frequency band (MHz)	Uplink (UL)	703 - 748	832 - 862	880 - 915	1710 - 1785	1920 - 1980	2500 - 2570
	Downlink (DL)	758 - 803	791 - 821	925 - 960	1805 - 1880	2110 - 2170	2620 - 2690
UL noise figure (dB)		Typ5.0	Typ5.0	Typ5.0	Typ5.0	Typ5.0	Typ5.0
DRH power consumption (W)		TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
DCU power consumption (W)		Typ. 165					
DL composite output power (W)		2*40 for high band (>2GHz); 2*20 for low band (<2GHz).					
DL output power tolerance (dB)		± 1.5					
DL input composite power range (dBm)		+6 ... +16					
Max. gain (dB)		40dB for 2*40W output; 37dB for 2*20W output;					
Gain adjustable range (dB)		20					
RF port VSWR		Typ. 1.5					
Inter-modulation (dBc)		Typ. < -60 (GSM)					
EVM		≤ 6% (GSM, only 8PSK); ≤ 12.5% (UMTS, QPSK); ≤ 8% (LTE, 64QAM)					
Spurious emission		GSM: Compliant with 3GPP TS 51.026 V10.1.0 UMTS: Compliant with 3GPP TS 25.106 V10.0.0 in Category B LTE: Compliant with 3GPP TS 36.106 V10.1.0 in Category B					
UMTS spectrum mask		Compliant with 3GPP TS 25.106 V10.0.0					
LTE operating band unwanted emissions		Compliant with 3GPP TS 36.106 V10.1.0 in Category B					
PCDE (dB)		-35 (UMTS)					
Power supply	DCU	DC: -48V (-38.4 ... -57V)					
	DRH	DC: -48V (-36 ... -57V)					

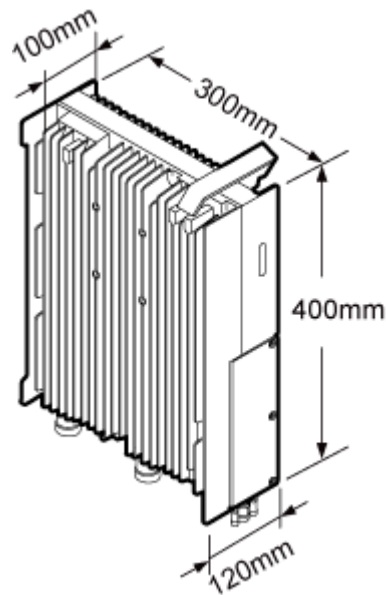




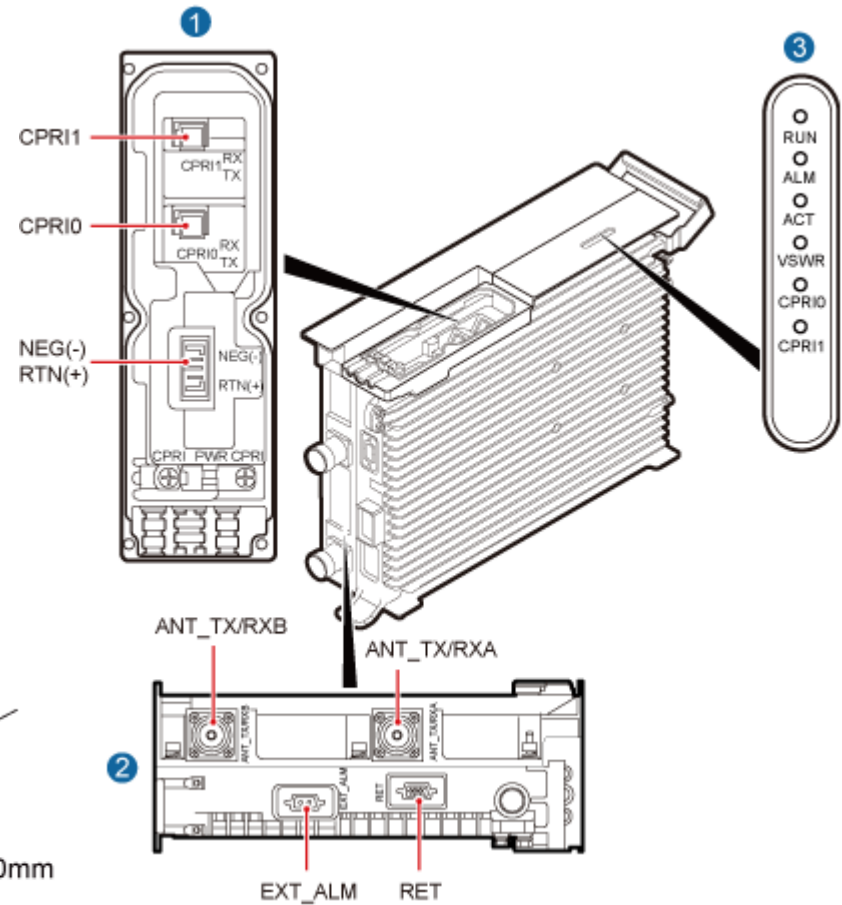
DCU



DRH Type 2



DRH Type 1



## MOD. AR1022.1 DUAL-BAND



Antenna direzionale **DUAL-BAND** per la banda radiomobile, studiata per coperture in gallerie.

*Directional antenna **DUAL-BAND** for tunnels coverage.*

ELECTRICAL DATA		
Frequency range	MHz	790 ÷ 960/1710 ÷ 1880
Bandwidth	MHz	170/170
Gain typ.	dBi	16/16,5
VSWR		≤ 1.5
Nominal impedance	Ω	50
Polarization		V
E beamwidth typ.	-3 dB	27°/14°
H beamwidth typ.	-3 dB	28°/16°
Max Power	W	100
Connector for AR1022.1		2 x 7/16 female
Connector for AR1022.C		1 x 7/16 female
Lightning protection	All metal parts are D.C. grounded	

MECHANICAL DATA		
Dimension length	mm	∅ 380 x 1460
Weight	Kg	8
Ice protection	Fiberglass full radome	

MECHANICAL DATA	
Aluminium – Teflon – Brass – Stainless steel	

ACCESSORIES			
CODE	TYPE	DIMEN.	WEIGHT
AR1022F	2 clamps	∅ 40-114	3.2 Kg.
AR1022T	2 tilt clamps	∅ 40-114	5 Kg.

## MOD. AR1025.1 TRI - BAND



Antenna direzionale **TRIBANDA**. Progettata per coperture in gallerie.

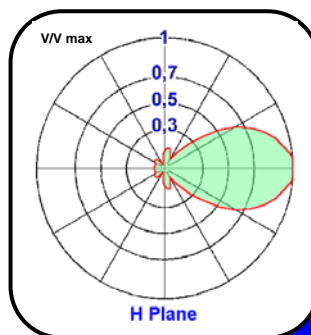
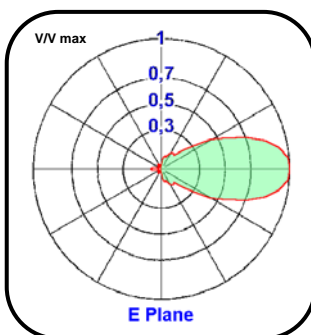
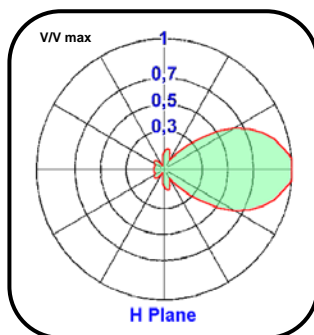
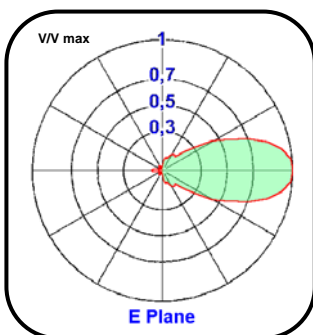
*Directional **TRI-BAND** antenna. Especially suitable for tunnels coverage.*

ELECTRICAL DATA		
Frequency range	MHz	790 ÷ 960/1710 ÷ 2170
Bandwidth	MHz	170/460
Gain typ.	dBi	16/16,5
VSWR		≤ 1.5
Nominal impedance	Ω	50
Polarization		V
E beamwidth typ.	-3 dB	27°/14°
H beamwidth typ.	-3 dB	28°/16°
Max Power	W	100
Connector AR1025		2 x 7/16 ARYL6893017WQ
Connector AR1025.C		1 x 7/16 ARYL6893017WZ
Lightning protection	All metal parts are D.C. grounded	

MECHANICAL DATA		
Dimension length	mm	∅ 380 x 1460
Weight	Kg	8
Ice protection	Fiberglass full radome	

MATERIALS	
Aluminium – Teflon – Brass – Stainless steel	

ACCESSORIES			
CODE	TYPE	DIMEN.	WEIGHT
AR1025F	2 clamps	∅ 40-114	3.3 kg.
AR1025T	2 tilt clamps	∅ 40-114	5 kg.

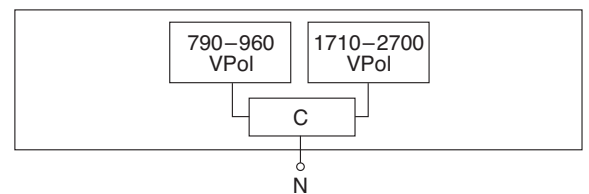


In relazione alle normative in materia di responsabilità sui prodotti, segnaliamo che nel caso di utilizzo delle nostre antenne in condizioni operative particolari, quali ad esempio forti sollecitazioni dinamiche dovute a vento, vibrazioni o deformazioni delle strutture di sostegno, si possono verificare rotture del prodotto stesso e/o la caduta a terra. L'installatore che deve essere altamente qualificato, deve conoscere le normative nazionali di sicurezza in vigore, deve seguire le informazioni contenute nelle nostre istruzioni, deve verificare sempre l'adeguatezza del prodotto stesso alle condizioni operative del sito di installazione e deve controllare la manutenzione periodica dell'impianto. --- In relation to the laws concerning product liability, we notify you that in case you use our antennas in severe operative conditions such as, for example, strong wind, vibrations or distortions of the support structure, the product can break and/or fall down. The person who installs the product must be skilled, must know the national security law in force, must follow the product instructions, must check that the product is compatible with the installation site and must control the installation with periodical maintenance.

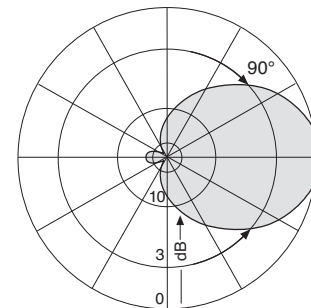
<b>1-Port Indoor Antenna</b>	<b>790–960</b>	<b>1710–2700</b>
<b>Vertical Polarization</b>	<b>V</b>	<b>V</b>
<b>HPBW</b>	<b>90°</b>	<b>90°</b>
<b>Integrated Combiner</b>	<b>C</b>	

**1-Port Indoor 790–960/1710–2700 C 90° 7dBi**

<b>Type No.</b>		<b>80010465</b>
Frequency range	MHz	790 – 960 / 1710 – 2700
Polarization		Vertical
Gain	dBi	Approx. 7
Half-power beam width	°	Horizontal: Approx. 90
Impedance	Ω	50
VSWR		790 – 806 MHz: < 2.2 806 – 960 MHz: < 2.0 1710 – 2700 MHz: < 2.0
Max. power	W	50 (at 50 °C ambient temperature)
Input		Cable RG 223/CU of 1m length, white, with N female connector
Protection class		IP 30
Weight	g   lb	500   1.1
Packing size	mm inches	363 x 152 x 62 14.3 x 6.0 x 2.4
Height/width/depth	mm inches	231 / 140 / 50 9.1 / 5.5 / 2.0
Fire load		1.42 kWh

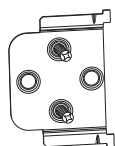


- Material:** Reflector: Aluminum. Radome: High impact polystyrol, colour: White. Additional painting is possible. Mounting plates: Stainless steel.
- Mounting:** Two holes of 6 mm | 0.24 inches diameter in the mounting plate. Screws are not supplied. Avoid stressing the cable. No stress on the hexagonal crimp. Minimum cable bending radius: 30 mm | 1.18 inches without tensile load. Cable must be fixed.
- Available accessories:** Broadband power splitters and tappers (790 – 2700 MHz).

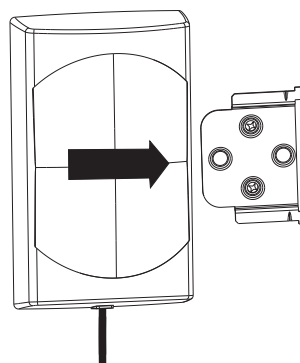


Horizontal Pattern

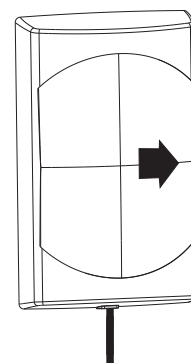
**Mounting:**



Mount the attachment plate to the wall using two screws of 4 mm | 0.16 inches diameter in the position as indicated.



Align the antenna over the attachment plate.



Pull the antenna to the stop.

936.3036/f Subject to alteration.

**Any previous data sheet issues have now become invalid.**

All specifications are subject to change without notice. The latest specifications are available at [www.kathreinusa.com](http://www.kathreinusa.com)

# 1-Port Indoor Omni Antenna Vertical Polarization

876–960

1710–2700

**KATHREIN**

V

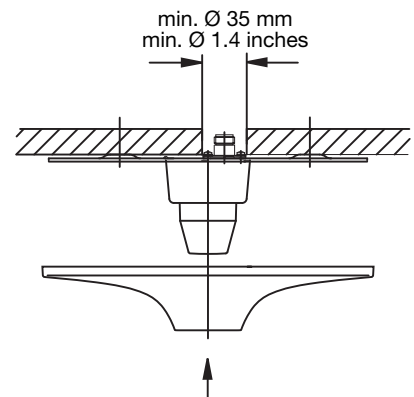
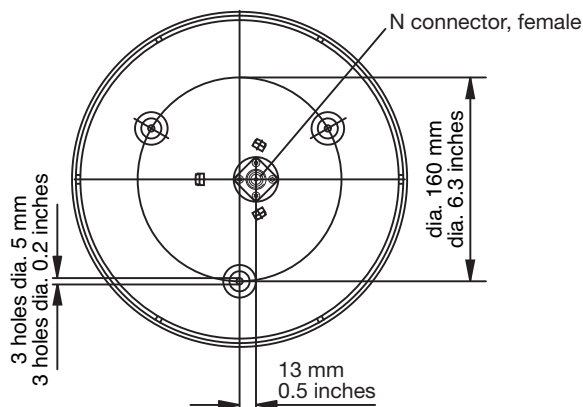
- The antenna can be operated in all frequency ranges simultaneously.
- The antenna needs no additional groundplane.

## 1-Port Indoor 876–960/1710–2700 360° 2dBi

Type No.		80010748
Frequency range	MHz	876 – 960 1710 – 2700
Polarization		Vertical
Gain	dBi	2
Impedance	Ω	50
VSWR		876 – 890 MHz: < 2.0 890 – 960 MHz: < 1.7 1710 – 2170 MHz: < 1.6 2170 – 2700 MHz: < 2.0
Intermodulation IM3	dBc	< -140 (2 x 40 dBm carrier)
Max. power	W	50 (at 50 °C ambient temperature)
Input		1 x N female
Protection class		IP 30
Weight	g lb	300 0.66
Diameter	mm inches	210 8.3
Height	mm inches	78 (without connector) 3.1 (without connector)



- Material:** Reflector: Aluminum.  
Radome: High impact polystyrol, colour: White.  
Additional painting is possible.
- Mounting:** Three holes in the base enable a mounting on the ceiling. Two types of screws are supplied. For the N connector a hole in the ceiling with a diameter of 35 mm | 1.4 inches is required.
- Grounding:** All metal parts including the inner conductor are DC grounded.
- Available accessories:** Broadband power splitters and tappers (694–2700 MHz).



Clip the protective housing into position after the antenna has been mounted with the help of the three supplied screws.

**Any previous data sheet issues have now become invalid.**

All specifications are subject to change without notice.  
The latest specifications are available at [www.kathreinusa.com](http://www.kathreinusa.com)

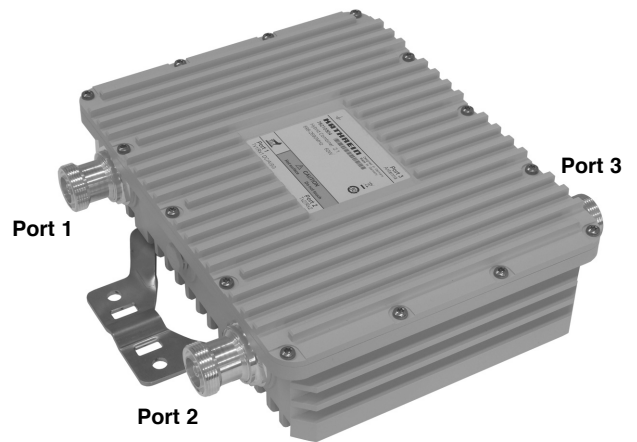
80010748 Page 1 of 1

# Hybrid Combiner 2:1

## 698 – 2690 MHz

### 2 x 60 W

- Designed for the decoupled combining of 2 transmitter or receiver signals onto one common antenna
- The frequency spacing between transmitter signals can be as small as required
- **Excellent intermodulation performance**
- Suitable for indoor or outdoor applications
- Wall or mast mounting
- DC by-pass between port 1 and port 3



#### Technical Data

Type No.	<b>782 10504</b>
Frequency range	698 – 2690 MHz
Attenuation	
Port 1 ↔ Port 3	3.1 ±0.5 dB
Port 2 ↔ Port 3	3.1 ±0.5 dB
Port 1 ↔ Port 2	> 23 dB*
VSWR (all ports)	< 1.2 (698 – 2170 MHz) / < 1.25 (2170 – 2690 MHz)
Impedance	50 Ω
Input power	
Port 1	< 60 W
Port 2	< 60 W
Intermodulation products	< -160 dBc (3 <sup>rd</sup> order; with 2 x 20 W)
Temperature range	-40 ... +55 °C
Connectors	7-16 female (long neck)
Application	Indoor or outdoor (IP 66)
DC/AISG transparency	
Port 1 ↔ Port 3	By-pass (max. 2500 mA)
Port 2 ↔ Port 3	Stop
Mounting	Wall mounting: With 4 screws (max. 8 mm diameter) Mast mounting: With additional clamp set
Weight	4.3 kg
Packing size	385 x 345 x 168 mm
Dimensions (w x h x d)	264 x 203 x 72.5 mm (without connectors, without mounting brackets)

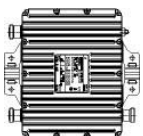
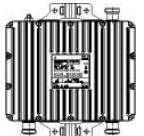
\* Valid if all ports are terminated with 50-Ohm loads.

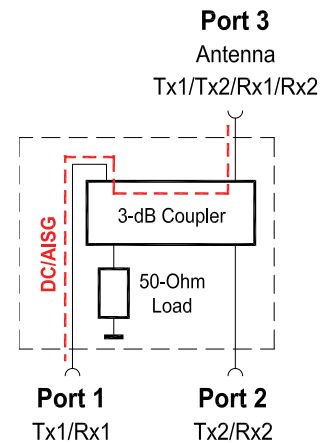
#### Note:

The input power rating of 60 W per port is specified at an ambient temperature of +55 °C with the combiner mounted vertically, without additional cooling, and while respecting the safety standard EN IEC 60950 (max. surface temperature +90 °C).

If used at a lower ambient temperature, then a higher input power in accordance with the following table is possible:

#### Max. input power per port

	Mounted horizontally	Mounted vertically
Max. ambient temperature		
+55 °C	55 W	<b>60 W</b>
+40 °C	70 W	75 W
+25 °C	80 W	85 W



#### Accessories (order separately)

Type No.	Clamp set suitable for mast diameter of
734 360	34 – 60 mm
734 361	60 – 80 mm
734 362	80 – 100 mm
734 363	100 – 120 mm
734 364	120 – 140 mm
<b>734 365</b>	45 – 125 mm

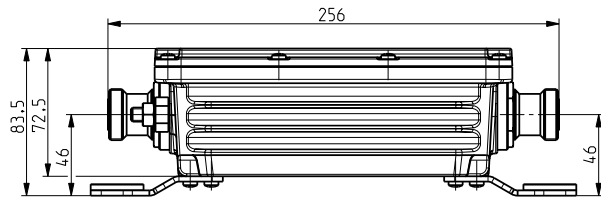
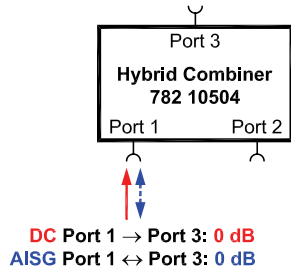


# Hybrid Combiner 2:1

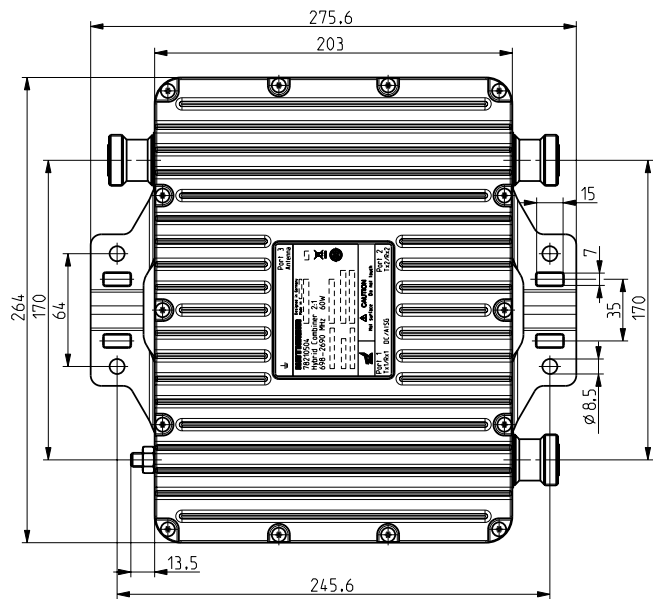
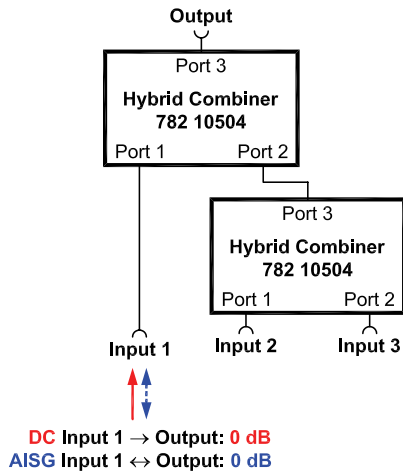
## 698 – 2690 MHz

### 2 x 60 W

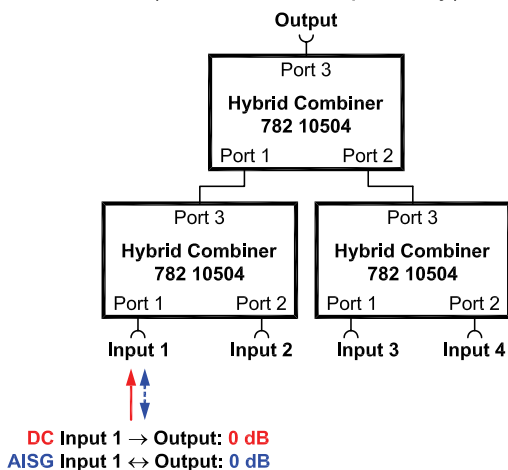
#### Configuration Example: Hybrid Combiner 2:1 (DC/AISG transparency)



#### Configuration Example: Hybrid Combiner 3:1 (DC/AISG transparency)



#### Configuration Example: Hybrid Combiner 4:1 (DC/AISG transparency)



**Please note:**

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

Extraordinary operating conditions, such as heavy icing or exceptional dynamic stress (e.g. strain caused by oscillating support structures), may result in the breakage of a mast mounted device or even cause it to fall to the ground.

These facts must be considered during the site planning process.

The Hybrid Combiner is designed to operate under the environmental conditions as described in ETS 300 019-1-4 class 4.1 E and have passed environmental tests as recommended in ETS 300 019-2-4.

The installation team must be properly qualified and also be familiar with the relevant national safety regulations.

The details given in our data sheets have to be followed carefully when installing the combiner and accessories.

The limits for the coupling torque of RF connectors, recommended by the connector manufacturers must be obeyed.

Any previous datasheet issues have now become invalid.



936.3737 Subject to alteration.

# Dual-Band Combiner

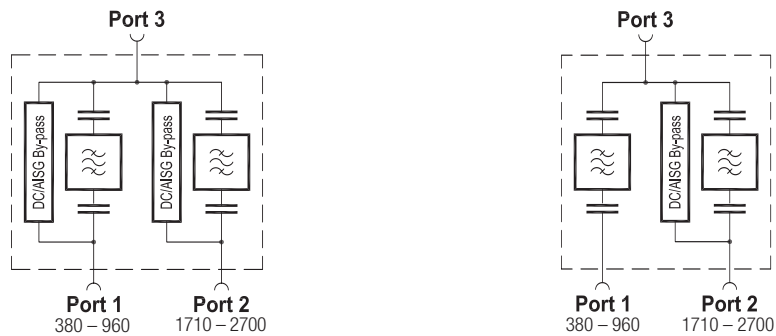
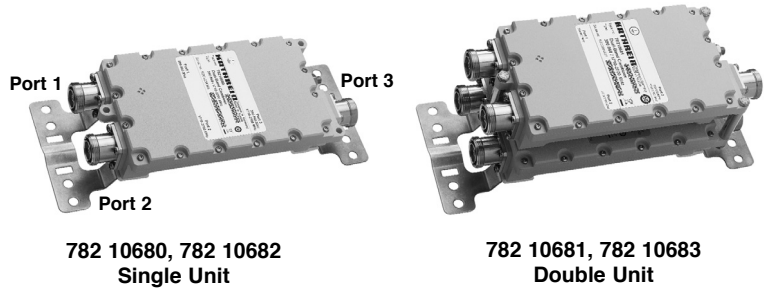
# KATHREIN

Antennen · Electronic

**380 – 960 MHz**  
TETRA / LTE800 / CDMA850 / GSM900

**1710 – 2700 MHz**  
GSM1800 / UMTS / WiMAX / LTE2600

- Designed for co-siting purposes
- Enables feeder sharing
- Can be used as a combiner near the BTS or in a reciprocal function near the antenna
- Suitable for indoor or outdoor applications
- Wall or mast mounting
- Available as a single unit, or for XPol antennas as a double unit
- Built-in lightning protection
- External DC stop available as an accessory
- **Extremely low insertion loss**
- **High input power**



## Technical Data

Type No.	782 10680 Single Unit	782 10682 Single Unit
	782 10681 Double Unit	782 10683 Double Unit
Pass band Band 1 Band 2	380 – 960 MHz 1710 – 2700 MHz	
Insertion loss Port 1 ↔ Port 3 Port 2 ↔ Port 3	< 0.1 dB (380 – 960 MHz) < 0.1 dB (1710 – 2700 MHz)	
Isolation Port 1 ↔ Port 2	> 55 dB (380 – 550 MHz) / > 65 dB (550 – 960 MHz) / > 65 dB (1710 – 2700 MHz)	
VSWR	< 1.2 (380 – 960 / 1710 – 2700 MHz)	
Impedance	50 Ω	
Input power Band 1 / Band 2	< 700 W / < 700 W	
Intermodulation products	< -160 dBc (3 <sup>rd</sup> order; with 2 x 20 W)	
Temperature range	-55 ... +60 °C	
Connectors	7-16 female (long neck)	
Application	Indoor or outdoor (IP 66)	
DC/AISG transparency Port 1 ↔ Port 3 Port 2 ↔ Port 3	<b>By-pass</b> (max. 2500 mA) <b>By-pass</b> (max. 2500 mA)	<b>Stop</b> <b>By-pass</b> (max. 2500 mA)
Lightning protection	3 kA, 10/350 μs pulse	
Mounting	Wall mounting: With 4 screws (max. 8 mm diameter) / Mast mounting: With additional clamp set	
Weight	Single Unit: 2.2 kg / Double Unit: 4.3 kg	
Packing size	Single Unit: 365 x 207 x 150 mm / Double Unit: 365 x 207 x 214 mm	
Dimensions (w x h x d)	Single Unit: 117 x 210 x 50 mm / Double Unit: 117 x 210 x 102 mm (without connectors, without mounting brackets)	

936.3749/a Subject to alteration.

# Dual-Band Combiner

# KATHREIN

Antennen · Electronic

**380 – 960 MHz**  
TETRA / LTE800 / CDMA850 / GSM900

**1710 – 2700 MHz**  
GSM1800 / UMTS / WiMAX / LTE2600

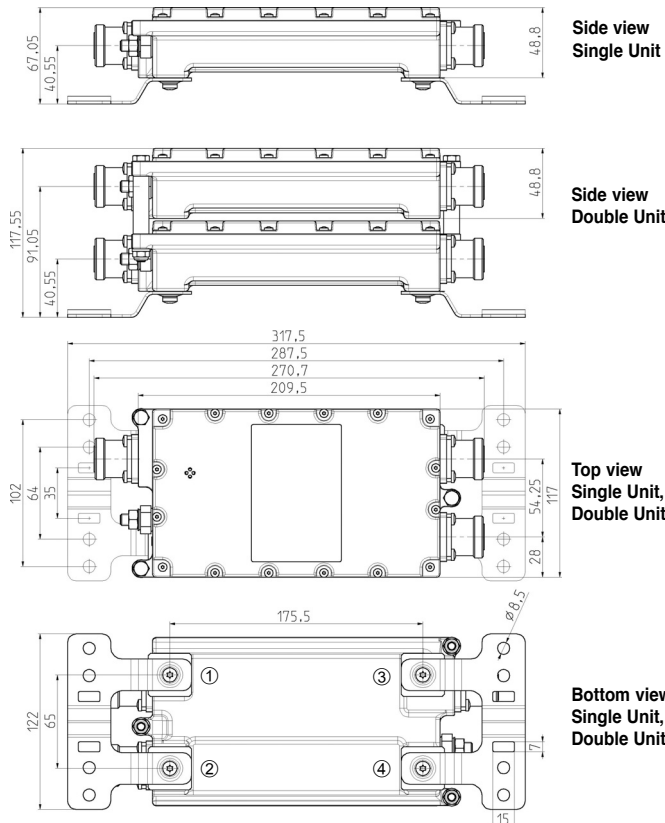
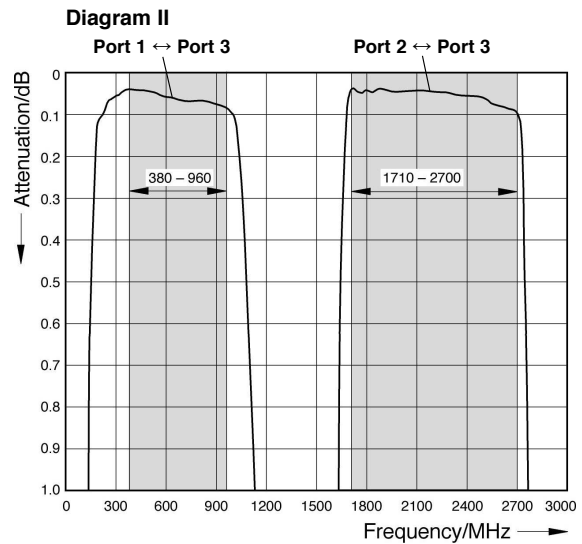
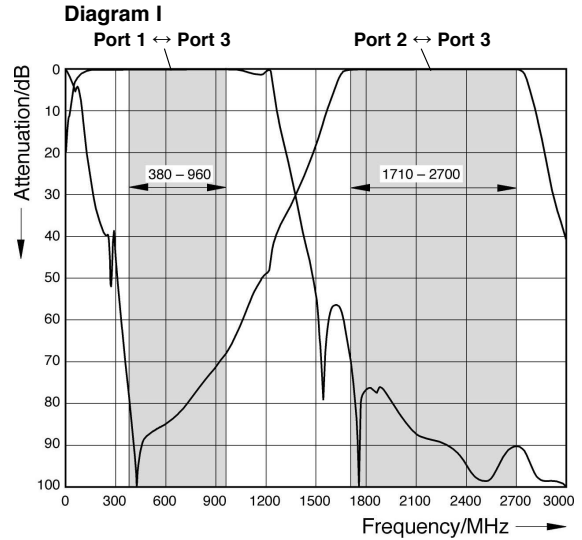
## Accessories (order separately)

Type No.	Clamp set suitable for mast diameter of
734 360	34 – 60 mm
734 361	60 – 80 mm
734 362	80 – 100 mm
734 363	100 – 120 mm
734 364	120 – 140 mm
<b>734 365</b>	<b>45 – 125 mm</b>



Type No.	Description
<b>782 10850</b>	<b>DC stop</b>
<b>784 10367</b>	<b>50-Ohm load</b>

## Typical Attenuation Curves



### Please note:

The mounting plates can be removed by loosening the screws ① to ④ (M5 x 12) and replaced with other means of mounting, always provided that the max. drilled depth of 7.5 mm is respected with the choice of replacement screws.

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

Extraordinary operating conditions, such as heavy icing or exceptional dynamic stress (e.g. strain caused by oscillating support structures), may result in the breakage of a mast mounted device or even cause it to fall to the ground.

These facts must be considered during the site planning process.

The Dual-band Combiners are designed to operate under the environmental conditions as described in ETS 300 019-1-4 class 4.1 E and have passed environmental tests as recommended in ETS 300 019-2-4.

**The installation team must be properly qualified and also be familiar with the relevant national safety regulations.**

**The details given in our data sheets have to be followed carefully when installing the combiners and accessories.**

**The limits for the coupling torque of RF connectors, recommended by the connector manufacturers must be obeyed.**

Terminate unused inputs with a suitable 50-Ohm load, e.g. 784 10367.

Any previous datasheet issues have now become invalid.





For indoor use.

**2-way Splitter 694–2700**

**3-way Splitter 694–2700**

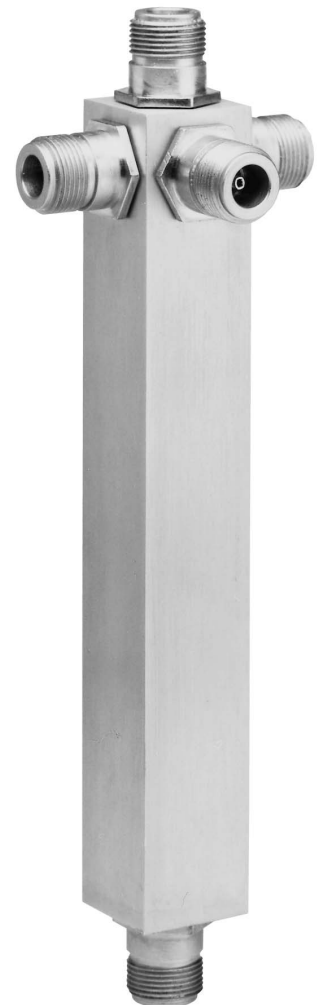
**4-way Splitter 694–2700**


Type No.	860 10017	860 10018	860 10019
Frequency range	694 – 2700 MHz		
For connecting ... antennas	2	3	4
Insertion loss	< 0.05 dB		
Impedance	50 Ω		
VSWR	694 – 894 MHz: 790 – 2500 MHz: 2500 – 2700 MHz:	< 1.5 < 1.25 < 2.0	< 1.5 < 1.25 < 2.0
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power	100 W (at 50 °C ambient temperature)		
Connector	N female		
Weight	approx. 0.6 kg		
Profile cross-section	25 x 25 mm		
Packing size	242 x 110 x 95 mm		
Max. size	204 / 63 / 41 mm		

Material: Housing: Aluminum.  
Inner conductor: Brass.

DC capability: DC transmission between all terminations  
(suitable for remote power supply systems).

Environmental conditions: IP 52

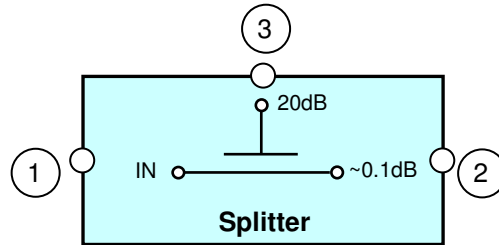


Input   
860 10019

### Coaxial 2-Way-Splitter



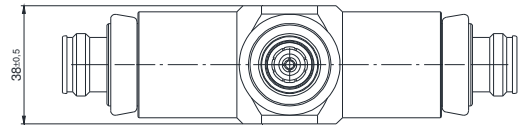
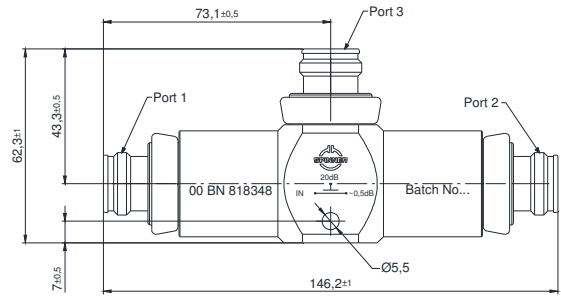
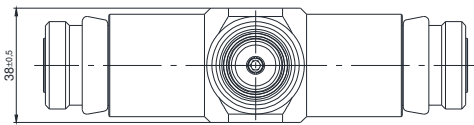
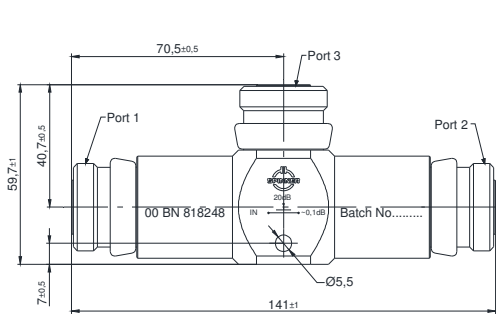
not binding



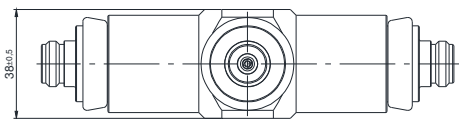
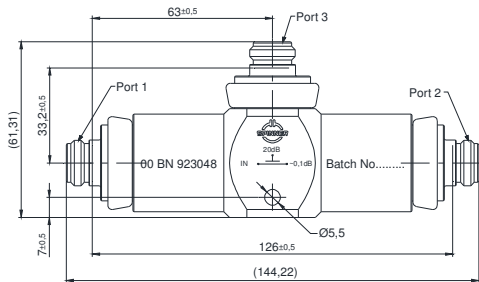
block diagram

Part number	BN 818248	BN 818348	BN 923048
Connectors	7-16 socket (50 Ohms)	4.3-10 socket(50 Ohms)	N socket(50 Ohms)
Splitting ratio	1 : 0.01 : 0.99		
Frequency range	Range 1 Range 2 Range 3	170 – 380 MHz 380 – 1500 MHz 1710 – 2700 MHz	
Insertion loss	~ 0.1 dB (Main line)		
Coupling	20 dB -1/+2.5 dB		
VSWR	≤ 1.2 (Port 1, 2)		
Power rating	500 W CW (5 kW peak / 20µs)		250 W CW (5 kW peak / 20µs)
IM – value 3rd order @ 2 x 20 W	≤ -155 dBc   typical: ≤ -160dBc	≤ -160 dBc   typical: ≤ -165dBc	≤ -150 dBc   typical: ≤ -155dBc
Degree of protection	IP 68		
Environmental conditions	ETSI EN 300019-1-1 Class 1.2 ETSI EN 300019-1-2 Class 2.3 ETSI EN 300019-1-4 Class 4.1E		
Weight	0.55 kg		
Wall / Mast mounting	to be ordered separately under BN B09499		
Temperature range	-40 °C – +70°C		

**Dimensions:**

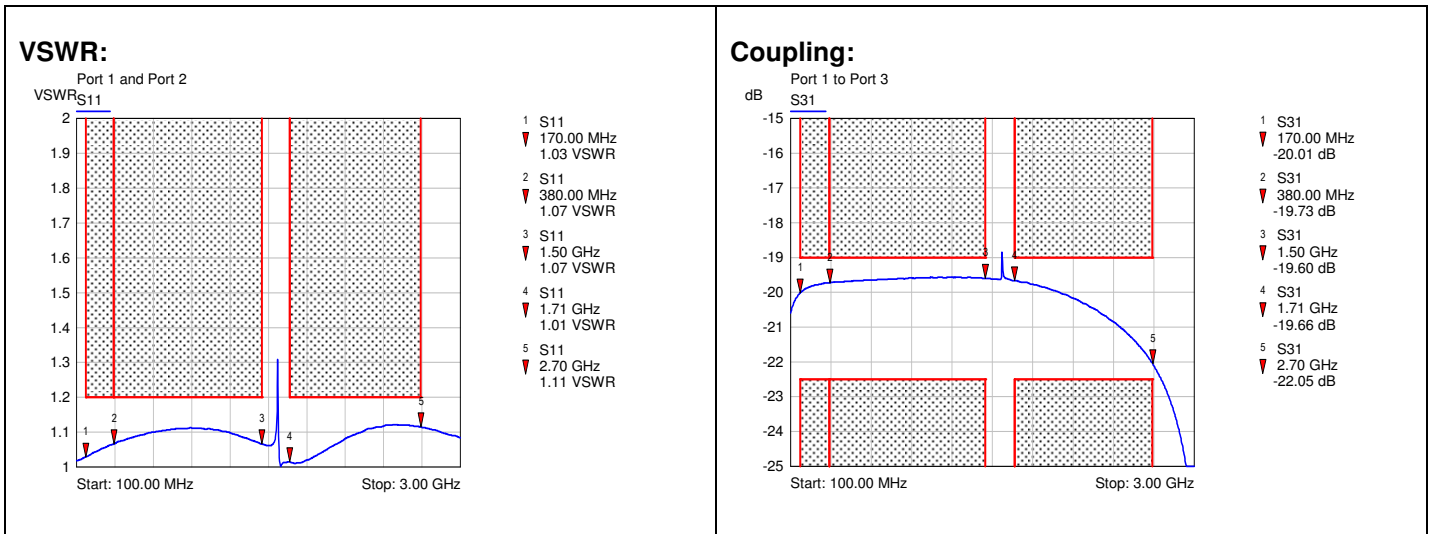


modifications reserved

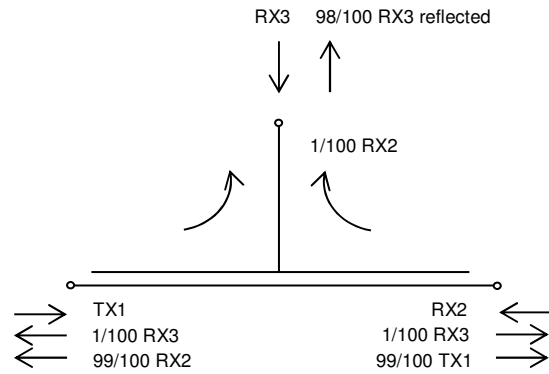
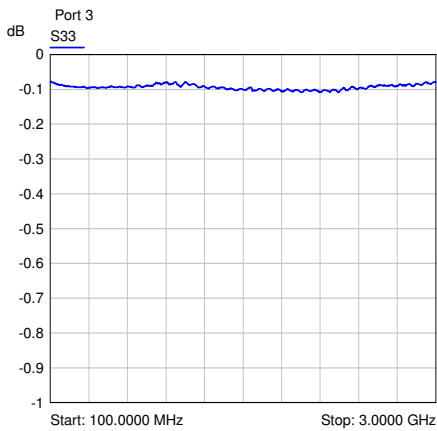


modifications reserved

Measurement:



Signal splitting ratios (approximate values, for information only):





1/2" Foam Dielectric, LDF Series – 50-ohm

LDF4-50A

Table with columns: Description, Type No., Attenuation and Average Power Ratings (Frequency, Attenuation dB/100 ft, Attenuation dB/100 m, Average Power, kW)

Table with columns: Frequency MHz, Attenuation dB/100 ft, Attenuation dB/100 m, Average Power, kW



Connectors

Table with columns: Interface, Description, Type Number, Inner Contact Attachment, Outer Contact Attachment, Plating Code, Max. Length in (mm), Max. Dia. in (mm)

Plating Codes: BS - Brass Body and Pin, BS - Brass Body and Silver Plated Pin, SG - Silver Plated Body and Gold Plated Pin, SS - Silver Plated Body and Pin

Connector Accessories – See page 624

Factory Attached Connectors – For factory made cable assemblies and jumper cables, see pages 584-587.



Standard VSWR Specifications

Table with columns: Frequency Band, GHz, Type No., 1-25 ft (0.3-8 m), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m)

Low VSWR Specifications, Type LDF4P-50A-( )

Table with columns: Frequency Band, GHz, Type No., Using Connector Type, 1-25 ft (0.3-8 m), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m)

\* Specially operating band. \*\* Connectors ordered separately. VSWR values apply to straight connectors only (except when noted otherwise), are guaranteed for factory fit assemblies, and are typical for field cut lengths. If two different connector interfaces are selected, the higher VSWR value is guaranteed.

Accessories

Table with columns: Description, Type No.

Grounding and Surge Protection – for additional grounding kits and our surge protection offerings, see pages 600-616

Table with columns: Description, Type No.

Weatherproofing – for additional weatherproofing information see pages 617-618

Table with columns: Description, Type No.

Entry Systems – For entry systems offerings see pages 618-620

Table with columns: Description, Type No.

Tools – for additional tool offerings see pages 620-621

Table with columns: Description, Type No.







Connectors

Table with 7 columns: Interface, Type Number, Inner Contact Attachment, Outer Contact Attachment, Plating Code, Max. Length in (mm), Max. Dia. in (mm). Rows include N Male One-Piece, N Female One-Piece, 7-16 DIN Male One-Piece, 7-16 DIN Female One-Piece, and 7/8" DIA Flange.

Connector Accessories – See page 624

Factory Attached Connectors – For factory made cable assemblies and jumper cables, see pages 584-587.

Standard VSWR Specifications

Table with 6 columns: Frequency Band, GHz, Type Number, 1-25 ft (0.3-8 m), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m).

\* Expected typical values based on guaranteed 1.13 VSWR for bulk cable and Type N or DIN straight connectors. If guaranteed values are required, contact Andrew.

Low VSWR Specifications, Type VXL5P-50 (-)

Table with 7 columns: Frequency Band, GHz, Type Number, Using Connector Type\*, 1-25 ft (0.3-8 m), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m).

\* Connectors ordered separately. VSWR values apply to straight connectors only, are guaranteed for factory in assemblies, and are typical for field cut lengths. If two different connector interfaces are selected, the higher VSWR value is guaranteed.



Accessories

Table with 2 columns: Description, Type No. Rows include Hangers, Standard Hangers Kit of 10, Hardware Kit of 10, Snap-in Hangers Kit of 10, Click-On Hangers Kit of 10, Knik Clamps Kit of 10, Support/Hoisting Grip, and Standard Hoisting Grip.

Grounding and Surge Protection – for additional grounding kits and our surge protection offerings, see pages 609-616

SurfGround Grounding Kit with standard weatherproofing. Factory attached one-hole lug, 600 mm (24") lead. Factory attached two-hole lug, 600 mm (24") lead. Field attached two-hole lug, 1500 mm (59") lead.

SurfGround Plus Grounding Kit with weatherproofing boot. Factory attached one-hole lug, 600 mm (24") lead. Factory attached two-hole lug, 600 mm (24") lead. Field attached two-hole lug, 1500 mm (59") lead.

Weatherproofing – for additional weatherproofing information see pages 617-618

WeatherShield™ Connector Protection Housing. VXL5 to LDF4. VXL5 to FSJ4.

Cold Shrink Weatherproofing Kit. 7/8" Coax to 7/8" Coax, N Connectors. 1-5/8" Coax to 7/8" Coax, N Connectors.

Standard Hoisting Grip. Use at 200# (50#) intervals. Grip with one clamp. Support clamp kit of 10.

Entry Systems – for entry systems offerings see pages 619-620

Table with 3 columns: Standard Cable Entry Boots, 4" Boots, 5" Boots. Rows include One-hole, Two-hole, Three-hole.

Tools – for additional tool offerings see pages 620-623

Table with 2 columns: Tools, Part No. Rows include EASIA™ Plus Automated Cable Prep Tool, EASIA™ Cutting Tool, Cable Flaring Tool, 7/8" Connector Torque Wrench, DIN Connector Coupling Torque Wrench, N Connector Coupling Torque Wrench.



7/8" Foam Dielectric, LDF Series – 50-ohm

LDF5-50A

Table with 2 columns: Description, Type No. Rows include Cable Ordering Information, Fire Retardant Cable, Low VSWR and Specialized Cables, and Characteristics.

Attenuation and Average Power

Table with 4 columns: Frequency MHz, Attenuation dB/100 ft, Attenuation dB/100 m, Average Power, kW. Rows include 0.5, 1, 1.5, 2, 20, 30, 50, 80, 100, 108, 150, 174, 200, 300, 400, 450, 500, 512, 600, 800, 824, 894, 950, 1000, 1250, 1500, 1700, 1800, 2000, 2100, 2200, 2300, 3000, 3400, 4000, 5000.

Standard Conditions: For Attenuation, VSWR: 1.0, ambient temperature 20°C (68°F), For Average Power, VSWR: 1.0, ambient temperature 40°C (104°F), inner conductor temperature 100°C (212°F), no solar loading.



Connectors

Table with 7 columns: Interface, Description, Type Number, Inner Contact Attachment, Outer Contact Attachment, Plating Code, Max. Length in (mm), Max. Dia. in (mm). Rows include N Male One-Piece, N Male Ring/Flare, N Female One-Piece, N Female Ring/Flare, 7-16 DIN Male One-Piece, 7-16 DIN Male Ring/Flare, 7-16 DIN Female One-Piece, 7-16 DIN Female Ring/Flare, 7-16 DIN Female Panel Mount, 7-16 DIN Female Bulkhead, 7-16 DIN Male Right Angle, 7/8" DIA Flange, 7/8" DIA Flange Right Angle, F Flange Male, F Flange Female.

Plating Codes: BB - Brass Body and Pin, BS - Brass Body and Silver Plated Pin, SG - Silver Plated Body and Cold Plated Pin, SS - Silver Plated Body and Pin

Connector Accessories – See page 624





Standard VSWR Specifications

Table with columns: Frequency Band, GHz, Type Number, 1-25 ft (0.3-8 m), Assembly VSWR, Maximum (R.L., dB), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m)

\* Expected typical values based on guaranteed 1:13 VSWR for bulk cable and Type N or DIN straight connectors. If guaranteed values are required, contact Andrew. \*\* 1:13 VSWR guaranteed for bulk standard cable lengths 500 ft and above.

Low VSWR Specifications, Type LDFSP-50A-( )

Table with columns: Frequency Band, GHz, Type Number, Using Connector Type\*, 1-25 ft (0.3-8 m), Assembly VSWR, Maximum (R.L., dB), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m)

\* Connectors ordered separately. VSWR values apply to straight connectors only, are guaranteed for factory fit assemblies, and are typical for field cut lengths. If two different connector interfaces are selected, the higher VSWR value is guaranteed.

Accessories

Table with columns: Description, Type No. Includes: Hangers, Standard Hangers Kit, Hardware Kit, Snap-In Hangers, Click-On Hangers, Kwik-Clamps, Grip, Standard Hoisting Grip.

Weatherproofing - for additional weatherproofing information

Table with columns: Description, Type No. Includes: WeatherShield Connector Protection Housing, Cold Shrink Weatherproofing Kit, Standard Cable Entry Boots, Connector/Splice Weatherproofing Kit, Entry Systems.

Grounding and Surge Protection - for additional grounding kits and our surge protection offerings, see pages 600-616

Table with columns: Description, Type No. Includes: SureGround Grounding Kit, SureGround Plus Grounding Kit, Arrestor Plus Integrated T-Series Arrestors.



1-1/4" Flexible Feeder, Foam Dielectric VXL Series - 50 ohm



VXL6-50

Table with columns: Description, Type No. Includes: Cable Ordering Information, Low VSWR and Specialized Cables.

\*\* Insert suffix number from "Low VSWR Specifications" table, page 511

Table with columns: Characteristics, Electrical, Mechanical. Includes: Impedance, Maximum Frequency, Peak Power Rating, dc Resistance, Outer/Inner Diameter, etc.

Attenuation and Average Power

Table with columns: Frequency, Attenuation dB/100 ft, Attenuation dB/100 m, Average Power kW. Includes: Standard Conditions.

Connectors

Table with columns: Interface, Description, Type Number, Inner Connector Attachment, Outer Connector Attachment, Plating Code, Max. Length in (mm), Max. Dia. in (mm)

Plating Codes: SG - Silver Plated Body and Gold Plated Pin, SS - Silver Plated Body and Pin.

Connector Accessories - See page 624

Standard VSWR Specifications

Table with columns: Frequency Band, GHz, Type No., 1-25 ft (0.3-8 m), Assembly VSWR, Maximum (R.L., dB), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m)

\* Expected typical values based on guaranteed 1:13 VSWR for bulk cable and Type N or DIN straight connectors. If guaranteed values are required, contact Andrew. \*\* 1:13 VSWR guaranteed for bulk standard cable lengths 500 ft and above.

Low VSWR Specifications, Type VXL6P-50-( )

Table with columns: Frequency Band, GHz, Type No., Using Connector Type\*, 1 to 25 ft (0.3-8 m), Assembly VSWR, Maximum (R.L., dB), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m)

\* Connectors ordered separately. VSWR values apply to straight connectors only, are guaranteed for factory fit assemblies, and are typical for field cut lengths. If two different connector interfaces are selected, the higher VSWR value is guaranteed.









Accessories

Table with columns: Description, Type No.
Hangers - For more hangers, adapters and mounting hardware see pages 598-607
Standard Hangers Kit of 10, Standard tower configuration spacing is 3-4 feet (1-1.2 m).

Table with columns: Description, Type No.
Weatherproofing - for additional weatherproofing information see pages 617-618
WeatherShield™ Connector Protection Housing
LDF 6 to LDF4 WS-4-6L4

Table with columns: Description, Type No.
Cold Shrink Weatherproofing Kit
1-1/4" Coax to 1-1/4" Coax N Connectors 241474-6
1-1/4" Coax to 1/4" Coax 241475-11

Table with columns: Description, Type No.
Entry Systems - For entry systems offerings see pages 619-620
Standard Cable Entry Boots 4" Boots 5" Boots
One Hole: 204678A-3 48939A-2

Table with columns: Description, Type No.
Tools - for additional tool offerings see pages 620-623
EASIAx® Plus Automated Cable Prep Tool CPTL6
1-1/4" Connector Torque Wrench 244375

Table with columns: Description, Type No.
Grounding and Surge Protection - for additional grounding kits and our surge protection offerings, see pages 609-616
SureGround Grounding Kit with standard weatherproofing

Table with columns: Description, Type No.
Arrestor Plus Integrated T-Series Arrestors - see page 614
Bulkhead N Female APTL6-BNF-(-)
Bulkhead 7-16 DIN Female APTL6-BDF-(-)

Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

Table with columns: Description, Type No.
Snap-In Hangers Kit of 10, For pre-punched 3/4" (19mm) holes on tower member or adapters.

Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

Table with columns: Description, Type No.
Weatherproofing - for additional weatherproofing information see pages 617-618
WeatherShield™ Connector Protection Housing
LDF 6 to LDF4 WS-4-6L4

Table with columns: Description, Type No.
Cold Shrink Weatherproofing Kit
1-1/4" Coax to 1-1/4" Coax N Connectors 241474-6
1-1/4" Coax to 1/4" Coax 241475-11

Table with columns: Description, Type No.
Entry Systems - For entry systems offerings see pages 619-620
Standard Cable Entry Boots 4" Boots 5" Boots
One Hole: 204678A-3 48939A-2

Table with columns: Description, Type No.
Tools - for additional tool offerings see pages 620-623
EASIAx® Plus Automated Cable Prep Tool CPTL6
1-1/4" Connector Torque Wrench 244375

Table with columns: Description, Type No.
Grounding and Surge Protection - for additional grounding kits and our surge protection offerings, see pages 609-616
SureGround Grounding Kit with standard weatherproofing

Table with columns: Description, Type No.
Arrestor Plus Integrated T-Series Arrestors - see page 614
Bulkhead N Female APTL6-BNF-(-)
Bulkhead 7-16 DIN Female APTL6-BDF-(-)

Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

Table with columns: Description, Type No.
Snap-In Hangers Kit of 10, For pre-punched 3/4" (19mm) holes on tower member or adapters.

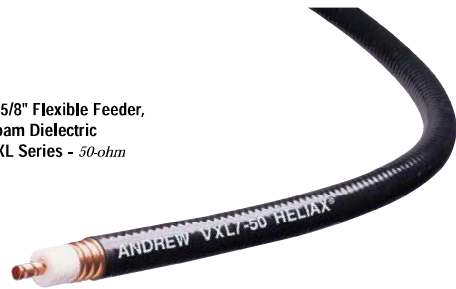
Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

Table with columns: Description, Type No.
Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-4'
Mounting Hardware see page 605

1-5/8" Flexible Feeder, Foam Dielectric VXL Series - 50-ohm



VXL7-50

Table with columns: Description, Type No.
Cable Ordering Information
Standard Cable
1-5/8" Standard Cable, Standard Jacket VXL7-50

Table with columns: Description, Type No.
Fire Retardant Cable
1-5/8" Fire Retardant Jacket (CATVR) VXL7RN-50

Table with columns: Description, Type No.
Low VSWR and Specialized Cables
1-5/8" Low VSWR, specify operating band VXL7P-50-(-\*)

Table with columns: Description, Type No.
Electrical
Impedance, ohms 50 ± 1
Maximum Frequency, GHz 2.5

Table with columns: Description, Type No.
Mechanical
Outer Conductor Copper
Inner Conductor Copper Tube

Attenuation and Average Power

Table with columns: Frequency (MHz), Attenuation @8100 ft, Attenuation @8100 m, Average Power (kW)

Standard Conditions: For Attenuation, VSWR L0 ambient temperature 20°C (68°F); for Average Power, VSWR L0, ambient temperature 40°C (104°F), inner conductor temperature 100°C (212°F), no side loading.



Connectors

Table with columns: Interface, Description, Type Number, Inner Contact Attachment, Outer Contact Attachment, Plating Code, Max. Length in (mm), Max. Dia. in (mm)

Connector Accessories - See page 624

Standard VSWR Specifications

Table with columns: Frequency Band, GHz, Type No., 1-25 ft (3-8 m), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m)

\* Expected typical values based on guaranteed 1:13 VSWR for bulk cable and Type N or DIN straight connectors. If guaranteed values are required, contact Andrew.

Low VSWR Specifications, Type VXL7P-50-(-)

Table with columns: Frequency Band, GHz, Type No., Using Connector Type\*, 1 to 25 ft (0.3-8 m), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m)

\* Connectors not listed separately. VSWR values apply to straight connectors only, are guaranteed for factory fit assemblies, and are typical for field cut lengths. If two different connector interfaces are selected, the higher VSWR value is guaranteed.

Accessories

Table with columns: Description, Type No.
Hangers - For more hangers, adapters and mounting hardware see pages 598-607
Standard Hangers Kit of 10, Standard tower configuration spacing is 3-4 feet (1-1.2 m).

Table with columns: Description, Type No.
Weatherproofing - for additional weatherproofing information see pages 617-618
WeatherShield™ Connector Protection Housing WS-4.7L4

Table with columns: Description, Type No.
Cold Shrink Weatherproofing Kit
1-5/8" Coax to 1-1/4" Coax N Connectors 241474-6
1-5/8" Coax to 1/4" Coax 241475-11

Table with columns: Description, Type No.
Entry Systems - For entry systems offerings see pages 619-620
Standard Cable Entry Boots 4" Boots 5" Boots
One Hole: 204678A-4 48939A-4

Table with columns: Description, Type No.
Tools - for additional tool offerings see pages 620-623
EASIAx® Plus Automated Cable Prep Tool CPTL7
1-5/8" Connector Torque Wrench 244374





1-5/8" Foam Dielectric, LDF Series - 50-ohm

LDF7-50A

Table with 2 columns: Description, Type No. Includes Cable Ordering Information, Characteristics, and Mechanical details.

Attenuation and Average Power table with columns: Frequency Mhz, Attenuation dB/100 ft, Average Power, KW.

Standard Conditions: For Aluminum, VSWR 1.0, inner temperature 20°C (68°F), atmospheric pressure, dry air.



Connectors

Table with 7 columns: Interface, Description, Type Number, Inner Contact Attachment, Outer Contact Attachment, Plating Code, Max. Length in (mm), Max. Dia. in (mm).

Plating Codes: 00 - Brass body and Pin, SG - Silver Plated body and Gold Plated Pin, SS - Silver Plated body and Pin

Connector Accessories - See page 624

Factory Attached Connectors - For factory made cable assemblies and jumper cables, see pages 584-587.

Standard VSWR Specifications

Table with 6 columns: Frequency Band, GHz, Type Number, 1-25 ft (0.3-8 m), 25-100 ft (8-30 m), 100-200 ft (30-60 m), 200-500 ft (60-150 m), Above 500 ft (150 m).

\* Expected typical values based on guaranteed 1.3 VSWR for bulk cables and type IV or DIN straight connectors. \*\* 1.3 VSWR guaranteed for bulk standard cable lengths 300 ft and above.



Low VSWR Specifications, Type LDF7P-50A (-)

Large table with 7 columns: Frequency Band, GHz, Type Number, Using Connector Type, and Attenuation/Average Power for various cable types and lengths.

\* Connectors ordered separately VSWR values apply to straight connectors only, are guaranteed for factory fit assemblies, and are typical for field cut lengths. If two different connector interfaces are selected, the higher VSWR value is guaranteed.

Accessories

Weatherproofing - For more hangers, adapters and mounting hardware see pages 598-602

Standard Hangers Kit of 10, Standard tower configuration spacing is 3.4 feet (1-1.2 m).

Hardware Kit of 10, 3/8" bolts, lockwashers, nuts

3/4" (19 mm) long 31769-5 1/2" (25 mm) long 31769-1

Snap-in Hangers Kit of 10, For pre-punched 3/4" (19 mm) holes on tower member or adapters.

Click-On Hangers Kit of 10, Recommended maximum spacing is 3-ft.

Kwik-Clamps Kit of 10, See page 607 for hanger options

Support/Hoisting Grip, Use at 200ft (60m) intervals.

Grip with one clamp L75GRIP Support clamp kit of 10 L75GRIP-7IK

Standard Hoisting Grip 24312

Grounding and Surge Protection - for additional grounding kits and surge protection offerings, see pages 600-616

SurgeGround Grounding Kit with standard weatherproofing

SurgeGround Plus Grounding Kit with weatherproofing boot

Arrestor Plus Integrated T-Series Arrestors - see page 614

\* Frequency band, See page 614.

Description

Table with 3 columns: Description, Type No., and details for Weatherproofing, WeatherShield® Connector Protection Housing, Cold Shrink Weatherproofing Kit, Snap-in Hangers Kit, Click-On Hangers Kit, Kwik-Clamps Kit, Support/Hoisting Grip, Standard Hoisting Grip, Grounding and Surge Protection, SurgeGround Grounding Kit, SurgeGround Plus Grounding Kit, Arrestor Plus Integrated T-Series Arrestors.



## Especificaciones del nodo Ericsson de OSP

### Cabinet: RBS6201

The RBS6201 consists of an indoor cabinet with either only internal Radio Units (RUs) or a combination of both internal and external RUs. The external unit can be a Remote Radio Unit (RRU) or an Antenna Integrated Radio (AIR) unit. An optical cable connects each external radio to the cabinet.



*RBS6201 Cabinet*

Featuring an extremely high degree of integration and modular building practice, the RBS 6201 is an entire site, including transmission and power in a single cabinet. The cabinet contains two radio shelves and all power, transport network and supporting equipment.

The RBS 6201 two radio shelves can be equipped with virtually any combination of GSM, WCDMA and LTE, which are available for all common frequencies. A single radio shelf can provide up to 3×8 GSM or 3×4 MIMO WCDMA or 3×20 MHz MIMO LTE or a combination of above standards.

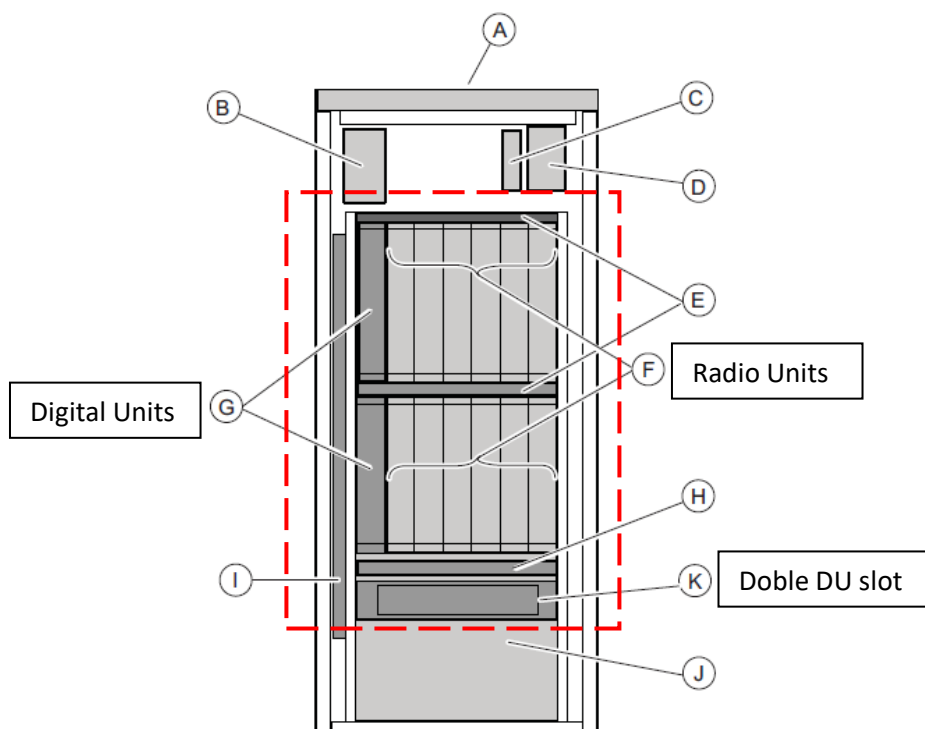
- Multi-standard, supports GSM, WCDMA, LTE, and CDMA standards.
- Supports single mode and mixed mode multistandard configurations.
- Complete RBS in a two radio subrack cabinet with a standard indoor RBS footprint.
- Can be equipped with various RUs, RRUs and AIR units.
- Can be equipped with Digital Units (DUs).
- Can be configured with the Transport Connectivity Unit (TCU).
- Can be configured with the AuXiliary Multiplexing Unit (XMU).
- Has the following power supply alternatives:
- -48 V DC (two-wire)

- +24 V DC (two-wire or three-wire)
- 100–250 V AC
- Supports cabinet with -48 V DC external power feeding. (Battery backup available)
- Integrated power system for efficient on-demand power
- Supports up to 15 U in the optional equipment space depending on configuration.
- Supports Global Positioning System (GPS) as a synchronization source.
- Supports external alarms.
- Supports DBAs or additional equipment outside the cabinet with external power feeding.
- Flexible channel sized from 5 to 20 MHz
- 2x2 MIMO support
- 4 way receive diversity
- Remote Electrical Tilt (RET) support
- VSWR antenna supervision
- Tightly integrated network and site management system
- Full IP connectivity
- Gigabit Ethernet transport network interface
- Encrypted backhaul for bearer and control plane traffic

Dimensioning:

The RBS6201 supports:

- two radio shelves, **up to 12 radio Unit**
- up to 2 digital unit
  - 4 DUG/DUS or 2 DUW
  - If the double DUW slot adaptor is installed, 8xDUG/DUS or 4xDUW



### Digital Unit for WCDMA DUW31:

The Digital Unit WCDMA (DUW) contains the baseband, control, and switching, as well as the *Iub* and *Mub* interfaces.

The DUW can handle different time varying traffic mixes consisting of voice circuit-switched data, packet-switched data, and high-speed data such as High-Speed Packet Access (HSPA):

- MIMO and 64QAM downlink
- 16QAM uplink
- Interference cancellation
- Multi-carrier
- Continuous packet connectivity
- Multistandard ready



DUW 11/31

#### > DUW 11

- 3x Gigabit ethernet ports
- IP & ATM support
- 128 CE DL / 128 CE UL
- 252 Mbps DL
- 24 Mbps UL
- Width 31mm

#### > DUW 31

- 3x Gigabit ethernet ports
- IP support only
- 768 CE DL / 512 CE UL
- 252 Mbps DL
- 92 Mbps UL
- Width 62mm

The DUW provides ATM and IP:

- ATM connectivity
- A gigabit Ethernet or (100/1000 Base-T Ethernet)
- Channelized STM-1 transport network interface

Four IMA capable E1/T1/J1 ports

**Digital Unit for LTE DUS31:**

The digital unit **DUS 31** is a **multi-mode baseband Unit KDU 177 624/3 R2A**. The DUS 31 supports FDD/TDD LTE + GSM multi-mode eNodeB.

The DUS31 offers a way to look into the multi-mode digital baseband unit for Ericsson's RBS6000 platform. The DUS is the convergence of the first generation DUL unit for LTE and the DUG unit for GSM. Specifically, the DUS 31 01 versions offers mobile operators a 2x capacity increase as compared with the DUL 20 01 along. In addition, the unit can be operated in single mode FD LTE, single mode TDD LTE, single mode GSM, multi-mode FDD LTE+GSM or multi-mode TDD LTE+GSM. So it allows mobile operators to free up one critical DU slot within the RBS6x01 or RBS610x/620x cabinet.



Technical Data	Power Consumption and Heat Dissipation, Maximum	Supported Radio Interface Connections, Upto	Dimensions			
			Height	Width	Depth	Weight
DUL 20 01	110 W	2.5 Gbps	350 mm	31 mm	280 mm	< 3 kg
DUS 31 01	250 W	2.5 Gbps, 5 Gbps, 10Gbps	350 mm	31 mm	280 mm	< 3 kg
DUS 41 01	250 W	2.5 Gbps, 5 Gbps, 10Gbps	350 mm	31 mm	280 mm	< 3 kg

**Version SW:**

DUS 31

- R1B, R1C only to be mounted in RBS 6601.
- R2A can also be mounted in RBS 6101, 6102, 6201, 6202.
- R3A possible to mount DUS as secondary DU. Dual DUS is not supported in L12B SW.

**The multi-mode FDD/TDD LTE+GSM eNodeB unit supports in LTE mode:**

- A maximum downlink throughput of 300Mbps.
- A maximum uplink throughput of 150Mbps.
- It is also capable of supporting 24TRx in GSM mode.

By upgrading to the DUS 31 01, mobile operators can support 3GPP Release 10 Category 6 and Category 7 user equipment (UE) on their networks.

# Radio Unit Description

---

## RUS 02





# Radio Unit Description

## Contents

<b>1</b>	<b>Product Overview</b>
1.1	Purpose
1.2	Variants
1.3	Warranty Seal
<b>2</b>	<b>Function Description</b>
<b>3</b>	<b>Technical Data</b>
<b>4</b>	<b>Signal and Power Interfaces</b>



# 1 Product Overview

This document describes the Radio Units (RUs) for RBS 6000 systems.

## 1.1 Purpose

The main purpose of the RU is to send and receive signals.

The RU receives digital data and converts it to analog radio signals. It also receives radio signals and converts these to digital signals.

RUs support Frequency-Division Duplex (FDD) only. For the technical attributes of the radio units, see Section 3.

Figure 1 shows the interface of the RU.

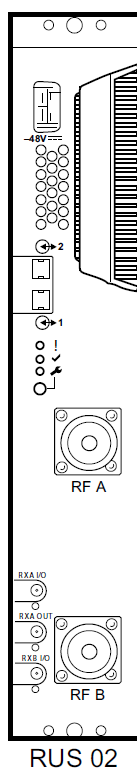


Figure 1 RUS 02 Front



## 1.2 Variants

The following variants are available:

- RUS 02 B1
- RUS 02 B2
- RUS 02 B3
- RUS 02 B5
- RUS 02 B8
- RUS 02 B28A
- RUS 02 B28B

## 1.3 Warranty Seal

The unit is equipped with a warranty seal sticker.

**Note:**

Seals that have been implemented by Ericsson shall not be broken or removed, as it otherwise will void warranty.

## 2 Function Description

The RU is certified for 60 W and 80 W. The default output power without license keys is 20 W. License keys are used to set the output power to 40 W, 60 W or 80 W.

**Note:**

For 80 W output power, besides a license key, it is required that the hardware has 80 W capability.

The RU has the following functions:

- Transceiving Processing
- Uplink and downlink filtering
- Power Amplifier (PA) functions
- Up to four carriers downlink and uplink with 2-RX diversity
- Supports the function Remote Electrical Tilt (RET)

Figure 2 shows a general example of the block diagram of an RU.

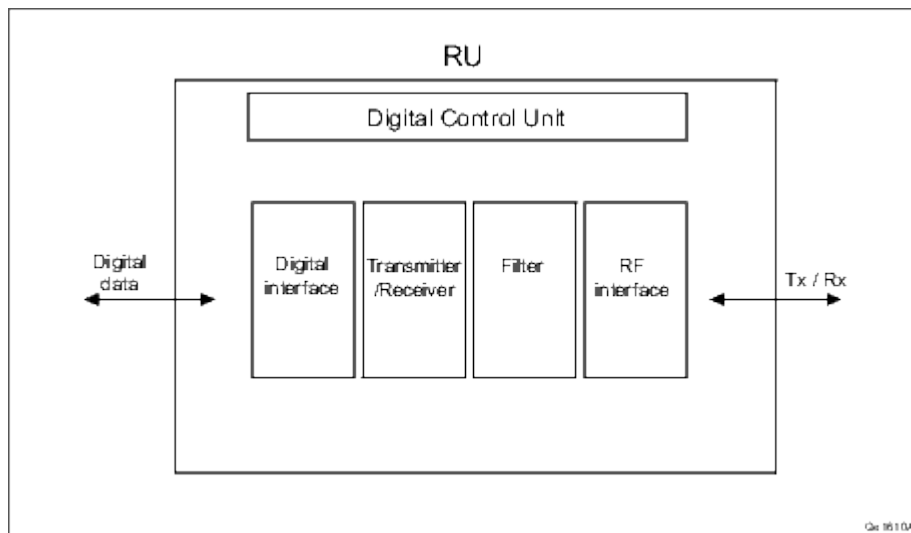


Figure 2 RU Block Diagram

### 3 Technical Data

Table 1 lists the technical data for the RUs.

Table 1 RU Technical Data

Technical Data	Maximum Nominal Output Power			Frequency			Max. Heat Dissipation [W] (Extended Output)	Dimensions				Maximum Uplink Attenuation <sup>(1)</sup> [dB]
	Without License [W]	With License [W]	Extended Output with License [W]	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]	Band		Height [mm]	Width [mm]	Depth [mm]	Weight [kg]	
RUS 02 B2	20	80	-	1850 to 1910	1930 to 1990	2	420 <sup>(3)</sup>	350	61	326	7.3	-50 to +50
RUS 02 B5	20	80	100	824 to 849	869 to 894	5	400	350	61	326	7.13	-50 to +50
RUS 02 B8	20	80	100	880 to 915	925 to 960	8	400	350	61	326	7.3	-50 to +50
RUS 02 B28A	20	60	-	718 to 748	773 to 803	28A	400	350	61	326	7.4	-50 to +50
RUS 02 B28B	20	100	-	703 to 733	758 to 788	28B	400	350	61	326	7.6	-50 to +50

(1) The maximum uplink attenuation limit can also be affected by other radio limitations

(2) RRUS 11 for B12 has a bandwidth that is 2 MHz narrower than 3GPP. The supported frequency corresponds to EARFCN (Channel Numbers) of 5,010 - 5,169 in downlink and 23,010 - 23,169 in uplink.








(3) For 80 W license.



## 4 Signal and Power Interfaces

Table 2 lists the details for the external interfaces on the RU.

*Table 2 RU Front Interfaces*

Marking	Description	Connector
RF A	Transmitting/Receiving RF Feeder connection	7/16
RF B	Receiving RF Feeder connection	
RXA I/O	RXA cross connect output, external input	QMA
RXA Out	RXA co-site output	
RXB I/O	RXB cross connect input, RXB co-site output	
F	Fault. Red optical indicator. Renamed to  in later versions	-
O	Operational. Green optical indicator. Renamed to  in later versions	
I	Information. Yellow optical indicator. Renamed to M or  and changed color to blue in later versions. Do not touch the Maintenance button when this indicator is blinking	
	Fault. Red optical indicator.	
	Operational. Green optical indicator.	
	Information. Blue optical indicator. Do not touch the Maintenance button when this indicator is blinking	
	Maintenance button. Do not touch when the Information indicator is blinking	
Data 1	Gamma data and electrical CPRI	
Data 2		
Power	-48 V DC	Power

The I/O ports are configured individually by software as input or output.

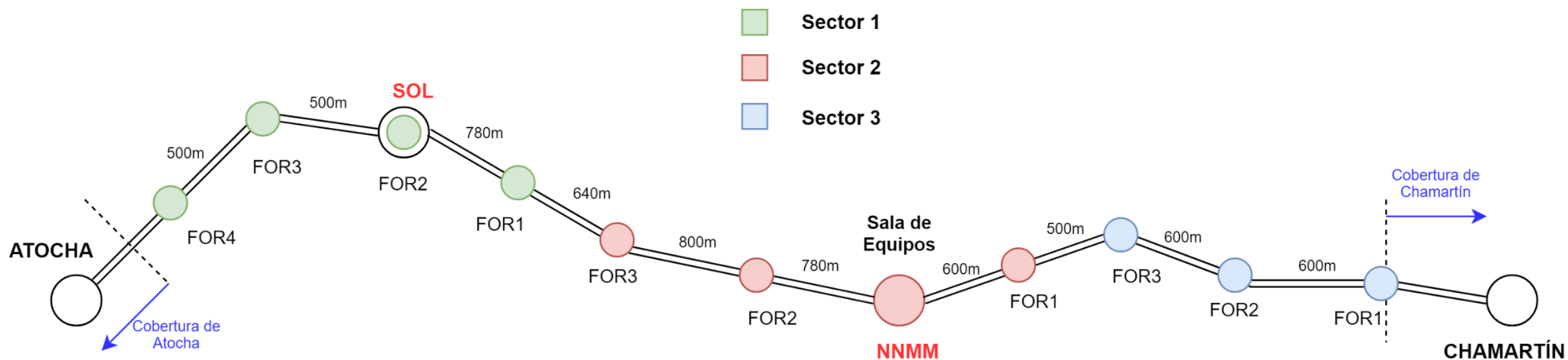
---

# ANEXO H

---

Distancia entre FORs

## Anexo: Distancia entre FORs



Zona	Tipo de cobertura	Sector	Punto kilométrico
Estación de Atocha	Cobertura propia	--	0
Apartadero 1 de Túnel 1	Repetidor óptico	1	0,4
Apartadero 2 de Túnel 1	Repetidor óptico	1	0,9
Estación de Sol	Repetidor óptico	1	1,4
Apartadero 1 de Túnel 2	Repetidor óptico	1	2,18
Apartadero 2 de Túnel 2	Repetidor óptico	2	2,82
Apartadero 3 de Túnel 2	Repetidor óptico	2	3,62
Estación de NMM (central)	Señal desde sala de equipos	2	4,4
Apartadero 1 de Túnel 3	Repetidor óptico	2	5
Apartadero 2 de Túnel 3	Repetidor óptico	3	5,5
Apartadero 3 de Túnel 3	Repetidor óptico	3	6,1
Apartadero 4 de Túnel 3	Repetidor óptico	3	6,7
Estación de Chamartín	Cobertura propia	--	7,3

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

BILBOKO  
INGENIARITZA  
ESKOLA  
ESCUELA  
DE INGENIERÍA  
DE BILBAO