

Capítulo 5

Planificación del Sistema Radio GSM/GPRS/EDGE

5.1 – Introducción

Este apartado comprende el principal objetivo del proyecto, en el cual se va diseñar y planificar la parte de radiofrecuencia de una red celular cumpliendo con la solución más eficiente en lo que se refiere a calidad y coste. La red diseñada se enmarca dentro de los sistemas GSM, GPRS y EDGE, los cuales fueron introducidos en los capítulos anteriores.

En un primer apartado (5.2) se describen los conceptos básicos con los que el lector se encontrará a lo largo del capítulo. Existe una nomenclatura amplísima así como un gran conjunto de elementos conocidos por sus siglas, que a veces lleva a confusión. El apartado 5.3 se describe el proceso de planificación de un sistema de radiofrecuencia (sistema radio), diferenciando y comentando cada una de sus fases. Por último, en los apartados 5.4, 5.5 se

analizan cada una de las fases en nuestro caso particular: *fase de dimensionamiento* y *fase de planificación detallada*.

5.2 – Conceptos Básicos

A continuación se describen los conceptos básicos utilizados en el capítulo y su relación con la tarea de planificación. Los conceptos que aquí se describen, constituyen un complemento a la descripción de los elementos que componen la arquitectura de la red GSM y que se puede encontrar en la sección 2.2 – *Arquitectura de la red GSM* perteneciente al capítulo 2.

→ **BTS** (*Base Transceiver Station* – Estación base transceptora)

A veces denominada estación base, o simplemente BS. Las BTSs conectan vía radio con las estaciones móviles y constituyen la interfaz entre éstos y el resto de la red. Una BTS normalmente sirve, de forma independiente, de 1 a 3 áreas de cobertura, aunque también podemos encontrar sistemas con 4 sectores en GSM. Estas áreas de cobertura se suelen denominar **sectores** o **celdas**. Las estaciones base con un solo sector que radia con la misma potencia en todas las direcciones del plano horizontal se denominan omnidireccionales y se suelen usar en zonas rurales o en interiores, ya que tienen las peores cualidades para dar cobertura y capacidad. Las estaciones base con dos sectores se denominan bidireccionales o bisectoriales y son típicamente usadas en carreteras y avenidas. Por último, las estaciones base con tres sectores, trisectoriales, que son las más ampliamente usadas tanto en entornos urbanos como en rurales ya que proporcionan mayores áreas de cobertura (debido a las altas ganancias de las antenas direccionales frente a las omnidireccionales) y mayor capacidad, ya que cuentan con la posibilidad de hacer *tilt*, es decir, inclinar un cierto ángulo su patrón de radiación, disminuyendo de esta manera la interferencia

entre estaciones y concentrando su area de servicio en la zona objetivo.

→ **Transceptor**

También denominado **TRX**, frecuencia o canal de radiofrecuencia. Componente de las estaciones bases capaz de transmitir y recibir señales. Un sector puede tener más de un **TRX** y cada uno se configura en una frecuencia o canal GSM distinto.

→ **Site o emplazamiento**

Es la localización física de la estación base comprendiendo todo el equipo (TRXs de cada sector, refrigeración, baterías eléctricas, líneas de transmisión, antenas instaladas, etc.).

→ **Cobertura**

Propiedad de una zona por la cual una estación móvil puede establecer una conexión con la estación base. Para que esta conexión sea continua, hay que definir la distancia máxima entre la estación base y la estación móvil. Esta distancia viene determinada por la mínima señal posible en ambos lados receptores y la máxima potencia de transmisión en ambos lados transmisores. Estos niveles de recepción y transmisión se pueden mejorar usando gran variedad de técnicas (diversidad, amplificadores de bajo ruido, antenas direccionales, etc.).

La diferencia entre el máximo nivel de transmisión y el mínimo en recepción entre las antenas de la BTS y el MS se denomina el **path loss** máximo [2, 3] y viene a ser la máxima atenuación permitida entre la BTS y el MS y viceversa. El path loss es conocido también como la **atenuación compensable**. Conociendo esto y la

atenuación de radio-propagación del entorno en el que nos encontramos, obtenemos la distancia máxima entre la BTS y el MS para que sea posible la comunicación. Un parámetro esencial en la planificación de la cobertura es la altura de las antenas.

→ **Capacidad**

El principal objetivo a alcanzar en la planificación de una infraestructura en radiofrecuencia es minimizar el número de estaciones base con el propósito de minimizar sus costes de construcción, operativos y de mantenimiento. La forma de minimizar el número de estaciones base, es maximizar el número de canales o frecuencias en cada una de estas.

El número de frecuencias disponibles para la red es limitado, pero cada una de estas frecuencias puede ser reutilizada cada cierta distancia. Esta distancia está relacionada con la relación portadora-interferencia (C/I), en la que juega un papel importante el entorno de propagación y una vez más pero en sentido contrario, la altura de las antenas. Es decir, la solución óptima en cobertura no significa necesariamente la solución óptima en capacidad y viceversa [2]. La solución óptima es aquella en la que cobertura, capacidad e interferencia se combinan para alcanzar una única solución en la que se maximizan las dos primeras y se minimiza la última.

→ **Entorno de propagación**

La propagación de ondas de radio en el aire, o radiopropagación, depende del entorno en el que tiene lugar. En cada uno de ellos la señal decrece con la distancia, conforme a una cierta curva (**Slope**) [2].

Una posible clasificación es: entorno **urbano**, **suburbano** y **rural** [2]. Ésta responde al tipo de obstáculos

en su naturaleza, tamaño y densidad alrededor de las antenas de las estaciones base y de estaciones móviles.

Otra posible clasificación muy común es: entorno **macrocelular** cuando las antenas de las estaciones base se encuentran instaladas sobre la altura media de los tejados del entorno cercano, y **microcelular** cuando dichas antenas están instaladas bajo dicha altura media. Entornos microcelulares sólo existen en áreas urbanas, donde los edificios superan en su mayoría las tres o cuatro plantas [2]. **Microestaciones** (una estación base en un entorno *microcelular*) son usadas específicamente en áreas de alta capacidad, donde las frecuencias tienen un alto grado de reutilización, o en puntos negros de cobertura [2]. Valores típicos de atenuación para estas clasificaciones se encuentran en la Tabla 5.1.

Entorno	Slope (dB/dec)
Microcelular	20
Rural	25
Suburbano	30
Urbano	40
Urbano denso	>45

Tabla 5.1 – *Slope* en entornos
(Pérdidas con la distancia) [2]

Para acabar, una última y trivial clasificación del entorno sería: **outdoor** (localización exterior) e **indoor** (localización interior).

5.3 – Proceso de planificación del sistema radio

5.3.1 – Introducción

La planificación del sistema radio es un proceso que define las etapas necesarias para alcanzar una solución que cumpla con los requerimientos de cobertura, capacidad y calidad (en relación a las posibles interferencias). Estas tres áreas deben ser optimizadas para así obtener una red eficiente y con una calidad de servicio determinada (QoS) [2].

En lo que a cobertura se refiere, el objetivo es maximizar el área de cobertura de cada estación base minimizando así la infraestructura requerida. Correspondientemente, las necesidades en número de estaciones base debe ser minimizada en el plan de capacidad para así reutilizar los canales de frecuencia tanto como sea posible. Todo esto tiene dos visiones enfrentadas, por un lado maximizar el área de cobertura de cada estación base es fruto del aumento de las alturas de las antenas instaladas, y por otro, maximizar la capacidad de la red reutilizando frecuencias requiere minimizar la altura de las antenas. Es decir, hay que llegar a una solución de compromiso entre cobertura y capacidad a través de la calidad planificada, diseñando para ello, un plan de frecuencias.

5.3.2 – Fases del proceso

El proceso de planificación del sistema radio se divide en tres fases [2], como muestra la Figura 5.1

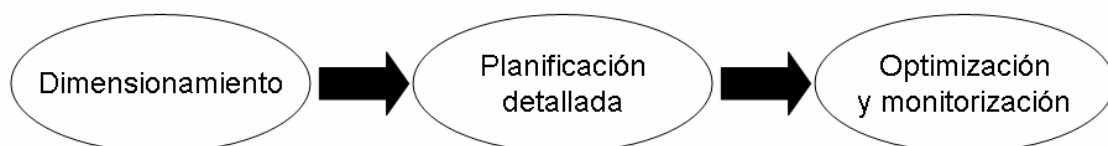


Figura 5.1 - Fases de planificación del sistema radio [2]

La primera fase (*fase de dimensionamiento*) tiene como propósito hacer un boceto de la red y establecer una estrategia a largo plazo, definiendo los valores de los principales parámetros y las tecnologías a utilizar. Es aquí donde se aportan datos como:

- Tamaño de la zona a cubrir
- Banda de frecuencia a utilizar (900/1800 MHz)
- Canales disponibles dentro de la banda
- Umbrales de cobertura (indoor/outdoor)
- Tráfico estimado a cubrir
- Máximo número de frecuencias por estación base
- Máxima probabilidad de bloqueo planificada

Teniendo en cuenta que a lo largo de la vida de la red su tráfico aumentará año tras año, este análisis debe hacerse pensando en diferentes demandas de tráfico. Esto evitará continuas reconfiguraciones en el futuro minimizándolas en número.

Planificación detallada es la segunda fase del proceso. En esta fase la red es diseñada basándose en las limitaciones fijadas en la fase de dimensionamiento. La planificación se hace en tres planes:

- Plan de cobertura, a través de simulaciones previo ajuste de los modelos de propagación a usar
- Plan de capacidad, una vez seleccionados los sites
- Plan de frecuencias

Pero antes es necesaria la definición de una configuración básica, la cual especifica características técnicas de los equipos que se usarán, funcionalidades, sistemas intermedios, antenas, técnicas de diversidad, etc. Esto ayuda a conseguir una red uniforme y facilitaría las tareas de logística en el caso de redes grandes.

Por último, la *fase de optimización y monitorización* tiene lugar una vez implementada la red y a lo largo de toda su vida. Tras la puesta en marcha de la red (proceso escalonado) se deben hacer continuas replanificaciones (*Optimización*) pero ya con datos y estadísticas reales (*Monitorización*) puesto que la información con la que se planificó y configuró originalmente nunca es

exacta y además las demandas de cobertura y tráfico varían día a día. Esta fase no es analizada en este proyecto.

5.4 – Fase de dimensionamiento

Primera fase del proceso de planificación del sistema. En esta, se establecen los requisitos a cumplir, las disponibilidades técnicas y se define una estrategia de desarrollo a largo plazo.

5.4.1 – Requisitos

- Se pretende dar cobertura de voz y datos a la zona que comprende el pueblo de Camas y alrededores. La Figura 5.2 muestra un mapa de la zona objetivo:

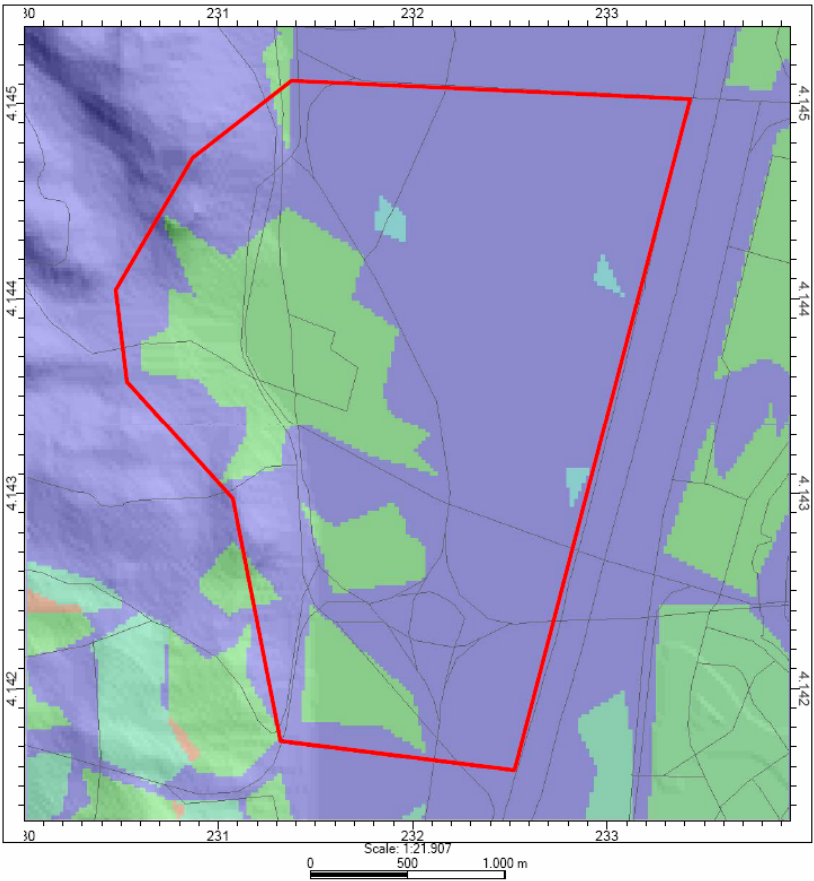


Figura 5.2 – Zona objetivo

- La zona tiene un perímetro de 10,811 Km, y comprende una extensión de **7,1072 Km²**.
- Se requiere una **cobertura zonal del 97%** para la zona en cuestión. Utilizando para ello un umbral de planificación de **-75 dBm en exteriores**. Con esto, aseguramos un mínimo de cobertura en interiores¹ (*first wall indoor coverage*) de unos -90 dBm.
- Se requiere una **relación C/I** (portadora/interferencia) mayor de **11 dB para canales TCH** y **14 dB para canales BCCH** en al menos, el 98% de la zona de cobertura.
- La **tasa de bloqueo** de llamada será inferior al **2%**.
- Estudio de tráfico de voz (proporcionado) que muestra un tráfico aproximado de:
 - ⇒ 21,603 Erl/km² para el perímetro de estudio y en la hora cargada.
 - ⇒ Tráfico medio por cliente y día de 7,23 minutos.

Estos datos generan un mapa de densidad de tráfico como el que se muestra en la Figura 5.3, que será el utilizado en la planificación de la red a través del software ATOLL.

¹ Se toman 15dB como pérdidas de penetración en edificios según la especificación 3GPP TR 43.030 versión 6.1.0 Release 6.



Leyenda (erlangs/Km²)

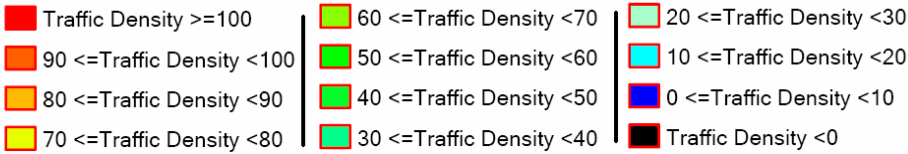


Figura 5.3 - Mapa de tráfico de voz

En la imagen anterior, y en el siguiente cuadro estadístico del mapa, se observa que existe una densidad de tráfico por defecto o de fondo y tres núcleos principales en los que la demanda es mayor, alcanzando valores situados entre los 50 y 60 Erl/km².

	Superficie (km²)	Porcentaje
60 <=Traffic Density	0	0
50 <=Traffic Density <60	1,602	22,5
10 <=Traffic Density <20	0,0528	0,7
0 <=Traffic Density <10	5,4524	76,7
Traffic Density <0	0	0
TOTAL	7,1072	100

Tabla 5.2 – Datos estadísticos de mapa de tráfico

La demanda de tráfico de datos, la cual se mide en Kilobits, se modela de manera distinta. En este caso se definen diversos perfiles de usuarios y distintas aplicaciones con distintas tasas de transferencia. Se parte de un mapa de entornos (Figura 5.4), asignando a cada uno de ellos una densidad de usuarios de cada perfil. Cada perfil, a su vez, es caracterizado con varias demandas de tráfico, una por cada aplicación definida. Las tablas 5.3 y 5.4 muestran los perfiles de usuario y la parametrización de cada uno de los entornos:

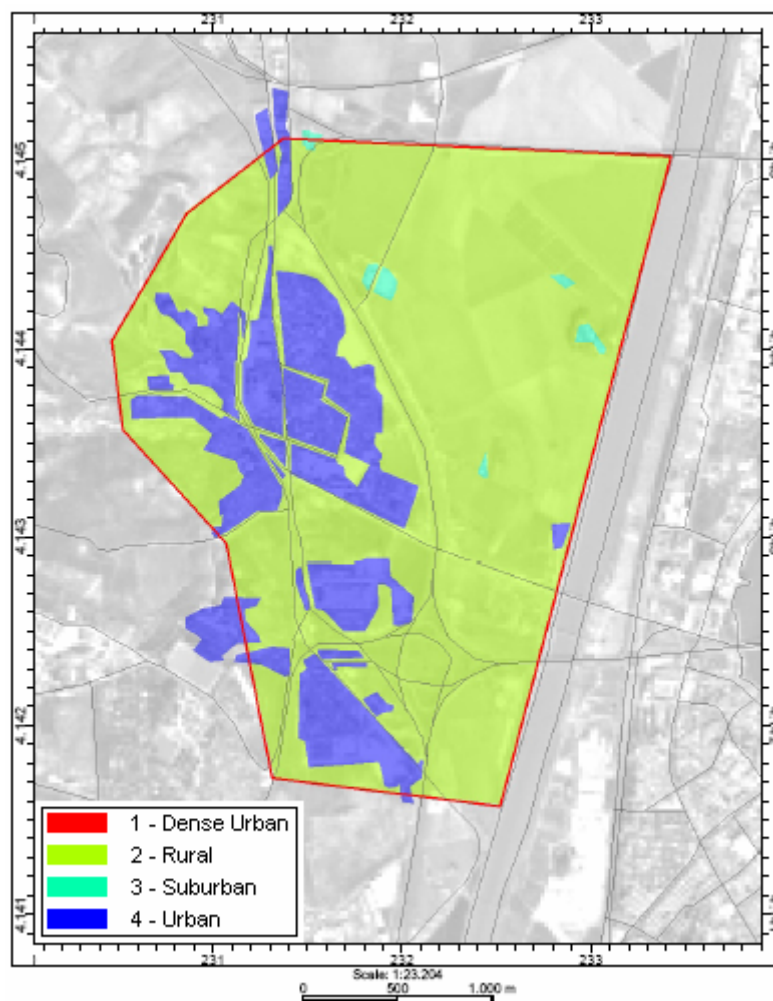


Figura 5.4 – Mapa de entornos

Usuario Standard		
Servicio	Conexiones/hora	Volumen (KBytes)
<i>Mobile Internet Access</i>	0	0
<i>Multimedia Messaging Service</i>	0	0
Usuario Business		
Servicio	Conexiones/hora	Volumen (KBytes)
<i>Mobile Internet Access</i>	0,1	3.000
<i>Multimedia Messaging Service</i>	0,2	100

Tabla 5.3 – Perfiles de usuario

Entorno	Usuario/Km2	
	<i>Standard User</i>	<i>Business User</i>
Urbano denso	200	8.200
Urbano	3.400	1.600
Suburbano	400	0
Rural	40	0

Tabla 5.4 – Densidades de usuario en entornos

- Una de las estaciones base dará servicio también a un centro comercial situado en la zona. El centro posee una superficie útil de 36.286,43 m², contando con locales comerciales, zonas de ocio, salas de cine y aparcamiento privado.

El edificio cuenta con 3 plantas: planta baja, entreplanta y planta alta. Se pretende reforzar la cobertura de la planta baja y entreplanta.

5.4.2 – Disponibilidades técnicas

- Se dispone de 60 canales en la banda GSM-900 y otros 100 canales en la banda DCS-1800.
- Las sensibilidades en nuestra red se corresponden con:

	Enlace Ascendente	Enlace descendente
Sensibilidad GSM (dBm)	-104	-102
Sensibilidad DCS (dBm)	-107	-102

Tabla 5.5 - Sensibilidades

- Potencia máxima entregada por los transmisores de las estaciones móviles

	Potencia máxima entregada (W)
Terminal GSM	2
Terminal DCS	1

Tabla 5.6 - Potencia máxima entregada por los transmisores de estaciones móviles

5.4.3 – Estrategia a largo plazo

- Se propone el uso de los canales disponibles en la banda GSM-900 para cubrir el 100% de la zona y los canales en la banda DCS-1800 para puntos de tráfico elevado.
- Se establece el límite superior de 4TRX por sector para futuras ampliaciones debidas a incrementos en la demanda de tráfico.
- La planificación se hará con el objetivo de no sobrecargar cada estación con no más del **80%** de su capacidad. Dejando así un mínimo de un 20% de “pool” para fluctuaciones en la demanda.

5.5 – Fase de planificación detallada

Es la segunda fase en el proceso de planificación radio. En esta fase **la red es diseñada** en forma de unos planes de cobertura, de capacidad y de frecuencia. Cada uno de estos planes utiliza los resultados de la fase inicial de dimensionamiento con el objetivo de diseñar e implementar una red eficiente en costes y con alta calidad de servicio (QoS).

Esta fase se encuentra dividida en cuatro etapas: configuración y balance de potencia, plan de cobertura, plan de capacidad y plan de frecuencia.

5.5.1 – Configuración y balance de potencia.

A continuación se muestran los equipos a montar en los emplazamientos seleccionados

5.5.1.1 – Estaciones base (macroestaciones)

Modelo	Siemens BS – 240	
Características	• Bandas de frecuencia GSM 850/900 (incluido railway y extended)/1800/1900 • Configuración en banda dual como GSM900/1800, 900/1900, 850/1800 o 850/1900 en el mismo rack • Hasta 144 TRX/site, hasta 24 TRXs/cell y 36 celdas/site • Amplificador de alta potencia (68W) y hasta -116 dBm de sensibilidad en recepción • Redundancia en core y AC/DC • Equipada con duplexores, combinadores y multiacopladores. • Equipada para situación exterior • Gestión inteligente de amplificadores montados en torre • Soporta frequency hopping, antenna hopping, diversidad en recepción y AMR • Baterías de backup opcionales	
Datos técnicos	Instalación	Interior
	Portadoras por rack	16
	Alto x ancho x profundidad	1600 x 600 x 450 mm
	Volumen neto	432 litros
	Peso	190 Kg.
	Funcionamiento siguiendo norma	ETSI 3.1 E
	Rango de temperatura (incluyendo radiación solar)	-5 °C hasta +45 °C
	Suministro eléctrico	-48 V DC; 230/400 V AC ó 110/207 V AC
	Consumo en GSM/EDGE	1.3 kW con 12 CU ¹ 1.8 kW con 12 ECU 2.4 kW con 12 FlexCU
	Potencia de salida GSM 850/900	GMSK 68W 8-PSK 43W
	Potencia de salida GSM 1800/1900	GMSK 68W 8-PSK 34W
	Backup de baterías	Hasta 10 horas
	Microwave hardware	Integrado
	Sensibilidad	Hasta -116 dBm

Tabla 5.7 - BTS macrosite [24]

No se usarán técnicas de diversidad espacial en recepción. Se utilizarán antenas de polarización +45/-45 que introducen diversidad en polarización.

¹ Carrier Unit

5.5.1.2 - Estaciones Base (microestaciones)

Modelo	Siemens BS – 82 II	
Características	• Bandas de frecuencia GSM 850/900 (incluido railway y extended)/1800/1900 • Configuración en banda dual como GSM900/1800, 900/1900, 850/1800 o 850/1900 en el mismo rack • Equipada con duplexores, combinadores y multiacopladores. • Soporta EDGE • Montable en poste o pared • Indicada para proporcionar servicios indoor o outdoor	
Datos técnicos	Instalación	Interior / exterior
	Portadoras por rack	4 (si el software es BR 8.0 o superior)
	Ancho x profundidad x alto	56 x 52 x 81 cm
	Volumen neto	~230 l
	Rango de temperatura	-33 °C hasta +55 °C
	Rango de suministro eléctrico	88 – 300 V AC -45.5 – 57.0 V DC
	Consumo	0.4 kW
	Potencia de salida GSM 850/900	GMSK 68W 8-PSK 43W
	Potencia de salida GSM 1800/1900	GMSK 68W 8-PSK 34W
	Backup de baterías	Hasta 25 minutos
	Sensibilidad	Hasta -116 dBm

Tabla 5.8 - BTS microsite [24]

5.5.1.3 - Sistema radiante para macroestaciones

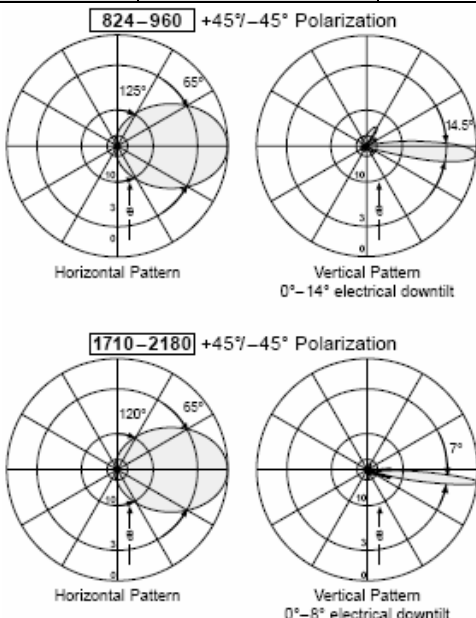
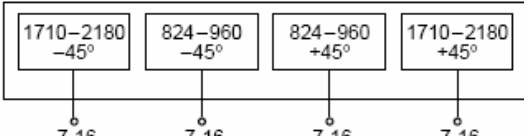
Modelo	Kathrein Dual Band A-Panel Modelo 742 264	
Rango de frecuencia	870 – 940 MHz	1710 – 1880 MHz
Polarización	+45°, -45°	+45°, -45°
Ganancia	2 x 14 dBi	2 x 16.5 dBi
Ancho de haz de 3dB copolar		
Horizontal	65°	65°
Vertical	14.5°	7.8°
Tilt eléctrico ajustable	0° - 14°	0° - 8°
Relación Front-to-back copolar	> 26 dB	> 25 dB
Relación cross polar		
Dirección principal 0°	20 dB	16 dB
Sector ± 60°	> 10 dB	> 10 dB
Aislamiento intrasistema	> 30 dB	> 30 dB
Aislamiento intersistema	> 50 dB	> 50 dB
Impedancia	50 ohmios	50 ohmios
VSWR	< 1.5	< 1.5
Intermodulación IM3 (2 x portadora de 43 dBm.)	< -50 dBc	< -50 dBc
Máxima potencia por entrada ¹	400 W	250 W
Potencia total ²	800 W	500 W
Patrones de radiación		
Esquema de conexión		

Tabla 5.9 - Características de antena dual para macroestaciones [28]

¹ a temperatura ambiente (50 °C)² a temperatura ambiente (50 °C)

5.5.1.4 - Sistema radiante para microestaciones

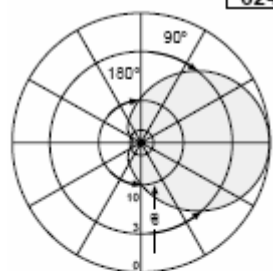
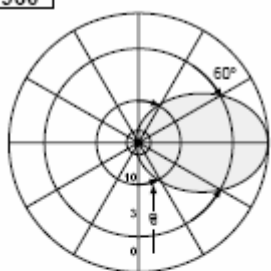
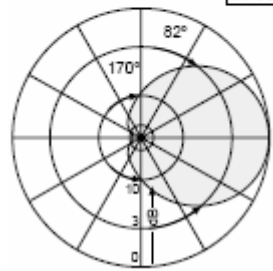
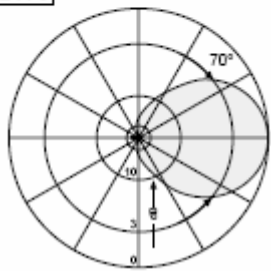
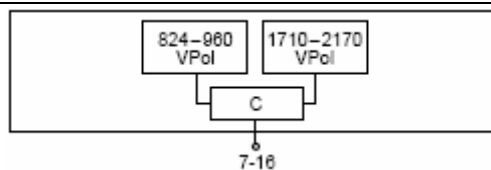
Modelo	Kathrein Dual Band F-Panel Modelo 742 290 (Combinador integrado)		Foto antena 
Rango de frecuencia	824 – 960 MHz	1710 – 2170 MHz	
Polarización	Vertical	Vertical	
Ganancia	7 dBi	7 dBi	
Ancho de haz de 3dB copolar			
Horizontal	90°	82°	
Vertical	60°	70°	
Relación Front-to-back copolar	> 18 dB	> 20 dB	
Impedancia	50 ohmios	50 ohmios	
VSWR	< 1.7 (824 – 960 MHz) < 1.5 (870 – 960 MHz)	< 1.7 (1710 – 2170 MHz) < 1.5 (1710 – 1990 MHz)	
Intermodulación IM3 (2 x portadora de 43 dBm.)	< -150 dBc	< -150 dBc	
Máxima potencia ¹	100 W	100 W	
Patrones de radiación	824–960  Horizontal Pattern  Vertical Pattern 1710–2170  Horizontal Pattern  Vertical Pattern		
Esquema de conexión			

Tabla 5.10 - Características de antena para microestaciones [28]

¹ a temperatura ambiente (50 °C)

5.5.1.5 - Sistema radiante para interiores

A continuación se detallan las antenas a utilizar en la instalación interior. Se especifican una a una según este orden:

- Antena bilobular
- Antena omnidireccional
- Antena de panel interior

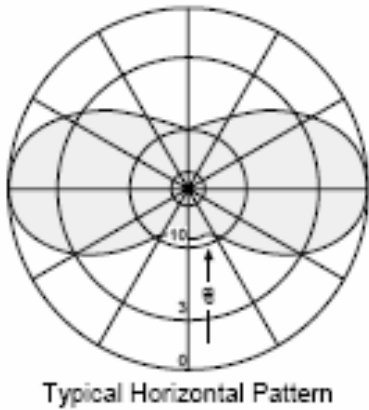
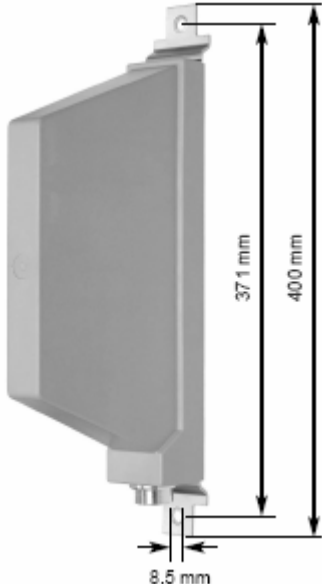
Modelo	Antena Kathrein bilobular y multibanda modelo 738445
Rango de frecuencia	806 – 960 MHz, 1710 – 2170 MHz
Polarización	Vertical
Ganancia	806 – 960 MHz: 5 dBi 1710 – 1880 MHz: 5.5 dBi 1880 – 2170 MHz: 6.5 dBi
Impedancia	50 ohmios
VSWR	< 1.7 (806 – 824 MHz) < 1.5 (824 – 960 / 1710 – 2170 MHz)
Máxima potencia ¹ (total)	200 W
Input	1 x 7-16 hembra
Peso	0.8 Kg
Diagrama de radiación horizontal	Foto antenna
 	

Tabla 5.11 - Características de antena bilobular de interior [28]

¹ a temperatura ambiente (50 °C)

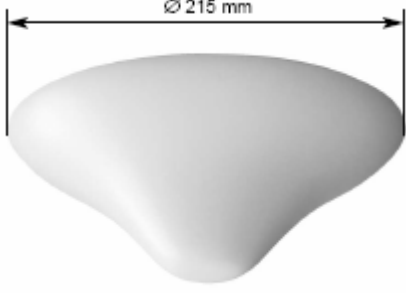
Modelo	Antena Kathrein omni y multibanda de interior modelo 80010173	
Rango de frecuencia	876 – 960 MHz / 1710 – 2500 MHz	
Polarización	Vertical	
Ganancia	2 dBi	
Impedancia	50 ohmios	
VSWR	< 1.8 (876 – 890 MHz) < 1.6 (890 – 960 MHz) < 1.6 (1710 – 2170 MHz) < 2.0 (2170 – 2500 MHz)	
Máxima potencia ¹	50 W (por banda)	
Input	1 x N hembra	
Peso	340 Kg	
Foto antenna		

Tabla 5.12 - Características de antena omnidireccional de interior [28]

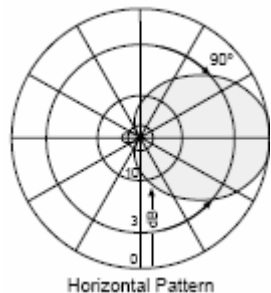
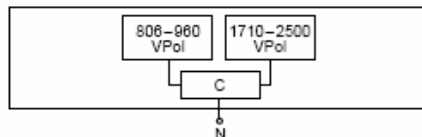
Modelo	Antena Kathrein de panel multibanda de interior modelo 80010248 (combinador integrado)	
Rango de frecuencia	806 – 960 MHz 1710 – 2500 MHz	Foto antenna 
Polarización	Vertical	
Ganancia	~7 dBi	
Impedancia	50 ohmios	
VSWR	< 2.0 (806 – 960 MHz) < 2.0 (1710 – 2200 MHz) < 2.5 (2200 – 2400 MHz) < 2.0 (2400 – 2500 MHz)	
Máxima potencia ²	50 W	Diagrama radiación  Horizontal Pattern
Input	Cable RG 223/CU de un metro, blanco con conector N hembra	
Peso	500 Kg	
Alto/ancho/profundidad	231 / 140 / 50 mm	
Esquema de conexión		

Tabla 5.13 - Características de antena de panel interior [28]

¹ a temperatura ambiente (50 °C)² a temperatura ambiente (50 °C)

5.5.1.6 – Parámetros técnicos de las estaciones móviles

Para realizar los cálculos en el balance de potencia, las estaciones móviles son caracterizadas a través de los siguientes parámetros:

Parámetros técnicos de las estaciones móviles GSM-900	
Potencia entregada	2 W
Sensibilidad	-102 dBm
Ganancia antena RX	0 dBi
Ganancia antena TX	0 dBi
Pérdidas por atenuación del cuerpo	2 dB
Altura	1.5 m

Tabla 5.14 – Características MS 900

Parámetros técnicos de las estaciones móviles GSM-1800 (DCS)	
Potencia entregada	1 W
Sensibilidad	-102 dBm
Ganancia antena RX	0 dBi
Ganancia antena TX	0 dBi
Pérdidas por atenuación del cuerpo	2 dB
Altura	1.5 m

Tabla 5.15 – Características MS 1800

5.5.1.7 – Combinadores, multiacopladores y duplexores

Los combinadores y los multiacopladores son necesarios en el caso de que a la estación base se le asigne más de un transceptor (TRX).

Los combinadores mezclan las distintas frecuencias para enviarlas hacia el downlink por una sola línea de transmisión [2]. Al mismo tiempo causan atenuación. Los multiacopladores reciben y separan las distintas frecuencias que provienen del uplink [2]. Su atenuación es insignificante.

Los combinadores pueden ser de banda estrecha y sintonizarse en una cierta banda de frecuencia, minimizando de esta manera su atenuación, o de banda ancha, con alta atenuación. Éstos últimos son utilizados en sistemas que

implementan *salto en frecuencia* [2], nuestro caso, en el que las frecuencias están alejadas unas de otras.

Los Duplexores son combinadores que mezclan la señal transmitida y la recibida para que esto se haga a través de una misma antena, ahorrando así en líneas de transmisión y número de antenas.

Las BTSs seleccionadas cuentan con el módulo de Siemens DUAMCO (DUplexer AMplifier Multi COupler). La versión DUAMCO utilizada es la 4:2, es decir, se combinan 4 TRXs para ser enviados a través de los dos puertos de salida. Estos mismos puertos reciben, de la antena, la señal del enlace ascendente (uplink), ésta se divide y se envía hacia los 4 TRXs contando con dos señales en recepción por cada uno de ellos (diversidad en polarización en nuestro caso). Las pérdidas en el combinador y duplexor DUAMCO 4:2 son de 5.7dB [24].

Puesto que nuestra antena para macrosites tiene 4 puertos en total (2 para GSM-900 y 2 para DCS-1800) se utilizarán dos módulos DUAMCO, uno para cada banda (esto se comprenderá mejor en la sección 5.5.1.9.1 – *Esquema de conexión*).

Además, para ahorrar en costo y espacio, la tirada hacia las antenas se hará utilizando únicamente dos líneas de transmisión por macrosite o microsite. Para ello utilizaremos el combinador de doble banda que se muestra a continuación:

Combinador de banda dual		
Fabricante	Kathrein [28]	
Modelo	Doble unit 793 533	
Impedancia	50 ohm	
Bandas de paso	806 – 960 MHz 1710 – 2170 MHz	
Pérdidas de inserción	0.15 dB (806 – 960 MHz) Port1↔Port3 0.25 dB (1710 – 2000 MHz) Port2↔Port3 0.35 dB (2000 – 2170 MHz)	
Dimensiones (XYZ)	125 x 282 x 111.6 mm	

Tabla 5.16 – Características combinador de banda dual [28]

5.5.1.8 – Líneas de transmisión

Se van a utilizar dos tipos de cables, uno de 7/8 pulgadas para tiradas elevadas y otro de 1/2 pulgadas que, atenuando más que el primero, cuenta con mayor flexibilidad y es el idóneo para las entradas en los equipos y sistemas radiantes.

Líneas de transmisión		
Fabricante	Andrew [30]	Andrew [30]
Modelo	Serie Heliax LDF5-50A	Serie Heliax LDF4-50A
Impedancia	50 ohm	50 ohm
Sección	7/8"	1/2"
Atenuación 960 MHz 1800MHz	4.02 dB/100m 5.75 dB/100m	7.12 dB/100m 10.1 dB/100m
Foto de cable	7/8" Foam Dielectric, LDF Series – 50-ohm 	1/2" Foam Dielectric, LDF Series – 50-ohm 
Conectores utilizados	 7-16 DIN Female L5PDF-RPC  7-16 DIN Male L5PDM-RPC  N Female L5PNF-RPC  N Male L5PNM-RPC	 N Male L4PNM-RC  N Female L4PNF-RC  7-16 DIN Male L4PDM-RC  7-16 DIN Female L4PDF-RC

Tabla 5.17 - Características líneas de transmisión [30]

5.5.1.9 – Balance de potencia modelo de macroestaciones

El balance de potencia es el cálculo teórico de las pérdidas de potencia que tiene lugar en cada uno de los enlaces (enlace ascendente o *uplink*, y enlace descendente o *downlink*). Las distintas características de los equipos emisores y receptores en cada enlace, así como de sus sensibilidades, pueden hacer que las pérdidas en cada enlace sean distintas. El objetivo es que esto no ocurra, y para ello ambos enlaces deben estar balanceados [8], es decir, que la BTS “escuche” al MS en todo su radio de cobertura y que el MS “escuche” a la BTS en todo su radio de cobertura.

En los siguientes apartados se va a describir cada uno de los elementos que juegan un papel importante en el balance de potencia, ya sea por una aportación de ganancia, pérdidas adicionales o márgenes tenidos en cuenta para que el balance se aproxime lo máximo posible a la situación real.

Para acabar el apartado, se evaluará en balance de potencia para una macroestación, en ambos enlaces y en ambas bandas.

5.5.1.9.1 – Esquema de conexión

La siguiente figura (Figura 5.5) muestra el esquema de conexión de una macro estación modelo. El esquema parte de los 4 máximos posibles TRXs, en ambas bandas en total, que poseerá cada sector. Los radiocanales (TRXs) son mezclados independientemente para cada banda (GSM900 y DCS1800) a través del módulo de Siemens DUAMCO. Dicho módulo posee dos salidas, cada una de las cuales irá conectada a uno de los dos combinadores duales. La señal combinada (GSM900 y DCS1800) se envía a través de las líneas de transmisión hasta otro par de combinadores, que instalados junto a las antenas, copian la señal en cada uno de los 4 puertos de la antena (polarización +45°/-45° en ambas bandas).

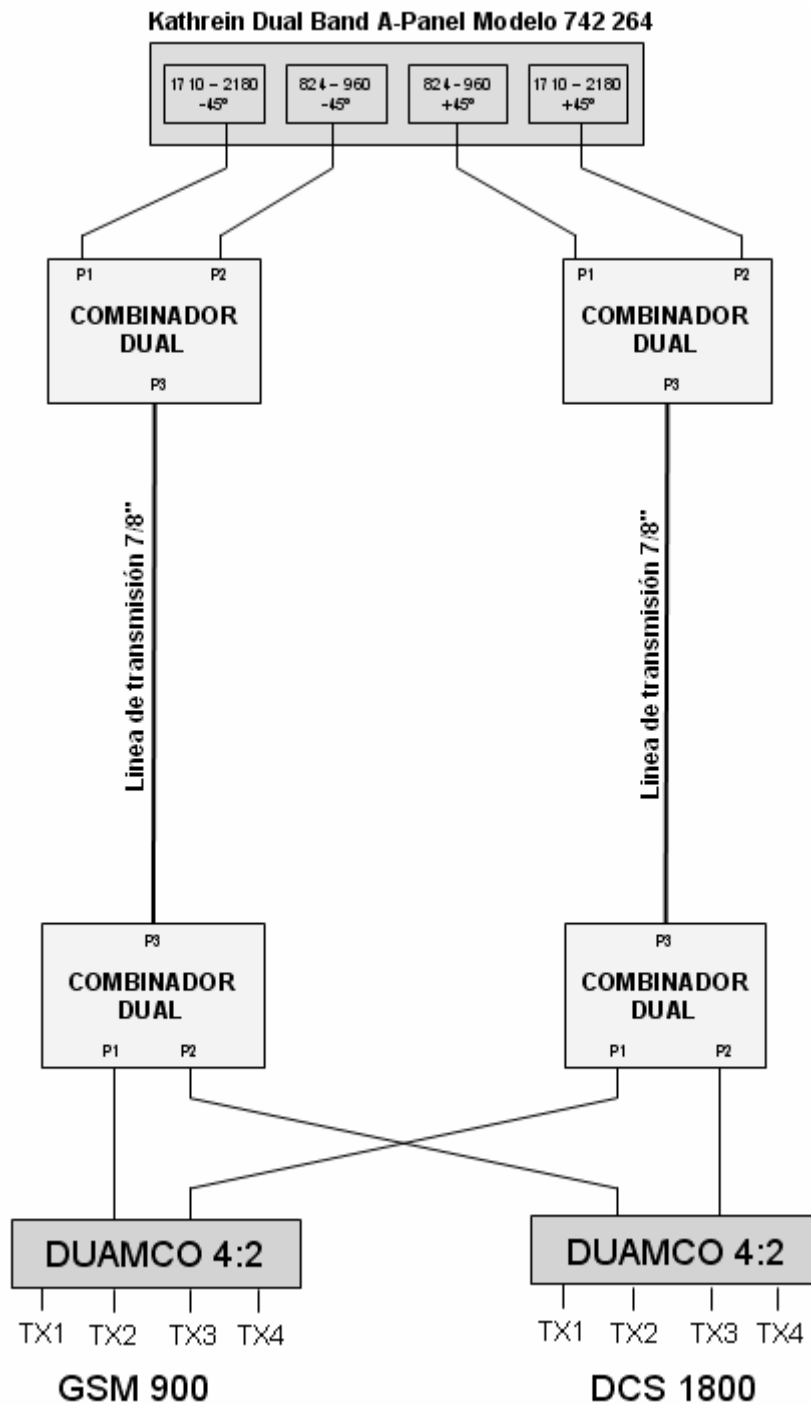


Figura 5.5 – Esquema de conexión

5.5.1.9.2 – Pérdidas en cables y conectores

Se asume que en macroestaciones exteriores se tendrán 14 metros de cable de 7/8", seis conectores, y 4 metros de cable de 1/2". Las pérdidas por el conjunto de los seis conectores se estiman en 0.09 dB (6 conectores x 0.015

dB/conector) [30]. Para los cables, las pérdidas se calculan de forma independiente para cada banda, con la atenuación que introducen cada 100 metros (mirar tablas)

Perdidas en cables y componentes BANDA 900 MHz			
			Pérdidas Acumuladas (dB))
	Perdidas (dB/100m)	Metros	
Cable 7/8"	4.02	14	0.5628
Cable ½"	7.12	4	0.2848
	Pérdidas		
Conectores	0.015 x 6 conectores		0.09
Total	0.9376 dB		

Tabla 5.18 – Pérdidas en cables y conectores a 900MHz

Perdidas en cables y componentes BANDA 1800 MHz			
			Pérdidas Acumuladas (dB))
	Perdidas (dB/100m)	Metros	
Cable 7/8"	5.75	14	0.805
Cable ½"	10.1	4	0.404
	Pérdidas		
Conectores	0.015 x 6 conectores		0.09
Total	1.299 dB		

Tabla 5.19 – Pérdidas en cables y conectores a 1800MHz

5.5.1.9.3 – Ganancia por diversidad en recepción

Esta ganancia corresponde a la ganancia en polarización +45°/-45° en recepción, alcanzando en entornos urbanos, valores de 5 dB en la banda de los 900 MHz y 6 dB para la banda de 1800MHz [2].

Se va a utilizar un esquema de diversidad similar al de la Figura 5.6, donde la función del duplexor y la del multiacoplador están integradas en el módulo de Siemens DUAMCO.

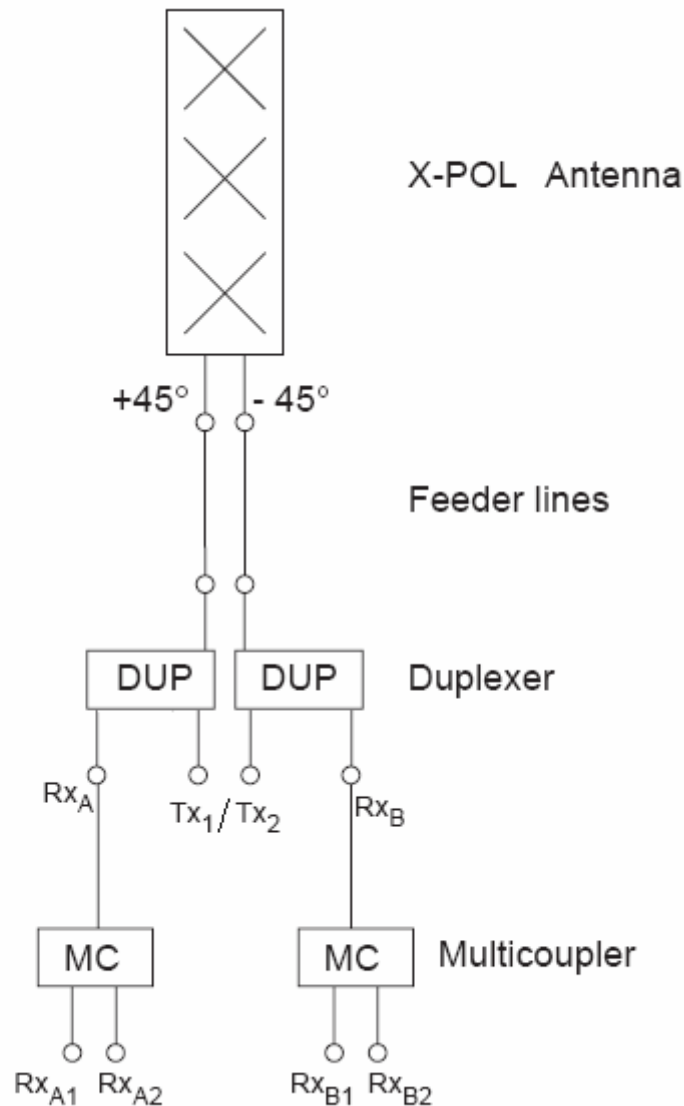


Figura 5.6: Esquema ejemplo de diversidad en recepción

Se puede ver como cada TRX obtiene dos señales en recepción, una por cada rama A y B.

5.5.1.9.4 – Margen de degradación

Se introduce un margen de degradación de señal en ambos enlaces (ascendente y descendente). Este margen tiene en cuenta las posibles interferencias debidas a la reutilización de canales. Se adopta el valor recomendado de 3 dB de acuerdo con las especificaciones del 3GPP [20].

5.5.1.9.5 – Margen por desvanecimientos lentos

En los sistemas de telefonía móvil, la potencia radioeléctrica experimenta fluctuaciones en el tiempo y en el espacio. Esto es debido a obstáculos tales como edificios, árboles u ondulaciones del terreno, que provocan que en puntos de la zona de cobertura, durante algunos instantes de tiempo no se alcance el valor medio de potencia esperado. A estas variaciones de señal se las conoce como desvanecimientos o *fading*, y entre varios tipos, los que más nos afectan, como para incluir un margen en la planificación, son los desvanecimientos lentos o log-normal [2], originados por sombras creadas por obstáculos “grandes” (ondulaciones del terreno, edificios, etc.)

Los requerimientos de calidad exigen un 97% de cobertura zonal. Este requerimiento se traduce en la incorporación de un margen por desvanecimientos lentos de 9.19 dB [2], el cual fue calculado asumiendo una desviación típica en la señal de 7dB (caso general en entorno urbano [20]), y una atenuación del entorno de 33.8 dB/dec [2].

5.5.1.9.6 – Balance de potencia de los enlaces

Las siguientes tablas muestran el balance de potencia en ambas bandas para una macroestación:

Enlace Ascendente 900 MHz			
ESTACIÓN MOVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	33.01	A
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	B
Ganancia de antena en TX	dBi	0	C
PIRE	dBm	33.01	$D = A - B + C$
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	14	E
Ganancia en diversidad en recepción	dB	5	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	0.94	G
Pérdidas en combinadores duales	dB	0.3	M
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad de BTS	dBm	-104	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-109.57	$K = -E - F + G + M + H + I + J$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	142.58	$L = D - K$

Tabla 5.20 – Balance de potencia de macroestación en enlace ascendente. Banda GSM 900MHz

Enlace Descendente 900 MHz			
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión (máx. 48.32 dBm)	dBm	45.71 ¹	A
Pérdidas en DUAMCO	dB	5.7	B
Pérdidas en combinadores duales	dB	0.3	M
Pérdidas en cables y conectores	dB	0.94	C
Ganancia de antena en TX	dBi	14	D
PIRE	dBm	52.77	$E = A - B - M - C + D$
ESTACIÓN MÓVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	0	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	G
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad del MS	dBm	-102	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-89.81	$K = -F + G + H + I + J$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	142.58	$L = E - K$

Tabla 5.21 – Balance de potencia de macroestación en enlace descendente. Banda GSM 900MHz

¹ Se fija la potencia de transmisión a 45.71 dBm para que ambos enlaces, ascendente y descendente, estén balanceados.

Enlace Ascendente 1800 MHz			
ESTACIÓN MOVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	30	A
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	B
Ganancia de antena en TX	dBi	0	C
PIRE	dBm	30	$D = A - B + C$
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	16.5	E
Ganancia en diversidad en recepción	dB	6	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	1.3	G
Pérdidas en combinadores duales	dB	0.5	M
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad de BTS	dBm	-107	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-115.51	$K = -E - F + G + H + I + J$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	145.51	$L = D - K$

Tabla 5.22 – Balance de potencia de macroestación en enlace ascendente. Banda DCS 1800MHz

Enlace Descendente 1800 MHz			
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión (máx. 48.32 dBm)	dBm	46.7 ¹	A
Pérdidas en DUAMCO	dB	5.7	B
Pérdidas en combinadores duales	dB	0.5	
Pérdidas en cables y conectores	dB	1.3	C
Ganancia de antena en TX	dBi	16.5	D
PIRE	dBm	55.9	$E = A - B - C + D$
ESTACIÓN MÓVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	0	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	G
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad del MS	dBm	-102	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-89.81	$K = -F + G + H + I + J$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	145.51	$L = E - K$

Tabla 5.23 – Balance de potencia de macroestación en enlace descendente. Banda DCS 1800MHz

¹ Se fija la potencia de transmisión a 46.7 dBm para que ambos enlaces, ascendente y descendente, estén balanceados.

Se observa que para ambas bandas los enlaces se encuentran balanceados, es decir la atenuación compensable en ambos enlaces es la misma.

5.5.1.10 – Balance de potencia en centro comercial

Para el caso particular del centro comercial habría que incluir unas pérdidas adicionales, así como la eliminación de ciertas ganancias en los balances de las antenas interiores, como la ganancia en diversidad de polarización. La Figura 5.7 muestra un esquema de conexión de la instalación en el centro comercial:

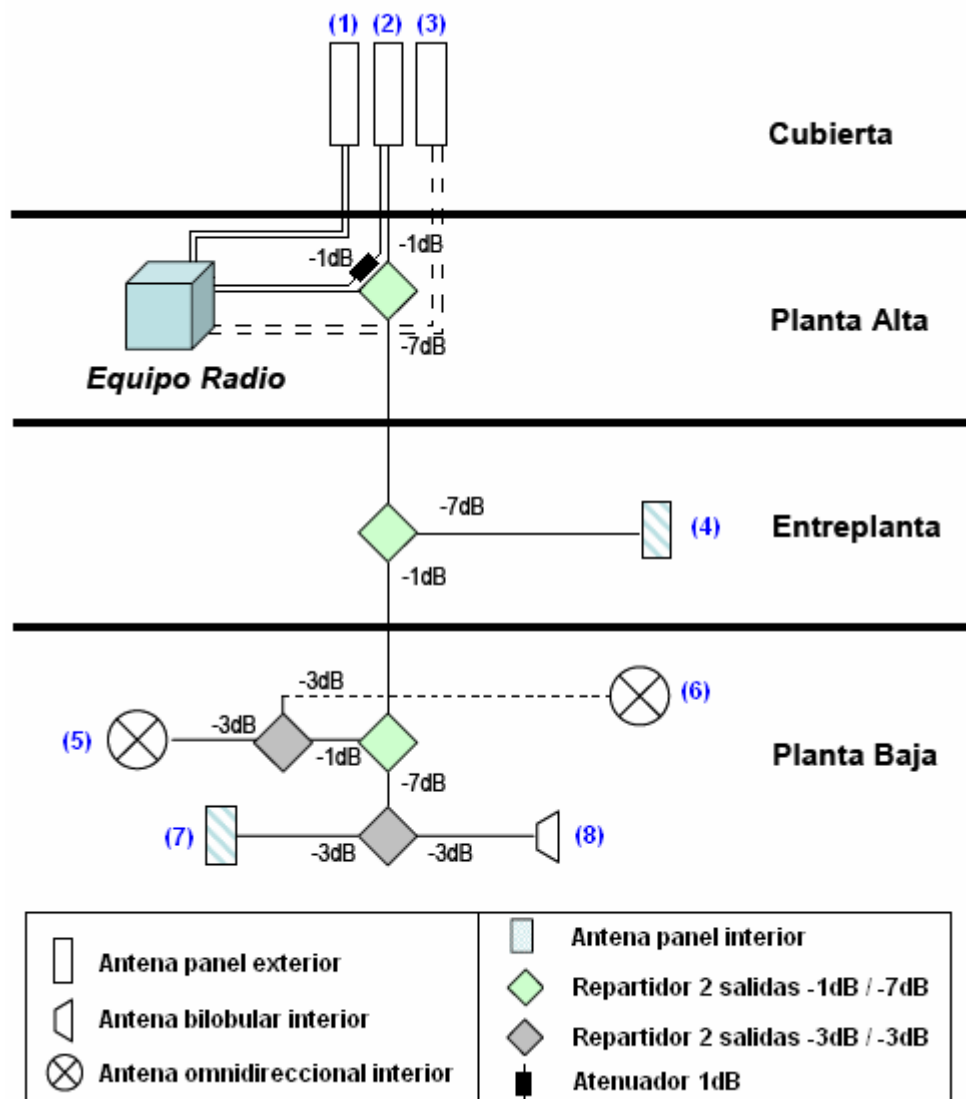


Figura 5.7 - Esquema de conexión de instalación interior en centro comercial

5.5.1.10.1 – Antena exterior

Las antenas de panel exteriores están alimentadas con dos cables (ver Figura 5.7). Puesto que la instalación interior se alimenta de un solo cable, el cual atraviesa un repartidor que introduce pérdidas de 1 dB en la toma que va hacia la antena exterior, el cable complementario deberá sufrir la misma atenuación que el anterior. Debido a esto tiene lugar la instalación de un atenuador de 1 dB, el cual balancea ambas líneas de transmisión que alimentan la antena exterior (antena 2 en Figura 5.10).

Los balances de potencia de los enlaces ascendente y descendente correspondientes a la antena 2 en ambas bandas quedarían:

Enlace Ascendente 900 MHz			
ESTACIÓN MOVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	33.01	A
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	B
Ganancia de antena en TX	dBi	0	C
PIRE	dBm	33.01	$D = A - B + C$
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	14	E
Ganancia en diversidad en recepción	dB	5	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	0.94	G
Pérdidas en repartidor/atenuador	dB	1	N
Pérdidas en combinadores duales	dB	0.3	M
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad de BTS	dBm	-104	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-108.57	$K = -E - F + G + N + M + H + I + J$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	141.58	$L = D - K$

Tabla 5.24 – Balance de potencia de la macroestación en centro comercial. Enlace ascendente.
Banda GSM 900MHz

Enlace Descendente 900 MHz			
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión (máx. 48.32 dBm)	dBm	45.71 ¹	A
Pérdidas en DUAMCO	dB	5.7	B
Pérdidas en combinadores duales	dB	0.3	M
Pérdidas en cables y conectores	dB	0.94	C
Pérdidas en repartidor/atenuador	dB	1	N
Ganancia de antena en TX	dBi	14	D
PIRE	dBm	51.77	$E = A - B - M - C - N + D$
ESTACIÓN MÓVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	0	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	G
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad del MS	dBm	-102	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-89.81	$K = -F + G + H + I + J$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	141.58	$L = E - K$

Tabla 5.25 – Balance de potencia de la macroestación en centro comercial. Enlace descendente.
Banda GSM 900MHz

Enlace Ascendente 1800 MHz			
ESTACIÓN MOVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	30	A
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	B
Ganancia de antena en TX	dBi	0	C
PIRE	dBm	30	$D = A - B + C$
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	16.5	E
Ganancia en diversidad en recepción	dB	6	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	1.3	G
Pérdidas en repartidor/atenuador	dB	1	N
Pérdidas en combinadores duales	dB	0.5	M
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad de BTS	dBm	-107	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-114.51	$K = -E - F + G + M + N + H + I + J$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	144.51	$L = D - K$

Tabla 5.26 – Balance de potencia de la macroestación en centro comercial. Enlace ascendente.
Banda DCS 1800MHz

¹ Se fija la potencia de transmisión a 45.71 dBm para que ambos enlaces, ascendente y descendente, estén balanceados.

Enlace Descendente 1800 MHz			
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión (máx. 48.32 dBm)	dBm	46.7 ¹	A
Pérdidas en DUAMCO	dB	5.7	B
Pérdidas en combinadores duales	dB	0.5	M
Pérdidas en cables y conectores	dB	1.3	C
Pérdidas en repartidor/atenuador	dB	1	N
Ganancia de antena en TX	dBi	16.5	D
PIRE	dBm	54.7	$E = A - B - C + D$
ESTACIÓN MÓVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	0	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	G
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad del MS	dBm	-102	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-89.81	$K = -F + G + H + I + J$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	144.51	$L = E - K$

Tabla 5.27 – Balance de potencia de la macroestación en centro comercial. Enlace descendente.
Banda DCS 1800MHz

5.5.1.10.2 – Antenas interiores

Para calcular las pérdidas en los cables y conectores utilizados en la instalación interior, se han utilizado los siguientes datos:

	Antena 4	Antena 5	Antena 6	Antena 7	Antena 8
Metros cable 7/8"	120	40	49	103	73
Metros cable 1/2"	4	4	4	4	4
Nº de conectores	9	13	13	13	13

Tabla 5.28 – Metros de cable y conectores utilizados en instalación interior

En las tablas siguientes se muestra el balance de potencia para cada una de las antenas interiores.

¹ Se fija la potencia de transmisión a 46.7 dBm para que ambos enlaces, ascendente y descendente, estén balanceados.

Enlace Ascendente 900 MHz

ESTACIÓN MOVIL	Ud	Ant (4)	Ant (5)	Ant (6)	Ant (7)	Ant (8)	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	33,01	33,01	33,01	33,01	33,01	A
PIRE	dBm	33,01	33,01	33,01	33,01	33,01	B=A
ESTACIÓN BASE	Ud	Ant (4)	Ant (5)	Ant (6)	Ant (7)	Ant (8)	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	7,00	2,00	2,00	7,00	5,00	C
Pérdidas en cables y conectores	dB	5,24	2,09	2,45	4,62	3,41	D
Pérdidas en combinador + DUAMCO	dB	5,85	5,85	5,85	5,85	5,85	E
Pérdidas en repartidores	dB	14,00	12,00	12,00	18,00	18,00	F
Margen por degradación	dB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	G
Sensibilidad de BTS	dBm	-104	-104	-104	-104	-104	H
Nivel mínimo de recepción	dBm	-82,91	-83,06	-82,70	-79,53	-78,74	K = -C+D+E+F+G+H
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	115,92	116,07	115,71	112,54	111,75	L=B-K

Enlace Descendente 900 MHz

ESTACIÓN BASE	Ud	Ant (4)	Ant (5)	Ant (6)	Ant (7)	Ant (8)	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	A
Pérdidas en cables y conectores	dB	5,24	2,09	2,45	4,62	3,41	B
Pérdidas en combinador + DUAMCO	dB	5,85	5,85	5,85	5,85	5,85	C
Pérdidas en repartidores	dB	14,00	12,00	12,00	18,00	18,00	D
Ganancia de antena en TX	dBi	7,00	2,00	2,00	7,00	5,00	E
PIRE	dBm	27,62	27,77	27,41	24,24	23,45	F=A-B-C-D+E
ESTACIÓN MÓVIL	Ud	Ant (4)	Ant (5)	Ant (6)	Ant (7)	Ant (8)	Fórmula
Margen por degradación	dB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	G
Sensibilidad del MS	dBm	-102	-102	-102	-102	-102	H
Nivel mínimo de recepción	dBm	-99,00	-99,00	-99,00	-99,00	-99,00	I=G+H
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	126,62	126,77	126,41	123,24	122,45	J=F-I

Tabla 5.29 – Balance de potencia en instalación interior. Banda GSM 900MHz

Enlace Ascendente 1800 MHz

ESTACIÓN MOVIL	Ud	Ant (4)	Ant (5)	Ant (6)	Ant (7)	Ant (8)	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	A
PIRE	dBm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	B=A
ESTACIÓN BASE	Ud	Ant (4)	Ant (5)	Ant (6)	Ant (7)	Ant (8)	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	7,00	2,00	2,00	7,00	5,50	C
Pérdidas en cables y conectores	dB	7,44	2,90	3,42	6,52	4,80	D
Pérdidas en combinador + DUAMCO	dB	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95	E
Pérdidas en repartidores	dB	14,00	12,00	12,00	18,00	18,00	F
Margen por degradación	dB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	G
Sensibilidad de BTS	dBm	-107	-107	-107	-107	-107	H
Nivel mínimo de recepción	dBm	-83,61	-85,15	-84,63	-80,53	-80,75	K = -C+D+E+F+G+H
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	113,61	115,15	114,63	110,53	110,75	L=B-K

Enlace Descendente 1800 MHz

ESTACIÓN BASE	Ud	Ant (4)	Ant (5)	Ant (6)	Ant (7)	Ant (8)	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	46,70	46,70	46,70	46,70	46,70	A
Pérdidas en cables y conectores	dB	7,44	2,90	3,42	6,52	4,80	B
Pérdidas en combinador + DUAMCO	dB	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95	C
Pérdidas en repartidores	dB	14,00	12,00	12,00	18,00	18,00	D
Ganancia de antena en TX	dBi	7,00	2,00	2,00	7,00	5,50	E
PIRE	dBm	26,31	27,85	27,33	23,23	23,45	F=A-B-C-D+E

ESTACIÓN MÓVIL	Ud	Ant (4)	Ant (5)	Ant (6)	Ant (7)	Ant (8)	Fórmula
Margen por degradación	dB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	G
Sensibilidad del MS	dBm	-102	-102	-102	-102	-102	H
Nivel mínimo de recepción	dBm	-99,00	-99,00	-99,00	-99,00	-99,00	I=G+H
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	125,31	126,85	126,33	122,23	122,45	J=F-I

Tabla 5.30 – Balance de potencia en instalación interior. Banda DCS 1800MHz

Se puede apreciar que los enlaces ascendente y descendente, en cada banda, no se encuentran balanceados, existiendo una diferencia en los valores de atenuaciones compensables de 10.7 y 11.7dB para GSM900 y DCS1800 respectivamente.

Esta diferencia es debida a que las potencias de transmisión fueron calculadas y fijadas en valores con los que el enlace de las antenas exteriores resultaba balanceado. Es decir, el balanceo del enlace exterior impide el balanceo de los enlaces interiores y viceversa.

Puesto que en el proyecto no se va simular la propagación de señal en interiores no se podrá saber si esto constituye un problema grave en términos de calidad de servicio, en tal caso, múltiples son las opciones a tomar para conseguir en ambos entornos (exterior e interior) enlaces balanceados:

- ⇒ Reservar uno o más TRXs sólo para el servicio interior, ajustando la potencia de transmisión a un valor que origine un enlace balanceado.
- ⇒ Utilizar un equipo radio totalmente independiente del que alimenta a las antenas exteriores. Existen hoy en día gran variedad de fabricantes que proporcionan micro BTSs de interior con un tamaño muy reducido. Un ejemplo es la serie NanoGSMTM de Siemens [24].
- ⇒ Utilizar amplificadores de bajo ruido para mejorar el alcance del enlace ascendente en interiores. Esto proporcionaría una ganancia de hasta 15 dB para la banda GSM900 y 12 dB para la banda DCS1800. Ejemplos de estos LNAs (*Low Noise Amplifiers*) son los modelos: *LNA GSM 900 SELECOM*, y *TMA GSM 1800 SELECOM* del fabricante *Selecom* [31].

5.5.1.11 – Balance de potencia modelo de microestaciones

Para el caso de micro estaciones el balance de potencia difiere respecto al balance de una macroestación en los siguientes puntos:

- ⇒ Para las microestaciones se va a utilizar la banda GSM900, ya que en este proyecto se utilizan en puntos negros de cobertura.
- ⇒ No contamos con diversidad en recepción (en macro-emplazamientos implementábamos diversidad en polarización en la parte receptora)
- ⇒ Se establece el uso medio de 5 metros de cable de 7/8", 1 metro de cable de 1/2" y 3 conectores, sumando una atenuación total de 0,32 dB

El balance de potencia quedaría:

Enlace Ascendente 900 MHz			
ESTACIÓN MOVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión	dBm	33.01	A
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	B
Ganancia de antena en TX	dBi	0	C
PIRE	dBm	33.01	$D = A - B + C$
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	7	E
Pérdidas en cables y conectores	dB	0.32	F
Margen por degradación	dB	3	G
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	H
Sensibilidad de BTS	dBm	-104	I
Nivel mínimo de recepción	dBm	-98.49	$J = -E + F + G + H + I$
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	131.5	$K = D - J$

Tabla 5.31 – Balance de potencia en microestación. Enlace ascendente

Enlace Descendente 900 MHz			
ESTACIÓN BASE	Unidad	Valor	Fórmula
Potencia de transmisión (máx. 48.32 dBm)	dBm	35.01 ¹	A
Pérdidas en cables y conectores	dB	0.32	C

¹ Se fija la potencia de transmisión a 35.01 dBm para que ambos enlaces, ascendente y descendente, estén balanceados.

Ganancia de antena en TX	dBi	7	D
PIRE	dBm	41.69	E = A – C + D
ESTACIÓN MÓVIL	Unidad	Valor	Fórmula
Ganancia de antena en RX	dBi	0	F
Pérdidas en cables y conectores	dB	0	G
Margen por degradación	dB	3	H
Margen por desvanecimientos lentos	dB	9.19	I
Sensibilidad del MS	dBm	-102	J
Nivel mínimo de recepción	dBm	-89.81	K = -F + G + H + I + J
ATENUACIÓN COMPENSABLE	dB	131.5	L = E – K

Tabla 5.32 – Balance de potencia en microestación. Enlace descendente

5.5.2 – Plan de cobertura

Este apartado muestra las simulaciones de cobertura sobre las que se apoyan los posteriores estudios de tráfico, capacidad e implantación de un plan de frecuencias, de ahí la importancia de una definición ajustada del modelo de propagación seleccionado y de los parámetros ajustados para cada una de las simulaciones.

5.5.2.1 – Modelo de propagación

El modelo usado para la simulación de propagación es el *Okumura-Hata* [1]. Dicho modelo fue desarrollado combinando teorías de propagación junto con gran cantidad de medidas reales.

El modelo *Okumura-Hata* evalúa las pérdidas entre el transmisor y el receptor según la fórmula:

$$L = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_{BTS} - a(h_{MS}) + (44.9 - 6.55 \log h_{BTS}) \log d + C \quad (\text{Ec1})$$

$$a(h_{MS}) = (1.1 \log f - 0.7)h_{MS} - (1.56 \log f - 0.8) \quad (\text{Ec2})$$

$$a(h_{MS}) = 3.2 (\log (11.75 h_{MS}))^2 - 4.97 \quad (\text{Ec3})$$

$$C = -2 \log^2(f/28) - 5.4 \quad (\text{Ec4})$$

$$C = -4.78 \log^2(f) + 18.33 \log(f) - 35.94 \quad (\text{Ec5})$$

$$C = -4.78 \log^2(f) + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad (\text{Ec6})$$

Donde	f	→ Frecuencia
	h_{BTS}	→ Altura efectiva de la antena de la estación base
	h_{MS}	→ Altura de la antena del terminal
	d	→ Distancia (Km.)

El componente de la ecuación Ec1, dependiente de la altura de la antena del terminal ($a[h_{MS}]$), tiene dos versiones. La primera para el caso de ciudades de tamaño pequeño o mediano, correspondiente con la ecuación Ec2, y una segunda versión para el caso de grandes ciudades, usando para ello la ecuación Ec3.

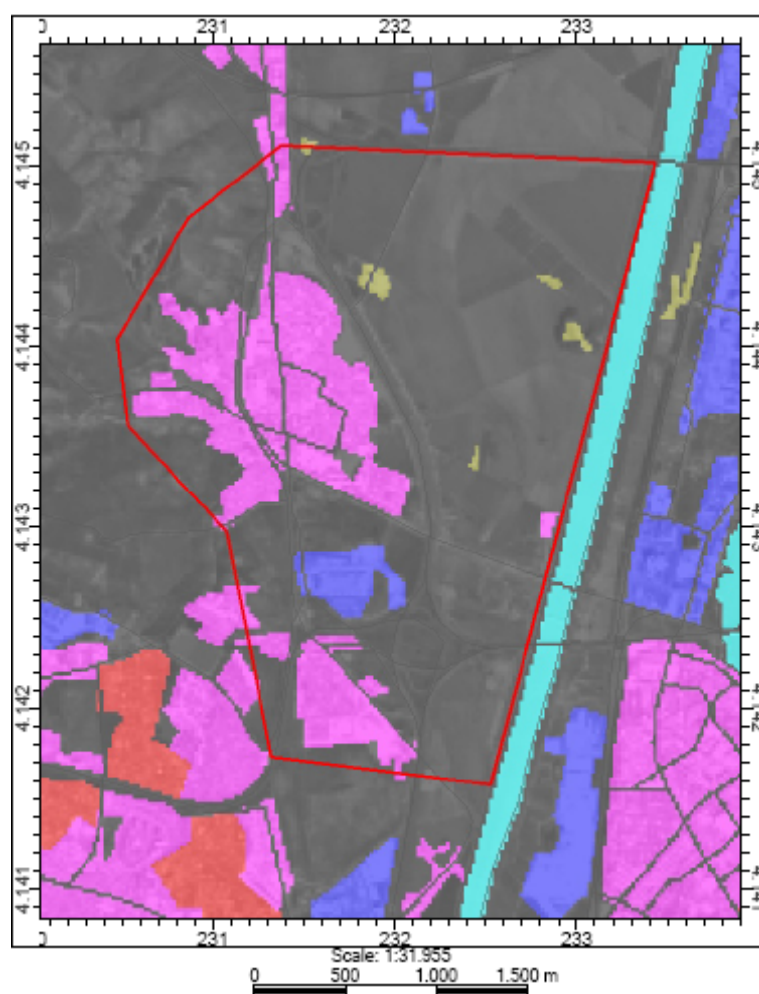
Para el caso del componente C, éste tendrá un valor nulo para ciudades (ya sean grandes o pequeñas), se utilizará la expresión Ec4 para un caso sub-urbano (término medio entre el entorno urbano y el rural), y tomará la forma de Ec5 y Ec6 para el caso de entornos rurales semi-abiertos o abiertos respectivamente.

Para estas simulaciones se ha dispuesto de un mapa tipo *cluster*, el cuál divide la zona en regiones y las caracteriza según su uso. Esta caracterización dará lugar a un uso u otro de las expresiones del término $a[h_{MS}]$ y C. La Figura 5.8 muestra esta división en regiones de la zona objetivo.

Cada uno de estas regiones es caracterizada en el modelo de propagación *Okumura-Hata* siguiendo la siguiente tabla

Zona en mapa	Entorno asignado
Por defecto	Rural / semi-abierto
Open	Rural / abierto
Inland water	Rural / abierto
Residential	Urbano / ciudad media o pequeña
Mean Urban	Urbano / gran ciudad
Dense Urban	Urbano / gran ciudad
Buildings	Urbano / ciudad media o pequeña
Village	Urbano / ciudad media o pequeña
Industrial	Urbano / ciudad media o pequeña
Open in urban	Urbano / ciudad media o pequeña
Forest	Rural / semi-abierto
Parks	Rural / semi-abierto
Scattered Urban	Urbano / ciudad media o pequeña

Tabla 5.33 – Caracterización de los entornos de propagación



Clutter Classes	
1 - OPEN	8 - VILLAGE
3 - INLAND_WATER	9 - INDUSTRIAL
4 - RESIDENTIAL	10 - OPEN_IN_URBAN
5 - MEAN_URBAN	11 - FOREST
6 - DENSE_URBAN	12 - PARKS
7 - BUILDINGS	16 - SCATTERED_URBAN

Figura 5.8 – Mapa de entornos en la zona de interés

5.5.2.2 – Emplazamientos y sectores seleccionados

La Tabla 5.34 recoge los emplazamientos o sites seleccionados tras varios estudios de cobertura. En ella aparecen macroestaciones (en rosa) y microestaciones (en amarillo).

Nombre	Coordenada X	Coordenada Y	Altura (m)
CComercial	231.811	4.142.664	[9]
Formentor	231.649	4.144.168	[9]
Odiel	231.563	4.143.586	[9]
Turina	230.987	4.143.877	[14]
Urbanizacion	231.681	4.142.012	[9]
M_Americo	232.866	4.142.977	[9]
M_Atalaya	230.758	4.144.272	[37]
M_AvExtremadura	231.374	4.144.802	[9]
M_BuenAire	230.630	4.143.679	[38]
M_Carambolo	231.213	4.142.523	[38]
M_Clavel	231.906	4.143.211	[9]
M_Gulo	231.190	4.143.250	[26]
M_Llano	233.005	4.144.214	[9]
M_SanJuan	232.033	4.141.732	[9]

Tabla 5.34 – Lista de los macro y microemplazamientos seleccionados

El nombre de cada site, seleccionado a partir de algún nombre de calle o lugar perteneciente a la zona, no tiene otra función que la rápida identificación del emplazamiento en cuestión. Los sites comenzando por la letra M y guiñon bajo son sites para microestaciones. Las coordenadas X e Y son las coordenadas correspondientes de cada site de acuerdo con el sistema de coordenadas. Por último, la altura es considerada como la altura del terreno sobre el nivel del mar.

Se utiliza sectorización ya que mejora las condiciones frente a la capacidad. Para ello, cada emplazamiento (macro y micro) contará con tres sectores como máximo. Habrá casos en los que las condiciones de cobertura y capacidad proporcionadas por los demás transmisores, harán que el uso de dos o incluso un sector sea suficiente.

A continuación se muestra una tabla con los sectores de cada emplazamiento junto con un mapa de su situación y orientación.

Site	Sector	Altura (m)	Azimut (°)	Tilt Mecánico (°)	Tilt Eléctrico (°)
CComercial	CComercial_1	20	22	8	8
CComercial	CComercial_2	20	135	6	8
CComercial	CComercial_3	20	270	2	7
Formentor	Formentor_1	20	52	7	8
Formentor	Formentor_2	20	174	5	8

Formentor	Formentor_3	20	285	4	7
Odiel	Odiel_1	20	61	6	7
Odiel	Odiel_2	20	188	4	7
Odiel	Odiel_3	20	316	3	7
Turina	Turina_1	20	40	2	7
Turina	Turina_2	20	159	4	7
Turina	Turina_3	20	288	3	8
Urbanizacion	Urbanizacion_1	20	106	8	8
Urbanizacion	Urbanizacion_2	20	215	8	8
Urbanizacion	Urbanizacion_3	20	329	1	6
M_Americo	M_Americo_1	6	304	10	-
M_Atalaya	M_Atalaya_1	6	119	4	-
M_AvExtremadura	M_AvExtremadura_1	6	3	7	-
M_AvExtremadura	M_AvExtremadura_2	6	192	3	-
M_BuenAire	M_BuenAire_1	6	46	1	-
M_Carambolo	M_Carambolo_1	6	3	8	-
M_Carambolo	M_Carambolo_2	6	143	6	-
M_Clavel	M_Clavel_1	6	31	4	-
M_Clavel	M_Clavel_3	6	271	3	-
M_Clavel	M_Clavel_2	6	153	0	-
M_Gulo	M_Gulo_3	6	347	3	-
M_Gulo	M_Gulo_1	6	99,5	7	-
M_Gulo	M_Gulo_2	6	214,3	5	-
M_Llano	M_Llano_2	6	319	10	-
M_Llano	M_Llano_1	6	186	10	-
M_SanJuan	M_SanJuan_1	6	318	7	-

Tabla 5.35 – Lista y detalles de los sectores integrantes de la red

La altura de instalación de las antenas de las macroestaciones es de 20 metros, y la altura para las antenas de las microestaciones es 6 metros. El campo denominado azimut, en la tabla anterior, es el grado de orientación de la dirección central del sector con respecto al norte. La nomenclatura de los sectores consiste en el nombre del site, seguido de un dígito. En el caso de haber más de un sector por site, este dígito irá creciendo con el valor del azimut.

Por otra parte, el tilt mecánico [2] es el ángulo de inclinación de la antena con respecto a la vertical. Esto hace que el punto de máxima ganancia, en el patrón de radiación vertical de la antena, se incline un cierto ángulo (indicado por el tilt), con el propósito de mejorar la cobertura, en ciertos casos, o mejorar la relación C/I (portadora / interferencia) en otros. Un valor positivo del tilt indica inclinación hacia abajo. El tilt eléctrico tiene el mismo efecto que el mecánico, pero en este caso la inclinación es implementada eléctricamente. Dicha inclinación es la misma en todo el plano horizontal, es decir, los lóbulos de radiación anteriores (ángulo de ganancia máxima - 180°) sufrirán la misma inclinación hacia abajo. No todas las antenas implementan la funcionalidad tilt

eléctrico. En el caso de este proyecto, el modelo de antena seleccionado para microestaciones, no implementa tilt eléctrico.

La Figura 5.9 muestra la situación de cada uno de los sites y sectores:

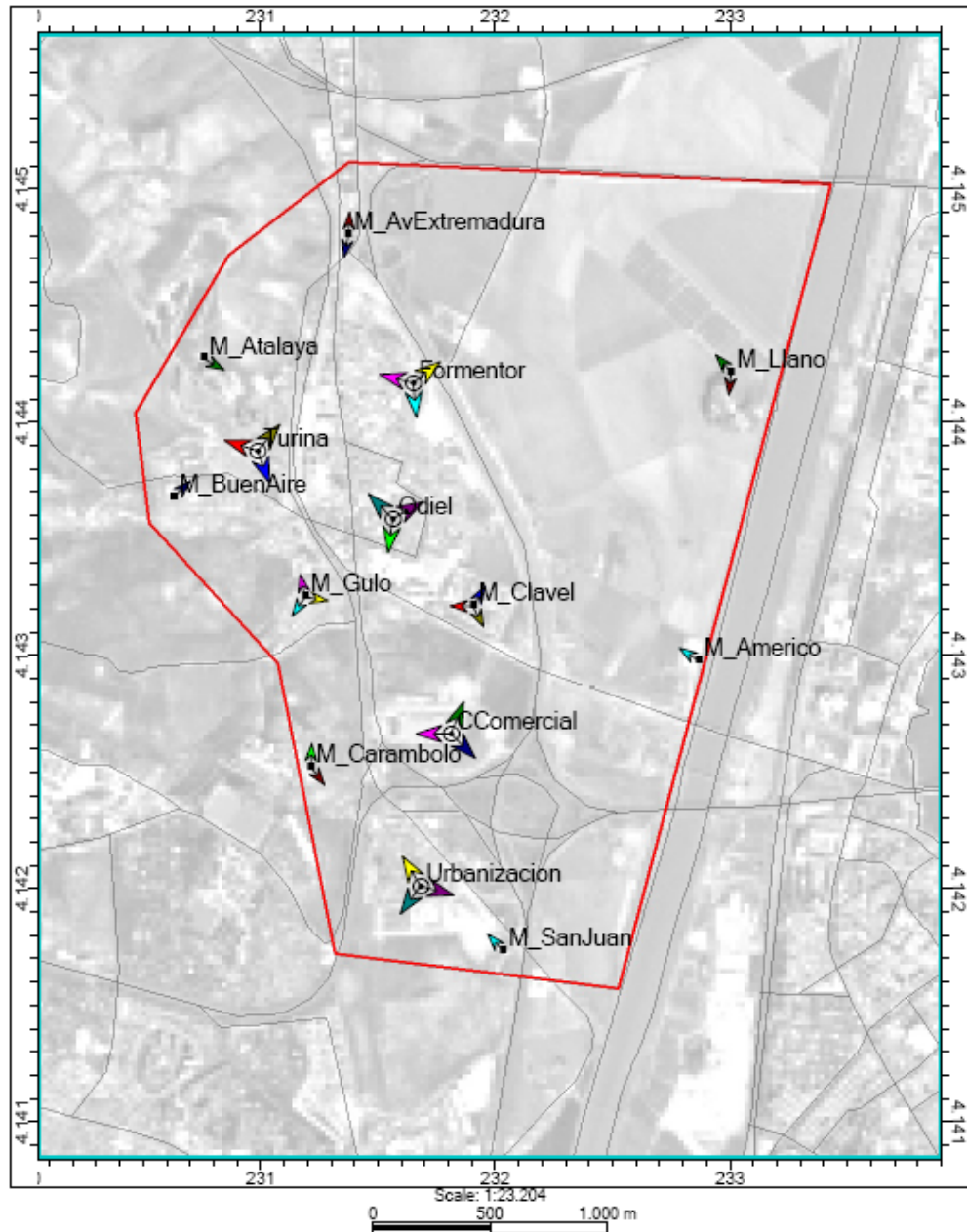


Figura 5.9 – Emplazamientos y sectores seleccionados

5.5.2.3 – Estudios de cobertura

Las siguientes imágenes muestran las predicciones de señal en los enlaces descendente y ascendente.

Dichas simulaciones son válidas para la banda de los 900 MHz. Los transmisores con frecuencias en la banda DCS1800 se situarán en puntos de tráfico elevado. Dichas frecuencias son radiadas a través de los mismos cables alimentadores y antenas, por lo que el radio de su área de cobertura será algo menor al proporcionado por los transmisores GSM900 co-situados en la misma celda. Esta diferencia de cobertura se consigue emitiendo a menor potencia en las frecuencias DCS1800. Además las pérdidas en el aire crecen con la frecuencia [1].

5.5.2.3.1 – Cobertura por nivel de señal

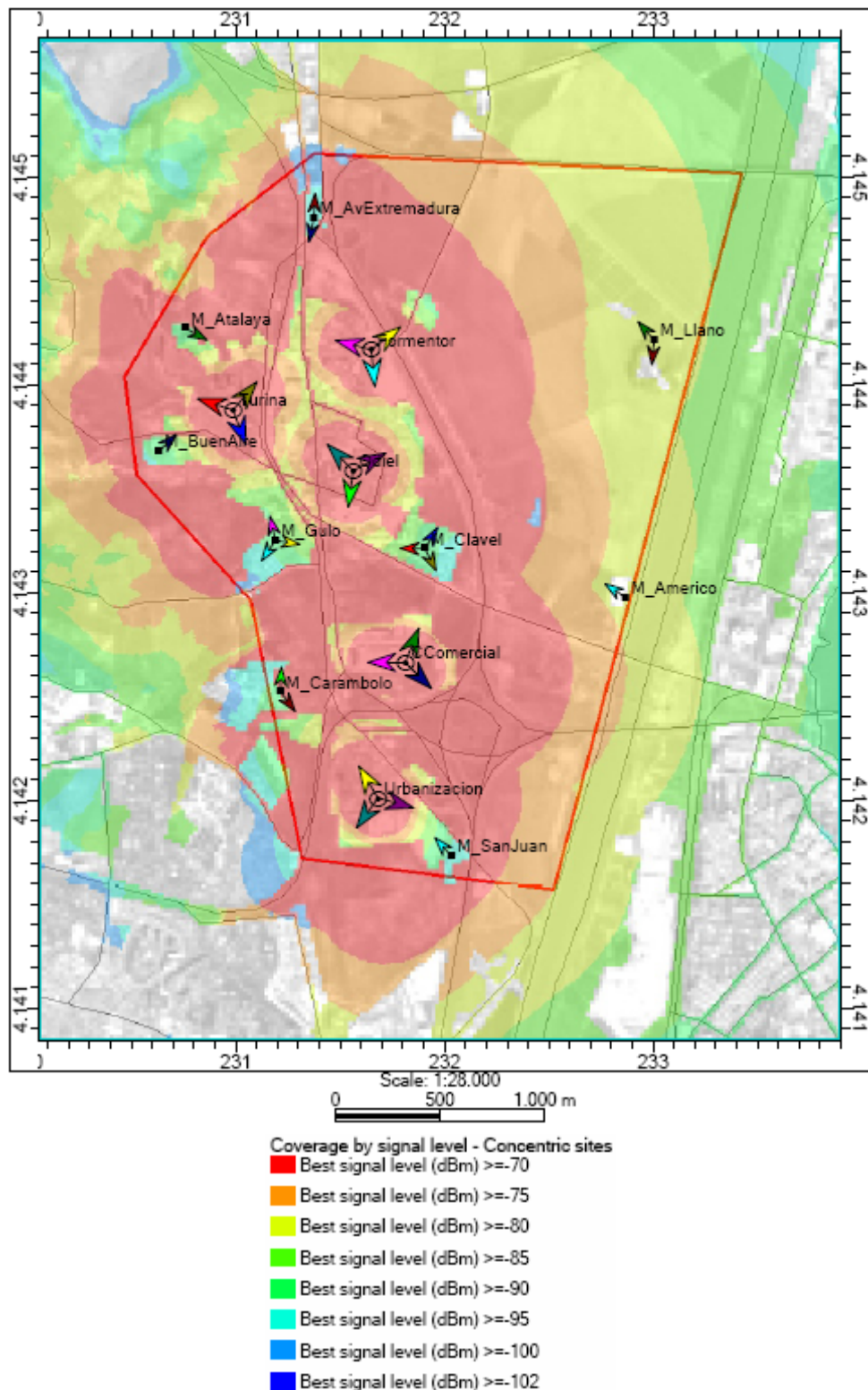


Figura 5.10 – Cobertura por nivel de señal, sin microestaciones. Enlace descendente

La figura anterior muestra la cobertura por nivel de señal del enlace descendente en la zona objetivo, teniendo en cuenta sólo las macroestaciones. En ella se puede observar la existencia de puntos negros de cobertura en los

que incluso llega a perderse la señal. En la configuración final, estos puntos serán cubiertos en cobertura por las microestaciones, tal y como muestra la imagen siguiente.

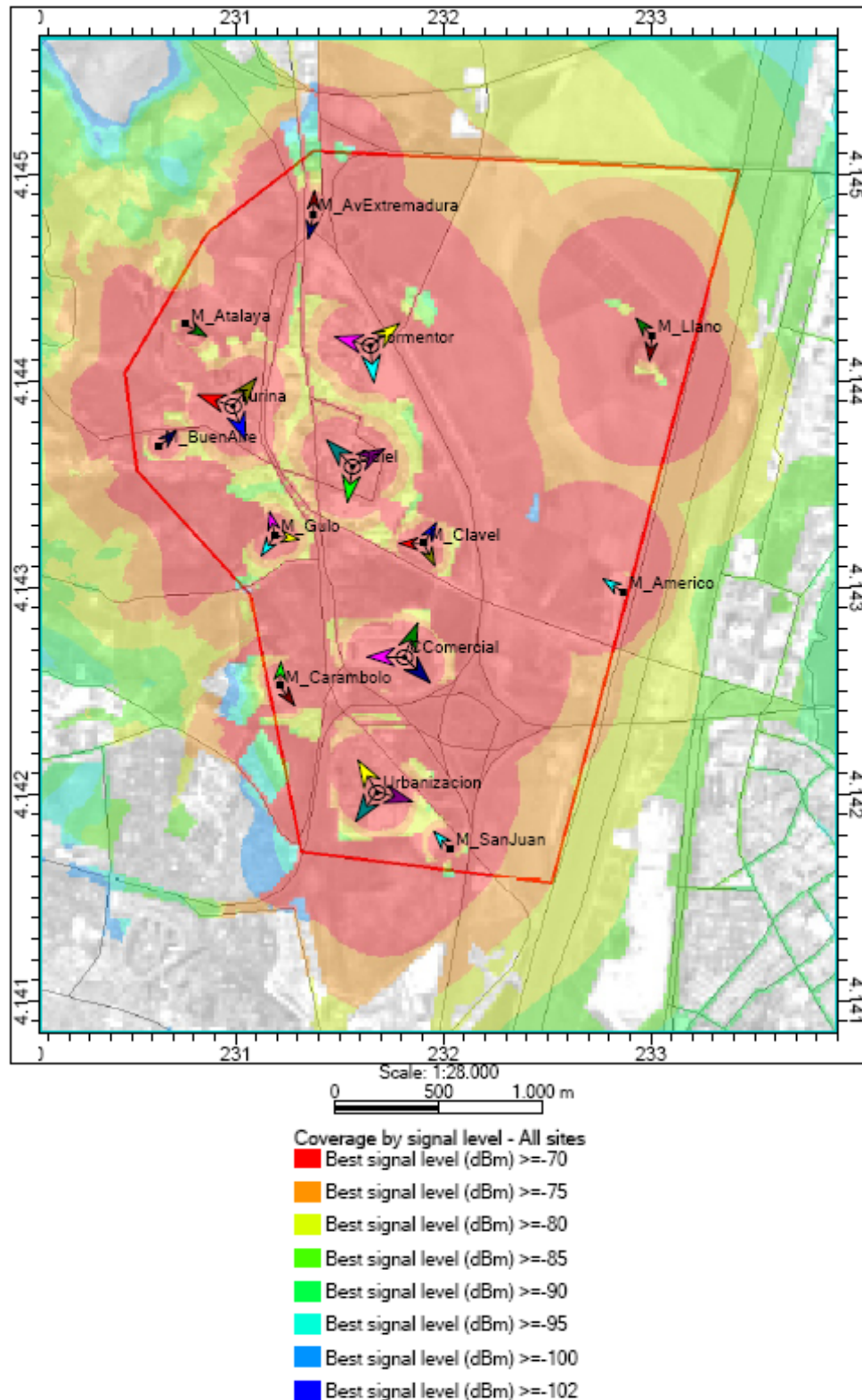


Figura 5.11– Cobertura por nivel de señal. Enlace descendente

En la siguiente figura, los márgenes de representación se limitan a la superación o no del nivel de cobertura de planificación (-75 dB).

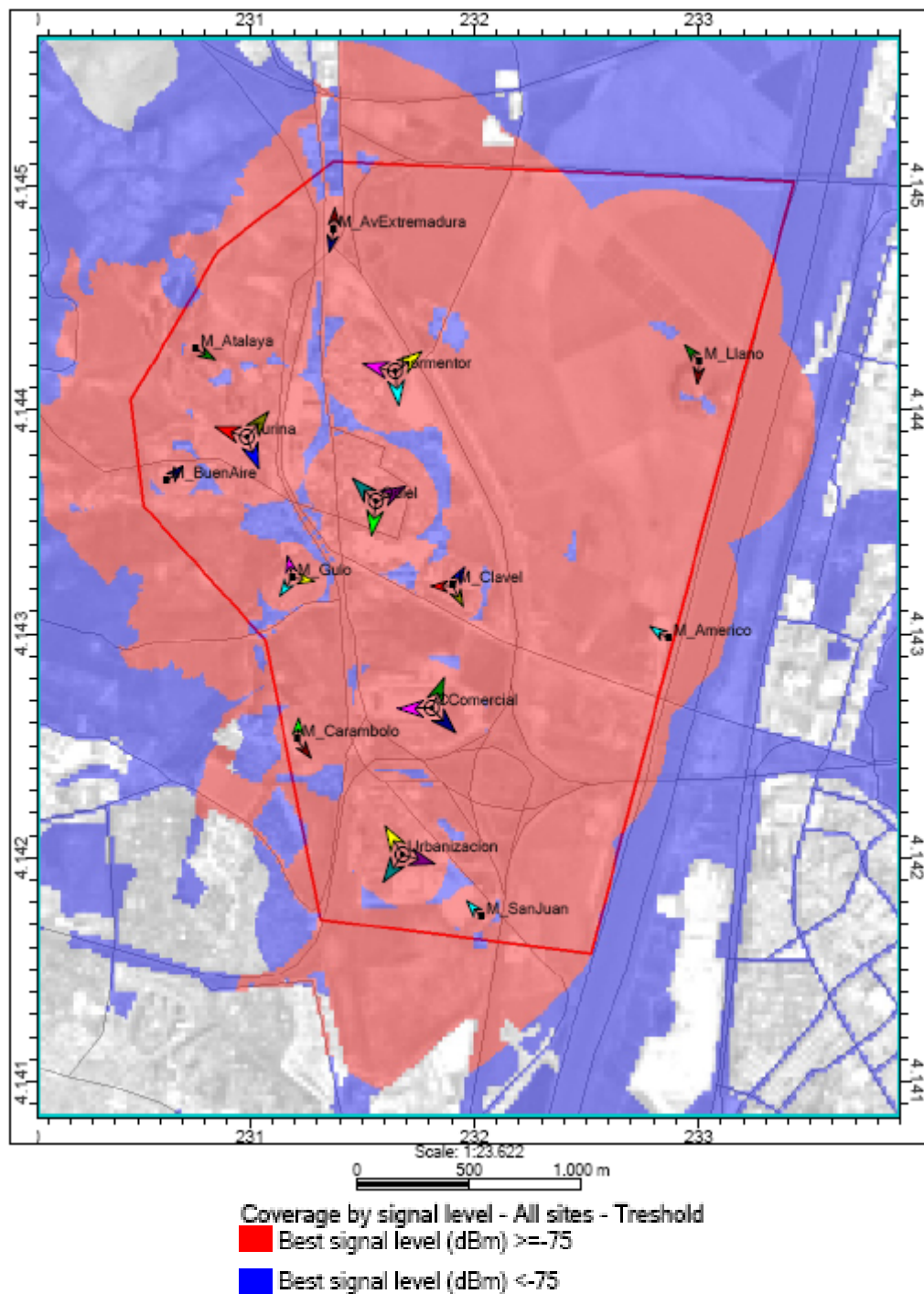


Figura 5.12– Nivel de cobertura planificado. Enlace descendente

Se puede observar que la superación del nivel establecido se cumple en la mayoría de la zona.

Respecto al enlace ascendente, el estudio arroja resultados muy similares a los correspondientes en el enlace descendente. La imagen siguiente muestra la cobertura por nivel de señal en el enlace ascendente.

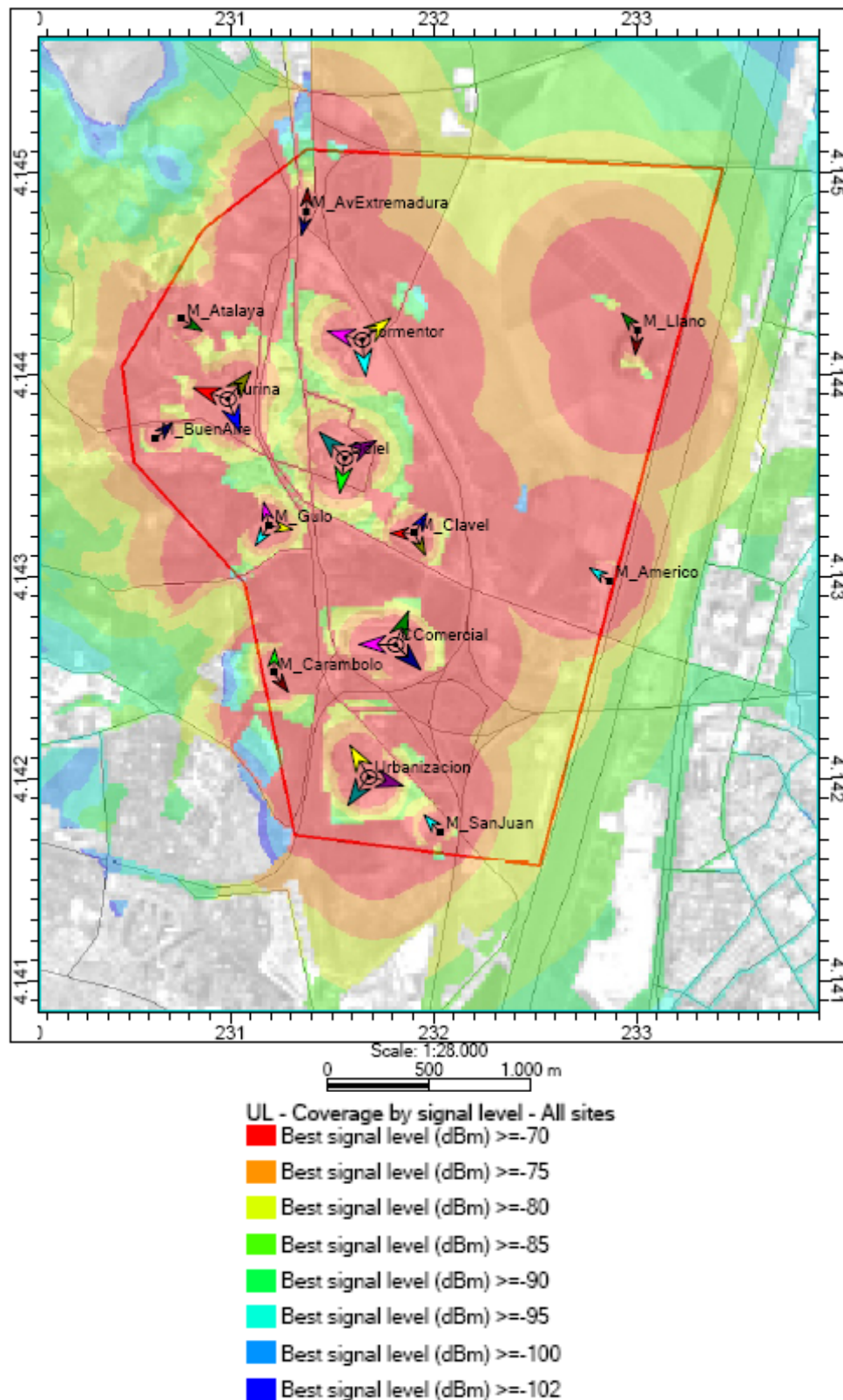


Figura 5.13– Cobertura por nivel de señal. Enlace ascendente

La simulación siguiente muestra una comparación entre las zonas cubiertas por cada estudio de nivel de señal en el enlace ascendente y en el descendente.

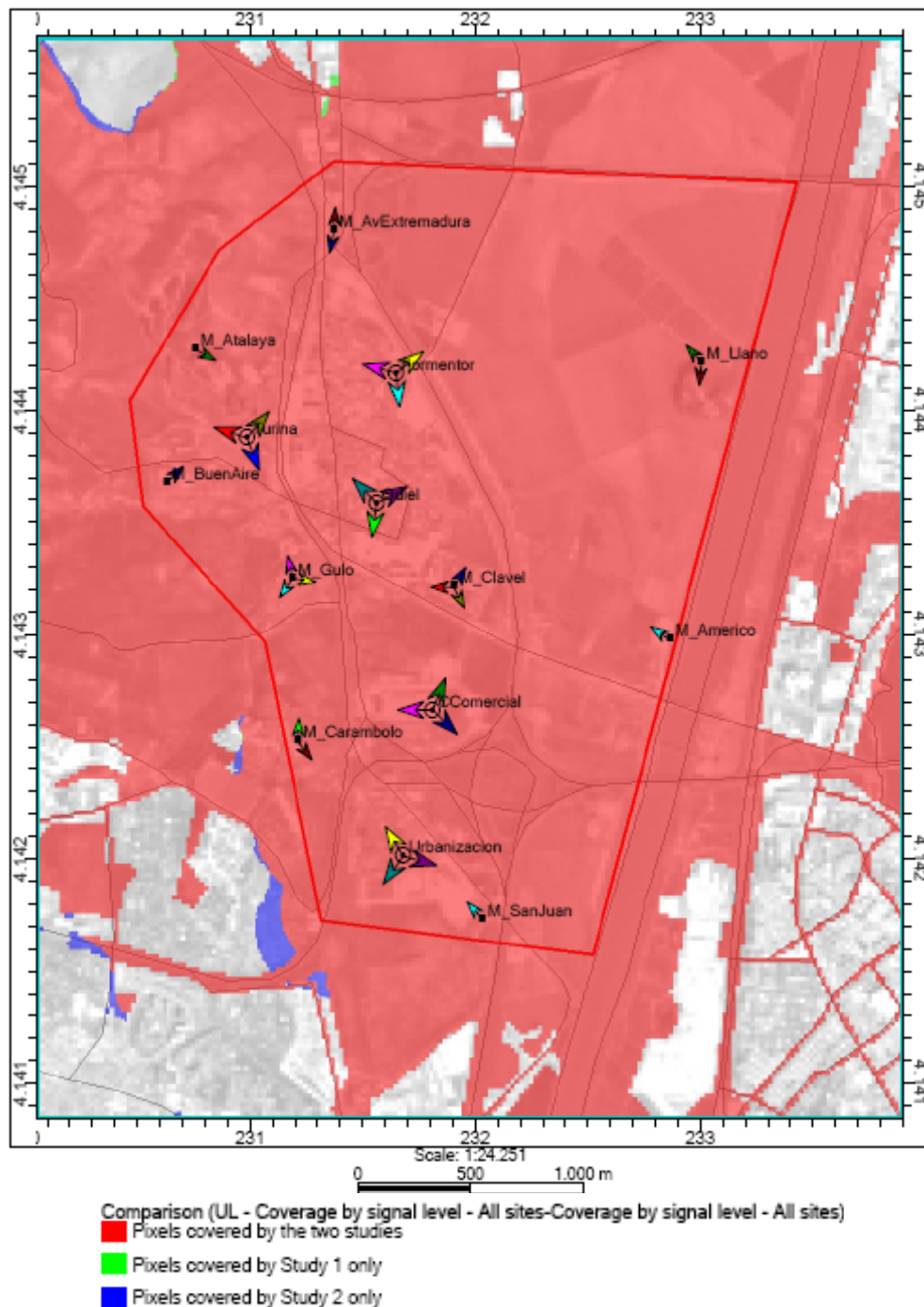


Figura 5.14– Estudio comparativo de las simulaciones de cobertura por nivel de señal en los enlaces ascendente y descendente

La zona es coloreada de rojo cuando ambos estudios la cubren, verde cuando sólo el primer estudio la cubre (nivel de señal en el enlace ascendente) y azul cuando la zona es cubierta sólo por el segundo estudio (nivel de señal en el enlace descendente).

5.5.2.3.2 – Cobertura por transmisor

El siguiente estudio muestra un mapa de la zona coloreada según el mejor transmisor servidor de señal.

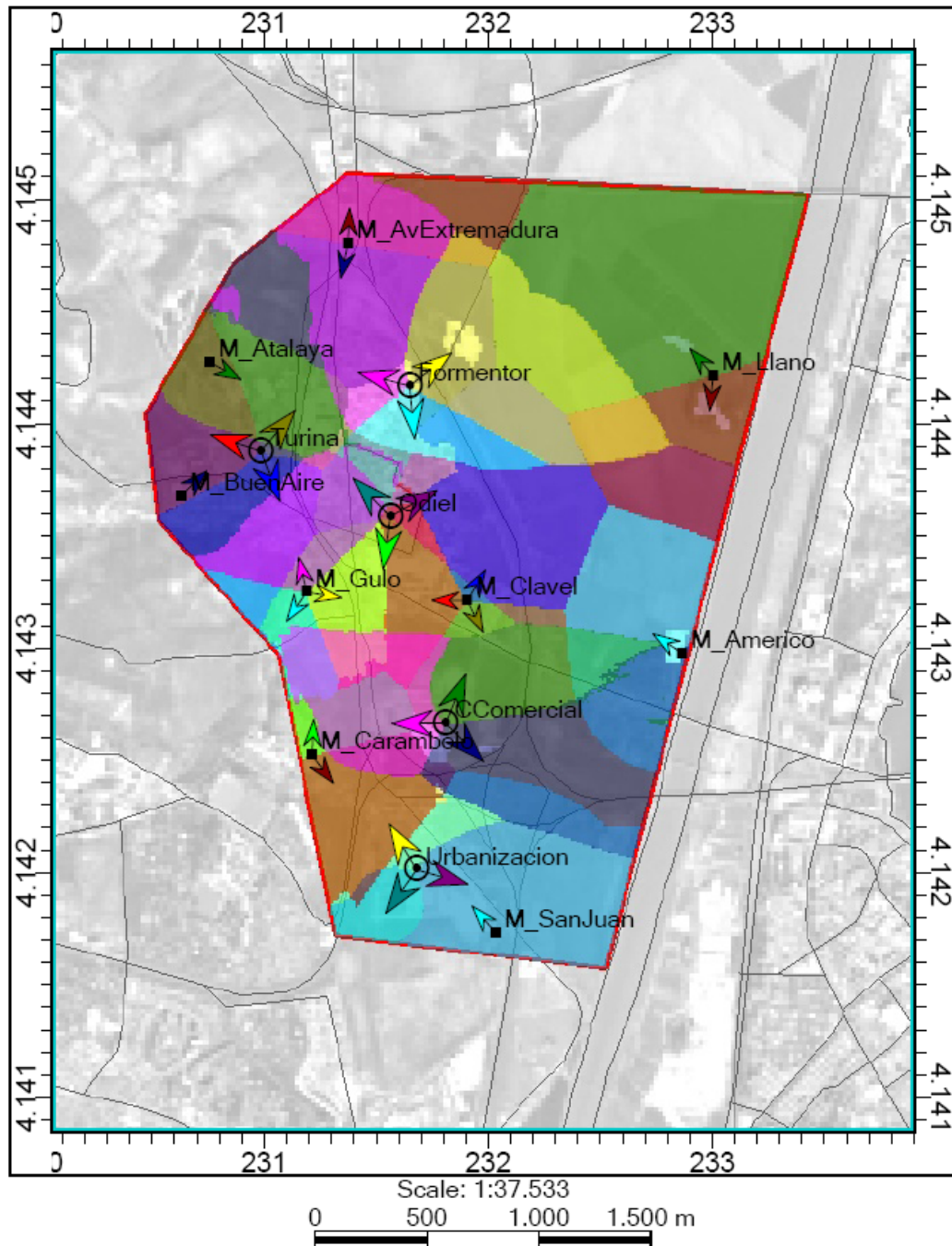


Figura 5.15– Cobertura por transmisor. Enlace descendente

En la imagen anterior, se pueden observar dos capas superpuestas, la capa de macroestaciones y la capa de microestaciones. Cada píxel es coloreado según el color del sector mejor servidor (con mayor nivel de

potencia) para ambas capas, es decir, mejor sector de macroestación servidora y mejor sector de microestación servidora.

El estudio equivalente pero para el enlace ascendente genera el siguiente mapa.

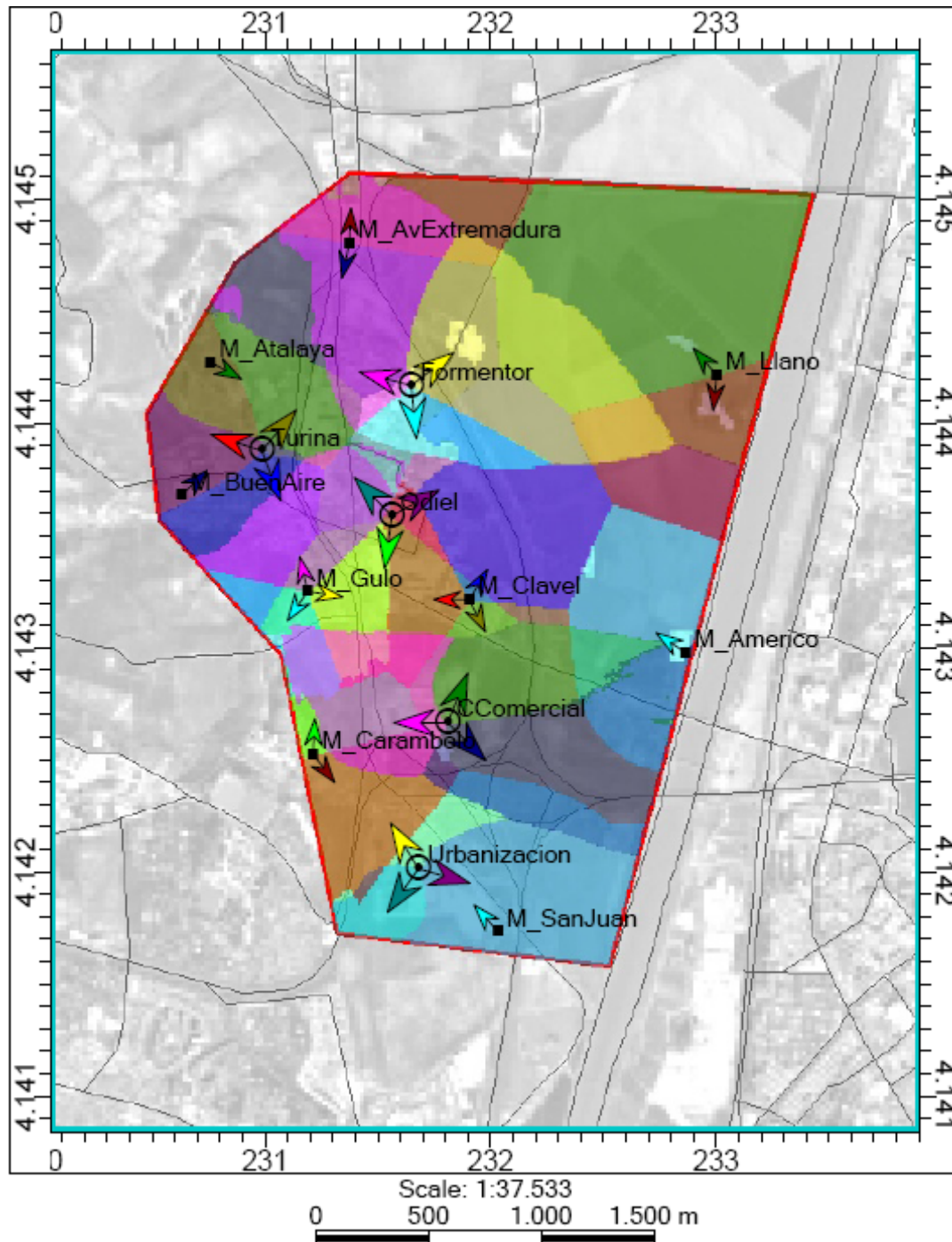


Figura 5.16– Cobertura por transmisor. Enlace ascendente

Se observa que ambos estudios son similares, fruto de una red balanceada en potencia.

5.5.2.3.3 – Estudios de solapamiento

Los siguientes estudios exponen las áreas que son cubiertas por más de un sector, es decir, el grado de solapamiento de transmisores disponibles en cada píxel de la zona objetivo. Este solapamiento se hace necesario en el momento en el que una estación móvil no pueda conectar con una estación base por problemas técnicos o por congestión de la misma, y posibilita la conexión con otra estación base, que no siendo la mejor servidora en niveles de señal, es capaz de proporcionar servicio dentro de los umbrales predefinidos.

La siguiente imagen muestra el estudio de solapamiento para el enlace descendente. Tal como muestra la leyenda, el color rojo indica la superación o igualación en número de sectores servidores disponibles en el área en cuestión.

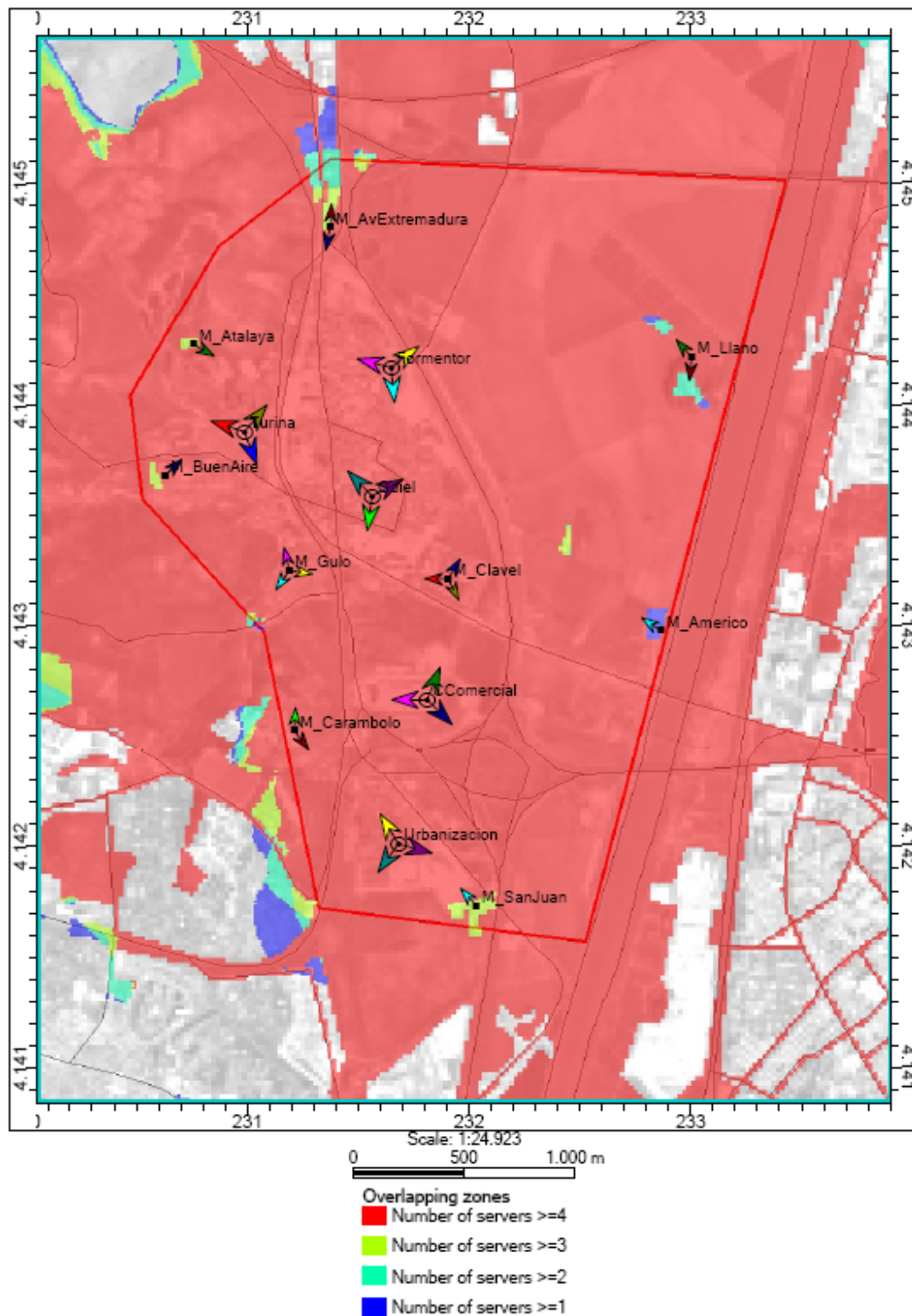


Figura 5.17– Estudio de solapamiento. Enlace descendente

El estudio equivalente en el enlace ascendente arroja resultados muy parecidos.

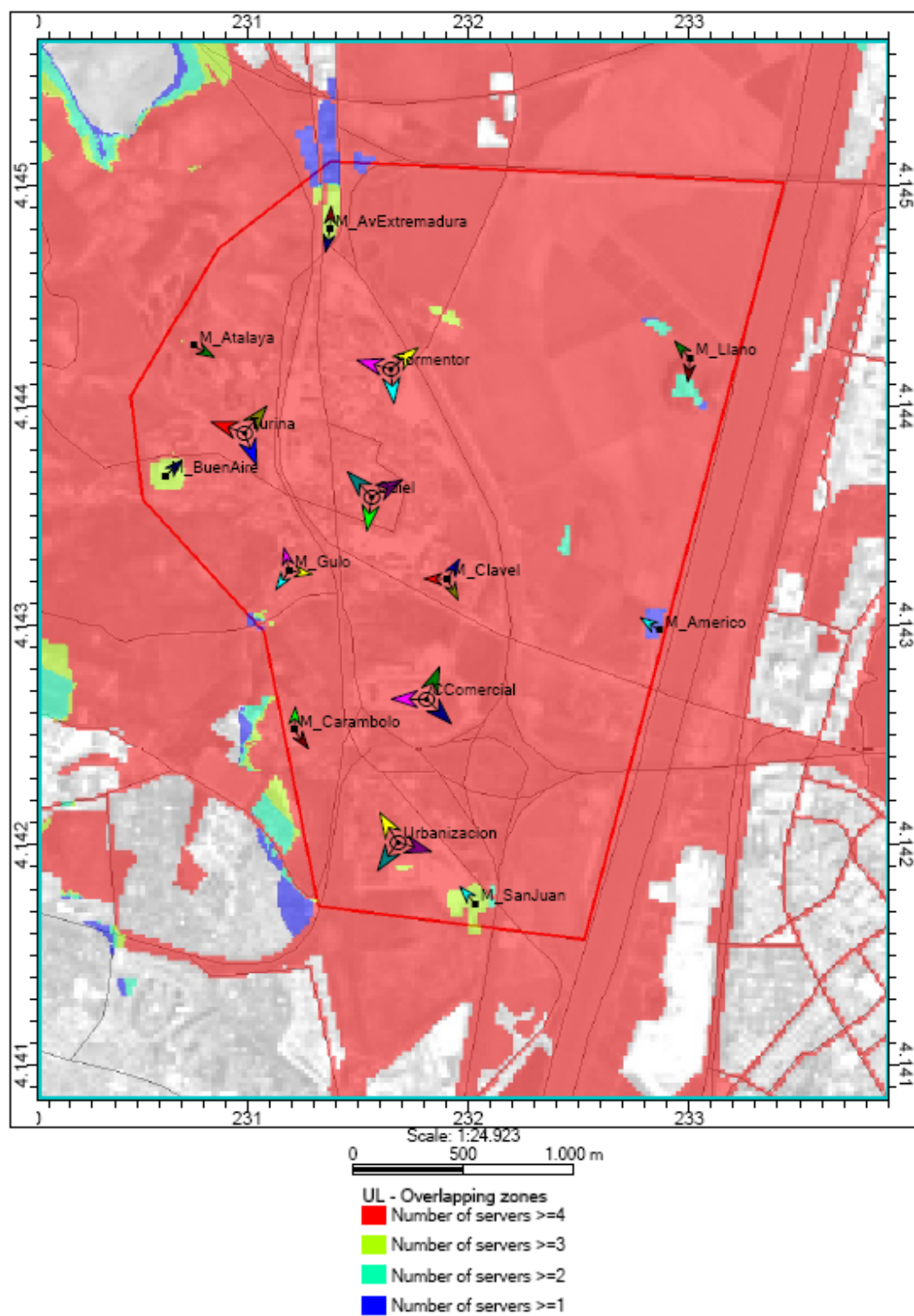


Figura 5.18– Estudio de solapamiento. Enlace ascendente

5.5.3 – Plan de capacidad

Una vez estudiada la viabilidad técnica y validez del plan de cobertura, tiene lugar el plan de capacidad.

El plan llevado a cabo, comienza con un análisis de tráfico, en el cual los mapas de tráfico (voz y datos) definidos en la fase de dimensionamiento, son utilizados junto con las simulaciones de cobertura, para determinar el número de TRXs a instalar en cada sector, así como el tráfico servido por cada uno de ellos. Esta estimación evalúa internamente el tráfico de datos servido en función del nivel de señal, sin tener en cuenta la relación portadora–interferencia (C/I) debido a que ésta última aún no es conocida, ya que la asignación de frecuencias (necesaria para evaluar la interferencia) tiene lugar en el siguiente paso.

Tras un primer análisis, la carga del sector 2 del centro comercial (CComercial_2) fue incrementada manualmente en un 25%. Teniendo en cuenta esto último, el número de TRXs necesarios y la distribución, sobre estos, del tráfico es la siguiente:

Sector	Tipo de TRX	Nº de TRXs	Carga (%)	Demanda de tráfico de voz (Erlangs)	Tráfico de voz servido (Erlangs)	Probabilidad de bloqueo de llamada (%)	Demanda de tráfico de paquetes (Kbps)	Tráfico de paquetes servido (Kbps)
CComercial_1	BCCH	1	10,23	0,58	0,58	0	6,2	6,2
CComercial_1	TCH	0						
CComercial_1	TCH_INNER	1	46,31	2,73	2,72	0,5	43,46	43,46
CComercial_2	BCCH	1	3,94	0,22	0,22	0	2,51	2,51
CComercial_2	TCH	0						
CComercial_2	TCH_INNER	1	31,15	1,79	1,79	0,04	29,94	29,94
CComercial_3	BCCH	1	0,69	0,03	0,03	0	0,37	0,37
CComercial_3	TCH	0						
CComercial_3	TCH_INNER	2	59,3	5,58	5,58	0,02	87,66	87,66
Formentor_1	BCCH	1	2,65	0,16	0,16	0	1,08	1,08
Formentor_1	TCH	0						
Formentor_1	TCH_INNER	1	9,1	0,6	0,6	0	5,69	5,69
Formentor_2	BCCH	1	17,83	0,87	0,87	0	14,77	14,77
Formentor_2	TCH	0						
Formentor_2	TCH_INNER	1	65,39	3,56	3,5	1,85	66,07	66,07
Formentor_3	BCCH	1	9,29	0,46	0,46	0	7,42	7,42

Formentor_3	TCH	0						
Formentor_3	TCH_INNER	2	54,46	5,96	5,96	0,03	110,13	110,13
Odiel_1	BCCH	1	9,75	0,53	0,53	0	6,59	6,59
Odiel_1	TCH	0						
Odiel_1	TCH_INNER	2	50,31	5,43	5,42	0,01	100,02	100,02
Odiel_2	BCCH	1	6,03	0,39	0,39	0	1,56	1,56
Odiel_2	TCH	0						
Odiel_2	TCH_INNER	1	49,28	3,06	3,03	0,89	41,71	41,71
Odiel_3	BCCH	1	8,91	0,45	0,45	0	7,67	7,67
Odiel_3	TCH	0						
Odiel_3	TCH_INNER	2	51,9	5,74	5,74	0,02	105,34	105,34
Turina_1	BCCH	1	5,27	0,28	0,28	0	3,75	3,75
Turina_1	TCH	0						
Turina_1	TCH_INNER	2	49,29	5,55	5,55	0,02	95,1	95,1
Turina_2	BCCH	1	2,23	0,15	0,15	0	0,17	0,17
Turina_2	TCH	0						
Turina_2	TCH_INNER	1	57,2	3,39	3,34	1,47	53,15	53,15
Turina_3	BCCH	1	0,55	0,04	0,04	0	0	0
Turina_3	TCH	0						
Turina_3	TCH_INNER	1	10,44	0,71	0,71	0	5,92	5,92
Urbanizacion_1	BCCH	1	3,74	0,18	0,18	0	3,5	3,5
Urbanizacion_1	TCH	0						
Urbanizacion_1	TCH_INNER	1	28,56	1,55	1,55	0,02	29,72	29,72
Urbanizacion_2	BCCH	1	0,32	0,02	0,02	0	0	0
Urbanizacion_2	TCH	0						
Urbanizacion_2	TCH_INNER	1	41,1	2,24	2,24	0,17	44,8	44,8
Urbanizacion_3	BCCH	1	9,71	0,55	0,55	0	5,61	5,61
Urbanizacion_3	TCH	0						
Urbanizacion_3	TCH_INNER	2	44,11	4,79	4,79	0	99,29	99,29
M_Americo_1	BCCH	1	21,65	1,25	1,25	0,03	13,54	13,54
M_Americo_1	TCH	0						
M_Atalaya_1	BCCH	1	61,16	6,88	6,86	0,29	78,71	78,71
M_Atalaya_1	TCH	1	61,16					
M_AvExtremadura_1	BCCH	1	37,16	1,63	1,63	0,12	39,37	39,37
M_AvExtremadura_1	TCH	0						
M_AvExtremadura_2	BCCH	1	35,25	2,22	2,21	0,58	12,14	12,14
M_AvExtremadura_2	TCH	0						
M_BuenAire_1	BCCH	1	60,73	6,72	6,7	0,24	89,55	89,55
M_BuenAire_1	TCH	1	60,73					
M_Carambolo_1	BCCH	1	49,59	2,55	2,52	1,1	39,75	39,75
M_Carambolo_1	TCH	0						
M_Carambolo_2	BCCH	1	42,12	4,67	4,67	0,01	64,04	64,04
M_Carambolo_2	TCH	1	42,12					
M_Clavel_1	BCCH	1	30,81	3,48	3,48	0	49,12	49,12
M_Clavel_1	TCH	1	30,81					
M_Clavel_2	BCCH	1	26,16	3,09	3,09	0	36,28	36,28
M_Clavel_2	TCH	1	26,16					
M_Clavel_3	BCCH	1	37,63	3,81	3,81	0	67,7	67,7
M_Clavel_3	TCH	1	37,63					
M_Gulo_1	BCCH	1	57,77	2,77	2,73	1,57	52,69	52,69
M_Gulo_1	TCH	0						

M_Gulo_2	BCCH	1	39,02	1,95	1,94	0,3	36,69	36,69
M_Gulo_2	TCH	0	39,02					
M_Gulo_3	BCCH	1	60	6,32	6,31	0,14	93,85	93,85
M_Gulo_3	TCH	1	60					
M_Llano_1	BCCH	1	13,21	0,92	0,92	0	0	0
M_Llano_1	TCH	0	13,21					
M_Llano_2	BCCH	1	19,01	1,33	1,33	0,04	0	0
M_Llano_2	TCH	0	19,01					
M_SanJuan_1	BCCH	1	58,9	6,02	6,01	0,09	106,19	106,19
M_SanJuan_1	TCH	1	58,9					

Tabla 5.36 – Distribución de TRXs y tráfico por sector

Para las macro estaciones, los TRX son de tres tipos:

- BCCH
 - o Son aquellos TRXs que radian el canal de control BCCH. Dicho canal ocupa el primer time-slot, dejando los 7 siguientes para comunicaciones de voz o de datos. Estos TRXs utilizan la banda GSM 900MHz, y no implementan la funcionalidad de salto en frecuencia.
- TCH
 - o TRX radiando en la banda GSM 900MHz.
 - o 8 time-slots para comunicaciones de voz o datos.
- TCH-INNER
 - o TRX radiando en la banda DCS 1800MHz.
 - o 8 time-slots para comunicaciones de voz o datos.

Se observa que ningún TRX supera el 80% de su carga, esto era requisito de planificación. Además la probabilidad de bloqueo en llamada no supera en ningún caso el 2%, marcado como norma de calidad de servicio (QoS).

5.5.4 – Plan de frecuencias

El plan de frecuencias puede ser llevado a cabo manualmente, sin usar ninguna herramienta de planificación de frecuencias, pero su resultado

raramente será óptimo. Con la ayuda de una herramienta automática de planificación de frecuencias, se pueden alcanzar soluciones muy cercanas a la óptima, sino la óptima. Estas herramientas se conocen como AFP (*Automatic Frequency Planning*) [2, 21], las cuales iteran algoritmos de cálculo que computan los costes de las restricciones no cumplidas, y se quedan con la solución con menos coste.

El objetivo de un plan de frecuencias es homogeneizar el nivel de interferencia en toda la red radio, con el propósito de garantizar un nivel de calidad uniforme a los usuarios.

El plan de frecuencias comienza con la división del dominio de frecuencias [2] disponible en distintos grupos según su utilización (Tabla 5.37). En este caso, la banda disponible en los 900 MHz se ha dividido en dos grupos, uno para uso de macroestaciones, y otro para uso de microestaciones. Esta división responde al hecho de que las predicciones de cobertura en microestaciones no son lo suficiente precisas, debido a que los elementos urbanos intervienen de forma más determinante, pudiendo esto desembocar en problemas de calidad de la red.

Grupo	Banda	Primer canal	Último canal	Paso
Camas GSM 900 Macros	GSM 900	0	29	1
Camas GSM 900 Micros	GSM 900	30	59	1
Camas DCS 1800	DCS 1800	512	612	1

Tabla 5.37 – División del dominio de frecuencias

El proceso continúa con la definición de las separaciones mínimas entre canales que deberá tener en cuenta el proceso automático a la hora de alojar las frecuencias en los TRXs (Tabla 5.38). En el caso de TRXs con la funcionalidad de salto en frecuencia (*frequency hopping*), estas restricciones se deberán cumplir en toda la secuencia de salto.

Tipo de relación	Tipo de TRX	Tipo de TRX 2	Separación mínima de canales
Co-Sector	All	All	3
Co-Sector	BCCH	TCH	4
Co-Sector	BCCH	TCH_INNER	3
Co-Sector	TCH_INNER	TCH_INNER	1
Co-Site	All	All	3
Co-Site	TCH_INNER	TCH_INNER	1
Sector vecino	All	All	2
Sector vecino	BCCH	BCCH	3
Sector vecino	TCH_INNER	TCH_INNER	0

Tabla 5.38 – Separación mínima de canales en el plan de frecuencia

Cada sector tiene asociada una lista que contiene sus sectores vecinos o vecindades. Los vecinos de un sector, son los sectores candidatos con los que el sector puede realizar un proceso de *handover*, ya sea por causas radio o por congestión. Se establece un máximo de 16 vecindades por sector, y éstas han sido seleccionadas según los siguientes criterios:

1. Todos los sectores de un mismo site mantienen relaciones de vecindad.
2. Sectores con zonas de dominio adyacentes (zona donde el transmisor es el mejor servidor) mantienen relaciones de vecindad.
3. Los sectores que compartiendo un mínimo del 10% de zona de cobertura, posean un margen de 12 dB en dicha zona, mantienen relación de vecindad.

El análisis de vecindades arroja el siguiente resultado:

Sector	Nº de vecinos	Vecino	Distancia (m)	Razón
CComercial_1	11	CComercial_2	0	Co-Site
		CComercial_3	0	Co-Site
		Formentor_1	1.513	Adyacente
		M_Americo_1	1.100	Cobertura
		M_Clavel_2	555	Cobertura
		M_Llano_1	1.957	Cobertura
		M_Llano_2	1.957	Cobertura
		M_SanJuan_1	958	Cobertura
		Odiel_1	955	Adyacente
		Odiel_2	955	Adyacente
		Turina_1	1.466	Adyacente
CComercial_2	11	CComercial_1	0	Co-Site
		CComercial_3	0	Co-Site
		Formentor_1	1.513	Adyacente
		M_Americo_1	1.100	Cobertura
		M_Clavel_2	555	Cobertura
		M_Llano_1	1.957	Cobertura
		M_SanJuan_1	958	Cobertura
		Odiel_1	955	Adyacente
		Turina_1	1.466	Adyacente
		Urbanizacion_1	665	Adyacente
		Urbanizacion_3	665	Adyacente
CComercial_3	13	CComercial_1	0	Co-Site
		CComercial_2	0	Co-Site
		Formentor_1	1.513	Adyacente
		Formentor_3	1.513	Adyacente
		M_Americo_1	1.100	Cobertura
		M_Clavel_2	555	Cobertura

		M_Llano_1	1.957	Cobertura
		Odiel_1	955	Adyacente
		Odiel_2	955	Adyacente
		Turina_1	1.466	Adyacente
		Turina_2	1.466	Adyacente
		Turina_3	1.466	Adyacente
		Urbanizacion_3	665	Adyacente
Formmentor_1	11	CComercial_1	1.513	Adyacente
		CComercial_2	1.513	Adyacente
		Formmentor_2	0	Co-Site
		Formmentor_3	0	Co-Site
		M_Americo_1	1.703	Cobertura
		M_AvExtremadura_1	691	Cobertura
		M_Clavel_1	991	Cobertura
		M_Llano_1	1.357	Cobertura
		M_Llano_2	1.357	Cobertura
		Odiel_1	588	Adyacente
		Turina_1	723	Adyacente
Formmentor_2	9	Formmentor_1	0	Co-Site
		Formmentor_3	0	Co-Site
		M_Americo_1	1.703	Cobertura
		M_Clavel_1	991	Cobertura
		M_Llano_1	1.357	Cobertura
		M_Llano_2	1.357	Cobertura
		Odiel_1	588	Adyacente
		Odiel_3	588	Adyacente
		Turina_1	723	Cobertura
Formmentor_3	7	Formmentor_1	0	Co-Site
		Formmentor_2	0	Co-Site
		M_AvExtremadura_2	691	Cobertura
		M_Llano_2	1.357	Cobertura
		Odiel_2	588	Adyacente
		Turina_1	723	Adyacente
		Turina_2	723	Adyacente
Odiel_1	8	CComercial_1	955	Adyacente
		CComercial_2	955	Adyacente
		Formmentor_1	588	Adyacente
		Formmentor_2	588	Adyacente
		M_Llano_2	1.573	Cobertura
		Odiel_2	0	Co-Site
		Odiel_3	0	Co-Site
		Turina_1	645	Adyacente
Odiel_2	12	CComercial_1	955	Adyacente
		CComercial_2	955	Cobertura
		CComercial_3	955	Adyacente
		M_Americo_1	1.438	Cobertura
		M_Clavel_1	508	Cobertura
		M_Clavel_2	508	Cobertura
		M_Llano_1	1.573	Cobertura
		M_SanJuan_1	1.913	Cobertura
		Odiel_1	0	Co-Site

		Odiel_3	0	Co-Site
		Turina_2	645	Adyacente
		Urbanizacion_1	1.578	Cobertura
Odiel_3	13	CComercial_3	955	Adyacente
		Formentor_1	588	Cobertura
		Formentor_2	588	Adyacente
		Formentor_3	588	Adyacente
		M_AvExtremadura_2	1.231	Cobertura
		M_Clavel_1	508	Cobertura
		M_Llano_1	1.573	Cobertura
		M_Llano_2	1.573	Cobertura
		Odiel_1	0	Co-Site
		Odiel_2	0	Co-Site
		Turina_1	645	Adyacente
		Turina_2	645	Adyacente
		Urbanizacion_3	1.578	Adyacente
Turina_1	13	CComercial_1	1.466	Adyacente
		CComercial_2	1.466	Adyacente
		CComercial_3	1.466	Adyacente
		Formentor_1	723	Adyacente
		Formentor_3	723	Adyacente
		M_AvExtremadura_2	1.003	Cobertura
		M_Clavel_1	1.135	Cobertura
		Odiel_1	645	Adyacente
		Odiel_2	645	Adyacente
		Odiel_3	645	Adyacente
		Turina_2	0	Co-Site
		Turina_3	0	Co-Site
		Urbanizacion_3	1.990	Adyacente
Turina_2	8	CComercial_2	1.466	Cobertura
		CComercial_3	1.466	Adyacente
		M_Clavel_1	1.135	Cobertura
		Odiel_1	645	Cobertura
		Odiel_2	645	Adyacente
		Odiel_3	645	Adyacente
		Turina_1	0	Co-Site
		Turina_3	0	Co-Site
Turina_3	7	Formentor_3	723	Cobertura
		M_Atalaya_1	457	Cobertura
		M_AvExtremadura_2	1.003	Cobertura
		M_BuenAire_1	408	Cobertura
		Turina_1	0	Co-Site
		Turina_2	0	Co-Site
		Urbanizacion_3	1.990	Adyacente
Urbanizacion_1	8	CComercial_2	665	Adyacente
		M_Americo_1	1.528	Cobertura
		M_Clavel_2	1.220	Cobertura
		M_SanJuan_1	450	Cobertura
		Odiel_1	1.578	Adyacente
		Turina_1	1.990	Adyacente
		Urbanizacion_2	0	Co-Site

		Urbanizacion_3	0	Co-Site
Urbanizacion_2	4	M_Carambolo_2	693	Cobertura
		M_SanJuan_1	450	Cobertura
		Urbanizacion_1	0	Co-Site
		Urbanizacion_3	0	Co-Site
Urbanizacion_3	11	CComercial_2	665	Adyacente
		CComercial_3	665	Adyacente
		M_Americo_1	1.528	Cobertura
		M_Clavel_2	1.220	Cobertura
		M_SanJuan_1	450	Cobertura
		Odiel_1	1.578	Adyacente
		Odiel_2	1.578	Adyacente
		Turina_1	1.990	Adyacente
		Turina_3	1.990	Adyacente
		Urbanizacion_1	0	Co-Site
		Urbanizacion_2	0	Co-Site
M_Americo_1	6	CComercial_2	1.100	Cobertura
		M_Clavel_1	988	Adyacente
		M_Clavel_2	988	Adyacente
		M_Llano_1	1.245	Adyacente
		M_SanJuan_1	1.498	Adyacente
		Odiel_1	1.438	Cobertura
M_Atalaya_1	10	Formentor_3	897	Cobertura
		M_AvExtremadura_2	813	Adyacente
		M_BuenAire_1	607	Adyacente
		M_Clavel_1	1.563	Adyacente
		M_Gulo_2	1.110	Adyacente
		M_Gulo_3	1.110	Adyacente
		Odiel_3	1.058	Cobertura
		Turina_1	457	Cobertura
		Turina_2	457	Cobertura
		Turina_3	457	Cobertura
M_AvExtremadura_1	5	Formentor_1	691	Cobertura
		Formentor_3	691	Cobertura
		M_AvExtremadura_2	0	Co-Site
		M_Llano_2	1.734	Adyacente
		Turina_1	1.003	Cobertura
M_AvExtremadura_2	9	Formentor_1	691	Cobertura
		Formentor_2	691	Cobertura
		Formentor_3	691	Cobertura
		M_Atalaya_1	813	Adyacente
		M_AvExtremadura_1	0	Co-Site
		M_BuenAire_1	1.347	Adyacente
		M_Clavel_1	1.678	Adyacente
		M_Llano_2	1.734	Adyacente
		Turina_1	1.003	Cobertura
M_BuenAire_1	8	M_Atalaya_1	607	Adyacente
		M_AvExtremadura_2	1.347	Adyacente
		M_Gulo_2	705	Adyacente
		M_Gulo_3	705	Adyacente
		Odiel_3	938	Cobertura

		Turina_1	408	Cobertura
		Turina_2	408	Cobertura
		Turina_3	408	Cobertura
M_Carambolo_1	6	CComercial_2	614	Cobertura
		CComercial_3	614	Cobertura
		M_Carambolo_2	0	Co-Site
		M_Clavel_2	977	Adyacente
		M_Clavel_3	977	Adyacente
		M_Gulo_2	727	Adyacente
M_Carambolo_2	7	CComercial_2	614	Cobertura
		CComercial_3	614	Cobertura
		M_Carambolo_1	0	Co-Site
		M_Clavel_2	977	Adyacente
		M_SanJuan_1	1.139	Adyacente
		Urbanizacion_2	693	Cobertura
		Urbanizacion_3	693	Cobertura
M_Clavel_1	11	CComercial_1	555	Cobertura
		Formentor_1	991	Cobertura
		M_Americo_1	988	Adyacente
		M_AvExtremadura_2	1.678	Adyacente
		M_Clavel_2	0	Co-Site
		M_Clavel_3	0	Co-Site
		M_Gulo_3	717	Adyacente
		M_Llano_1	1.488	Adyacente
		M_Llano_2	1.488	Adyacente
		Odiel_1	508	Cobertura
		Odiel_2	508	Cobertura
M_Clavel_2	9	CComercial_2	555	Cobertura
		CComercial_3	555	Cobertura
		M_Americo_1	988	Adyacente
		M_Carambolo_1	977	Adyacente
		M_Carambolo_2	977	Adyacente
		M_Clavel_1	0	Co-Site
		M_Clavel_3	0	Co-Site
		M_SanJuan_1	1.484	Adyacente
		Odiel_1	508	Cobertura
M_Clavel_3	11	CComercial_3	555	Cobertura
		Formentor_1	991	Cobertura
		M_Carambolo_1	977	Adyacente
		M_Clavel_1	0	Co-Site
		M_Clavel_2	0	Co-Site
		M_Gulo_1	717	Adyacente
		M_Gulo_2	717	Adyacente
		M_Gulo_3	717	Adyacente
		Odiel_1	508	Cobertura
		Odiel_2	508	Cobertura
		Odiel_3	508	Cobertura
M_Gulo_1	11	CComercial_2	854	Cobertura
		CComercial_3	854	Cobertura
		Formentor_1	1.026	Cobertura
		M_Clavel_1	717	Adyacente

		M_Clavel_2	717	Adyacente
		M_Clavel_3	717	Adyacente
		M_Gulo_2	0	Co-Site
		M_Gulo_3	0	Co-Site
		Odiel_1	502	Cobertura
		Odiel_2	502	Cobertura
		Odiel_3	502	Cobertura
M_Gulo_2	7	CComercial_3	854	Cobertura
		M_Carambolo_1	727	Adyacente
		M_Clavel_3	717	Adyacente
		M_Gulo_1	0	Co-Site
		M_Gulo_3	0	Co-Site
		Odiel_2	502	Cobertura
		Turina_2	659	Cobertura
M_Gulo_3	12	Formentor_1	1.026	Cobertura
		Formentor_2	1.026	Cobertura
		M_Atalaya_1	1.110	Adyacente
		M_AvExtremadura_2	1.563	Adyacente
		M_BuenAire_1	705	Adyacente
		M_Clavel_1	717	Adyacente
		M_Clavel_3	717	Adyacente
		M_Gulo_1	0	Co-Site
		M_Gulo_2	0	Co-Site
		Odiel_2	502	Cobertura
		Turina_1	659	Cobertura
		Turina_2	659	Cobertura
M_Llano_1	5	Formentor_1	1.357	Cobertura
		M_Americo_1	1.245	Adyacente
		M_Clavel_1	1.488	Adyacente
		M_Llano_2	0	Co-Site
		Odiel_1	1.573	Cobertura
M_Llano_2	6	Formentor_1	1.357	Cobertura
		M_AvExtremadura_1	1.734	Adyacente
		M_AvExtremadura_2	1.734	Adyacente
		M_Clavel_1	1.488	Adyacente
		M_Llano_1	0	Co-Site
		Odiel_1	1.573	Cobertura
M_SanJuan_1	4	CComercial_2	958	Cobertura
		M_Carambolo_2	1.139	Adyacente
		M_Clavel_2	1.484	Adyacente
		Urbanizacion_3	450	Cobertura

Tabla 5.39 – Lista de vecindades

5.5.4.1 – Funcionalidades adicionales

Existen funcionalidades adicionales que pueden mejorar la relación C/I (portadora / Interferencia), y por lo tanto añadir capacidad a la red. En la

herramienta AFP utilizada se tendrá en cuenta un esquema de salto en frecuencia (*Frequency Hopping*) [2] y una funcionalidad de transmisión discontinua (DTX) [2, 3].

El esquema de salto en frecuencia utilizado se denomina *synthetized hopping* [2]. En este esquema, cada TRX puede cambiar su frecuencia para cada ranura de tiempo o *time-slot*, es decir cada TRX puede reusar toda la banda de frecuencia disponible. Esto es valido para todos los TRXs salvo los encargados de transmitir el BCCH, ya que este canal debe ser transmitido siempre por la misma frecuencia. Es decir los TRXs del tipo BCCH no entrarán en el esquema de salto en frecuencia que la herramienta automática generará.

El módulo AFP alojará para cada TRX tipo BCCH, su frecuencia de transmisión. Para los demás TRXs alojará los parámetros: MAL (*Mobile Allocation List*), HSN (*Hopping Sequence Number*) y MAIO (*Mobile Allocation Index Offset*). El primer parámetro es la lista de frecuencias sobre las que el TRX “irá saltando”, el segundo es la base que tiene cada TRX para determinar la secuencia de salto, hay 64 valores posibles, y cada uno de ellos determina una secuencia pseudoaleatoria de frecuencias a usar. Por último, el parámetro MAIO, indica el *offset* dentro de la lista de frecuencias (MAL). Esto evita que TRXs distintos, con la misma MAL y HSN, coincidan en frecuencia en un mismo instante (siempre que estén en el mismo nivel de sincronización). En nuestra red existe un nivel de sincronización por cada site, es decir, todos los TRX de un mismo site que implementen salto en frecuencia, estarán sincronizados.

La segunda funcionalidad tenida en cuenta es DTX, es decir, transmisión discontinua. Un sensor de voz en la estación móvil detecta cuando el usuario está hablando y cuando no, e interactúa con la parte de transmisión del equipo móvil, haciendo que cuando no se detecte voz solo se transmita en cierta parte del *time-slot* [2, 3]. Esto reduce la interferencia, mejorando la calidad y la eficiencia espectral.

El factor DTX utilizado, es decir, el porcentaje del tiempo de la llamada en el que un usuario está hablando, es igual a 50%¹.

¹ GSM, GPRS and EDGE performance. Evolution towards 3G/UMTS; Second Edition; Timo Halonen, Javier Romero, Juan Melero; WILEY, 2003 – Sección 6.1.3

5.5.4.2 – Asignación de frecuencias por la herramienta AFP

La herramienta AFP asignará los siguientes recursos a cada TRX [21]:

- ⇒ Frecuencias
- ⇒ MAL (Mobile Allocation List), HSN (Hopping Sequence Number) y MAIO (Mobile Allocation Index Offset), en el caso de implementar salto en frecuencia.
- ⇒ BSIC (Base Station Identification Code)

Este último parámetro tiene 64 valores posibles y sirve al móvil para poder distinguir entre estaciones base con el mismo valor para el BCCH.

Con los datos vistos hasta ahora, la asignación llevada a cabo por la herramienta AFP es la recogida en la siguiente tabla:

Sector	Tipo de TRX	Index	BSIC	Channels	MAIO	HSN
CComercial_1	BCCH	1	0	22		
CComercial_1	TCH_INNER	5	0	547 581 584 607 610	1	4
CComercial_2	BCCH	1	2	0		
CComercial_2	TCH_INNER	6	2	547 581 584 607 610	2	4
CComercial_3	BCCH	1	0	26		
CComercial_3	TCH_INNER	3	0	547 581 584 607 610	0	4
CComercial_3	TCH_INNER	4	0	547 581 584 607 610	3	4
Formentor_1	BCCH	1	0	15		
Formentor_1	TCH_INNER	3	0	573 576 592 597 600	1	3
Formentor_2	BCCH	1	0	19		
Formentor_2	TCH_INNER	2	0	573 576 592 597 600	2	3
Formentor_3	BCCH	1	1	23		
Formentor_3	TCH_INNER	4	1	573 576 592 597 600	0	3
Formentor_3	TCH_INNER	5	1	573 576 592 597 600	3	3
Odiel_1	BCCH	1	3	9		
Odiel_1	TCH_INNER	4	3	545 548 574 577 580 583	0	10
Odiel_1	TCH_INNER	5	3	545 548 574 577 580 583	3	10
Odiel_2	BCCH	1	1	18		
Odiel_2	TCH_INNER	3	1	545 548 574 577 580 583	2	10
Odiel_3	BCCH	1	4	1		
Odiel_3	TCH_INNER	2	4	545 548 574 577 580 583	1	10
Odiel_3	TCH_INNER	3	4	545 548 574 577 580 583	4	10
Turina_1	BCCH	1	0	12		
Turina_1	TCH_INNER	2	0	516 518 519 561 564	0	1
Turina_1	TCH_INNER	3	0	516 518 519 561 564	3	1
Turina_2	BCCH	1	1	6		
Turina_2	TCH_INNER	3	1	516 518 519 561 564	1	1
Turina_3	BCCH	1	1	16		
Turina_3	TCH_INNER	2	1	516 518 519 561 564	2	1

Urbanizacion_1	BCCH	1	0	24		
Urbanizacion_1	TCH_INNER	5	0	575 578 595 598 605	1	2
Urbanizacion_2	BCCH	1	4	8		
Urbanizacion_2	TCH_INNER	3	4	575 578 595 598 605	2	2
Urbanizacion_3	BCCH	1	5	4		
Urbanizacion_3	TCH_INNER	3	5	575 578 595 598 605	0	2
Urbanizacion_3	TCH_INNER	5	5	575 578 595 598 605	3	2
M_Americo_1	BCCH	1	1	33		
M_Atalaya_1	BCCH	1	0	37		
M_Atalaya_1	TCH	3	0	46 49	0	19
M_AvExtremadura_1	BCCH	0	1	51		
M_AvExtremadura_2	BCCH	0	1	44		
M_BuenAire_1	BCCH	1	0	41		
M_BuenAire_1	TCH	3	0	34 52	0	18
M_Carambolo_1	BCCH	0	0	57		
M_Carambolo_2	BCCH	0	1	49		
M_Carambolo_2	TCH	3	1	35 39	0	15
M_Clavel_1	BCCH	1	0	53		
M_Clavel_1	TCH	2	0	30 42 59	0	16
M_Clavel_2	BCCH	1	1	37		
M_Clavel_2	TCH	2	1	30 42 59	2	16
M_Clavel_3	BCCH	1	0	50		
M_Clavel_3	TCH	2	0	30 42 59	1	16
M_Gulo_1	BCCH	1	0	47		
M_Gulo_2	BCCH	1	0	44		
M_Gulo_3	BCCH	1	0	32		
M_Gulo_3	TCH	3	0	39 55	0	17
M_Llano_1	BCCH	0	1	46		
M_Llano_2	BCCH	0	2	36		
M_SanJuan_1	BCCH	1	2	46		
M_SanJuan_1	TCH	5	2	51 55	0	14

Tabla 5.40 – Asignación de frecuencias

5.5.4.3 – Estudios de interferencia

Por último y tras conocer las frecuencias asignadas a cada TRX resta conocer el nivel de interferencia que se alcanza en cada zona. Para ello, se van a realizar estudios de cobertura por nivel de C/I (relación portadora - interferencia) cocanal y en canal adyacente, además de estudios específicos de uso de los diversos esquemas de codificación GPRS/EDGE.

En sistemas donde los canales son reutilizados la interferencia siempre existe. Con estos estudios se pretende mostrar que ésta se encuentra dentro de los límites establecidos, es decir, una relación C/I mayor que 14dB para TRXs del tipo BCCH, y mayor que 11 dB para el resto.

5.5.4.3.1 – Estudios de cobertura por nivel de C/I

Se va a estudiar la interferencia existente en la zona. El estudio de interferencia consiste en asignar a cada píxel el mejor servidor por cada capa (macro y micro) y analizar la interferencia sufrida a causa de transmisores cocanal y transmisores en canal adyacente [21].

En el caso de interferencia cocanal, es decir, provocada por transmisores radiando en el mismo canal, aparecen zonas de interferencia sólo para en el estudio de TRXs del tipo BCCH, en los que por planificación, se requiere una relación C/I mayor que 14dB, y en TRXs del tipo TCH, donde la relación C/I existente debe ser mayor a 11 dB. Las figuras 5.19 y 5.20 muestran el resultado en las sucesivas páginas.

Para el estudio de cobertura por nivel de C/I cocanal de los transmisores del tipo BCCH (Figura 5.19) se observa que existe una zona, perteneciente al área de servicio de la macroestación *Formentor*, en la que no se supera el umbral ($C/I > 14\text{dB}$). El TRX interferido en esa zona es el BCCH perteneciente al segundo sector de la microestación *M_AvExtremadura* (como se verá en un estudio posterior), el cual no llegará a servir esa zona en la realidad. Esto es debido a que el cálculo del área donde una estación es mejor servidora se hizo independientemente para cada capa macro y micro, resultando puntos con dos estaciones catalogadas como mejores servidoras (una por cada capa), aún siendo una mucho mejor que la otra en términos de potencia.

En el estudio de cobertura por nivel de C/I cocanal de los transmisores del tipo TCH (Figura 5.20) se puede observar que en todos los puntos se supera el umbral de planificación marcado ($C/I > 11\text{dB}$). Las zonas que en este estudio aparecen en blanco, son zonas en las que ningún TRX del tipo TCH es considerado como mejor servidor.

Para el caso de TRXs del tipo TCH_INNER, ATOLL calculó una interferencia nula.

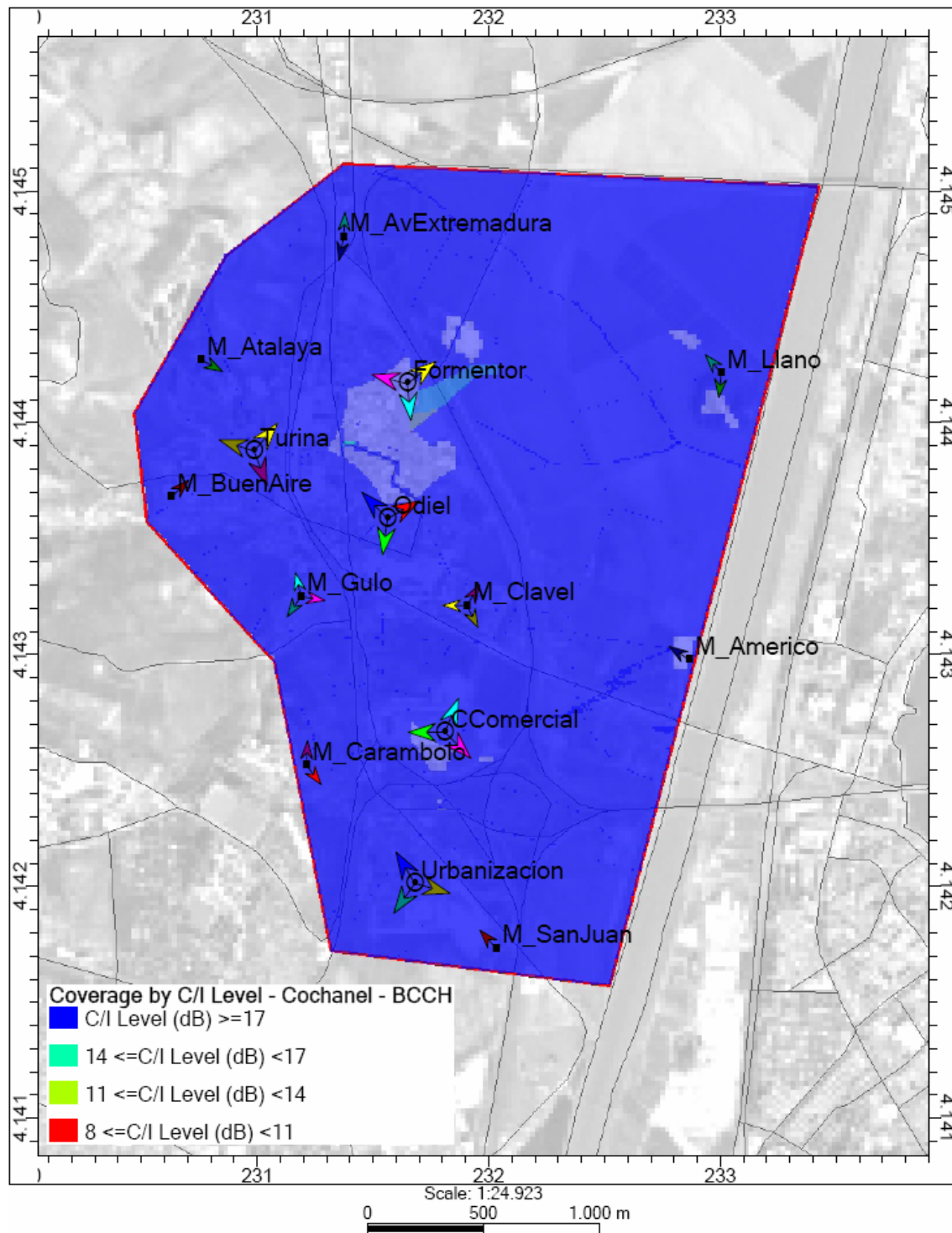


Figura 5.19 – Estudio de interferencia cocanal en TRXs del tipo BCCH

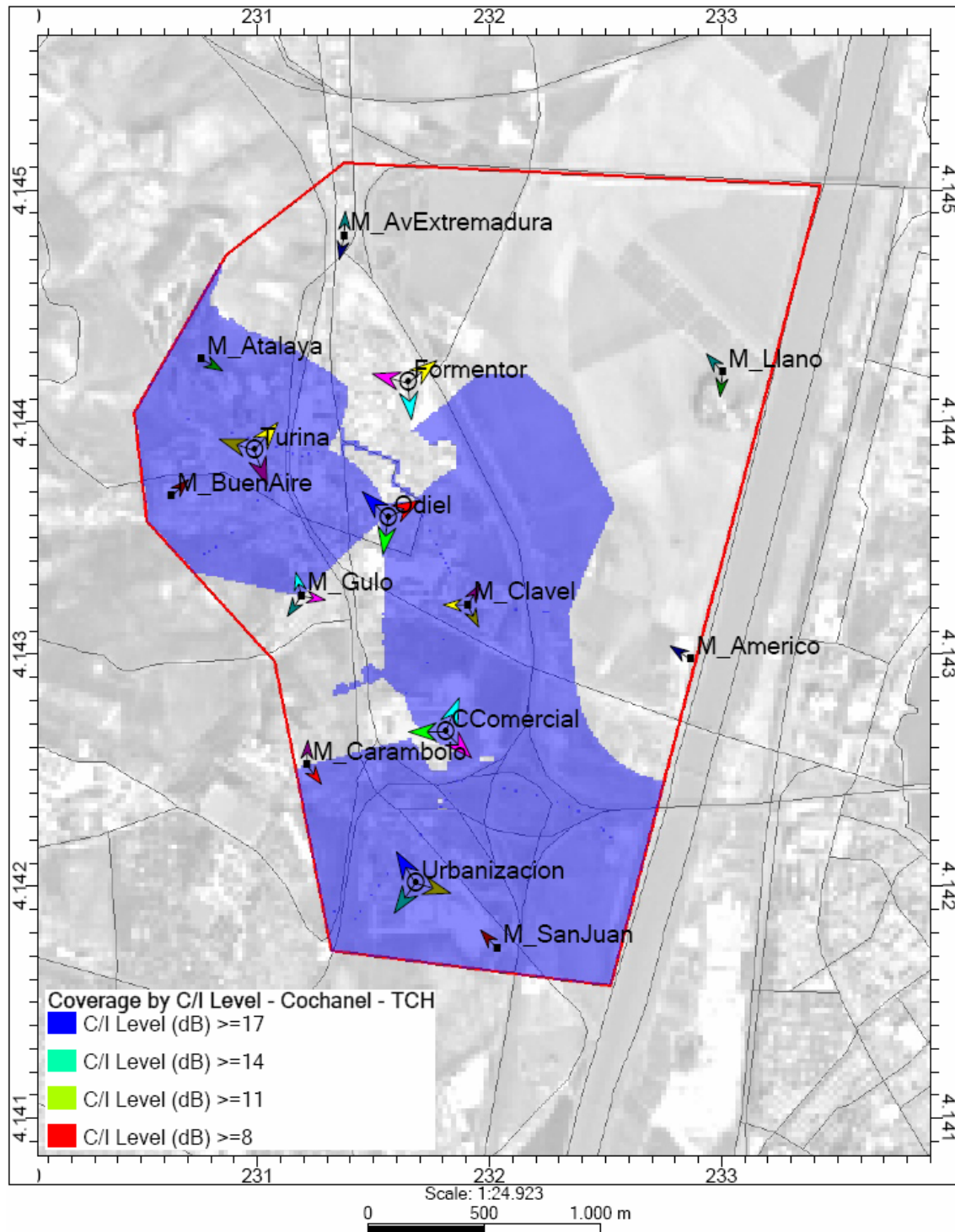


Figura 5.20 – Estudio de interferencia cocanal en TRXs del tipo TCH

Si se repiten los estudios teniendo en cuenta, en este caso, la interferencia provocada por los canales adyacentes, los resultados son similares, es decir, para los TRX del tipo BCCH y TCH, la relación C/I no supera en ningún punto los umbrales de planificación (14 y 11 dB,

respectivamente) y para TRXs del tipo TCH_INNER no existe interferencia. Las figuras 5.21 y 5.22 muestran los resultados para los casos BCCH y TCH. Para el estudio de los TRXs del tipo TCH_INNER se obvia el mapa.

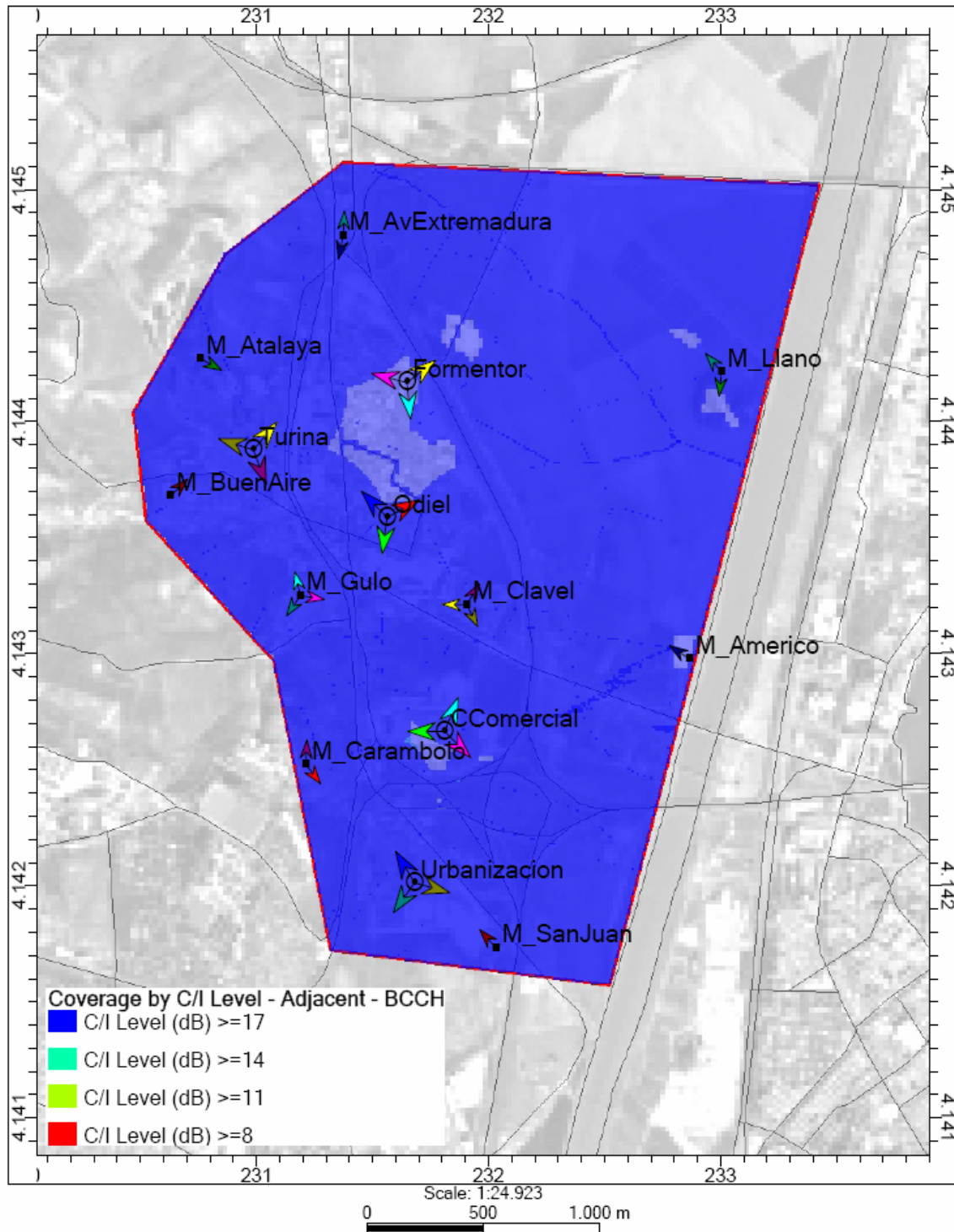


Figura 5.21 – Estudio de interferencia de canal adyacente en TRXs del tipo BCCH

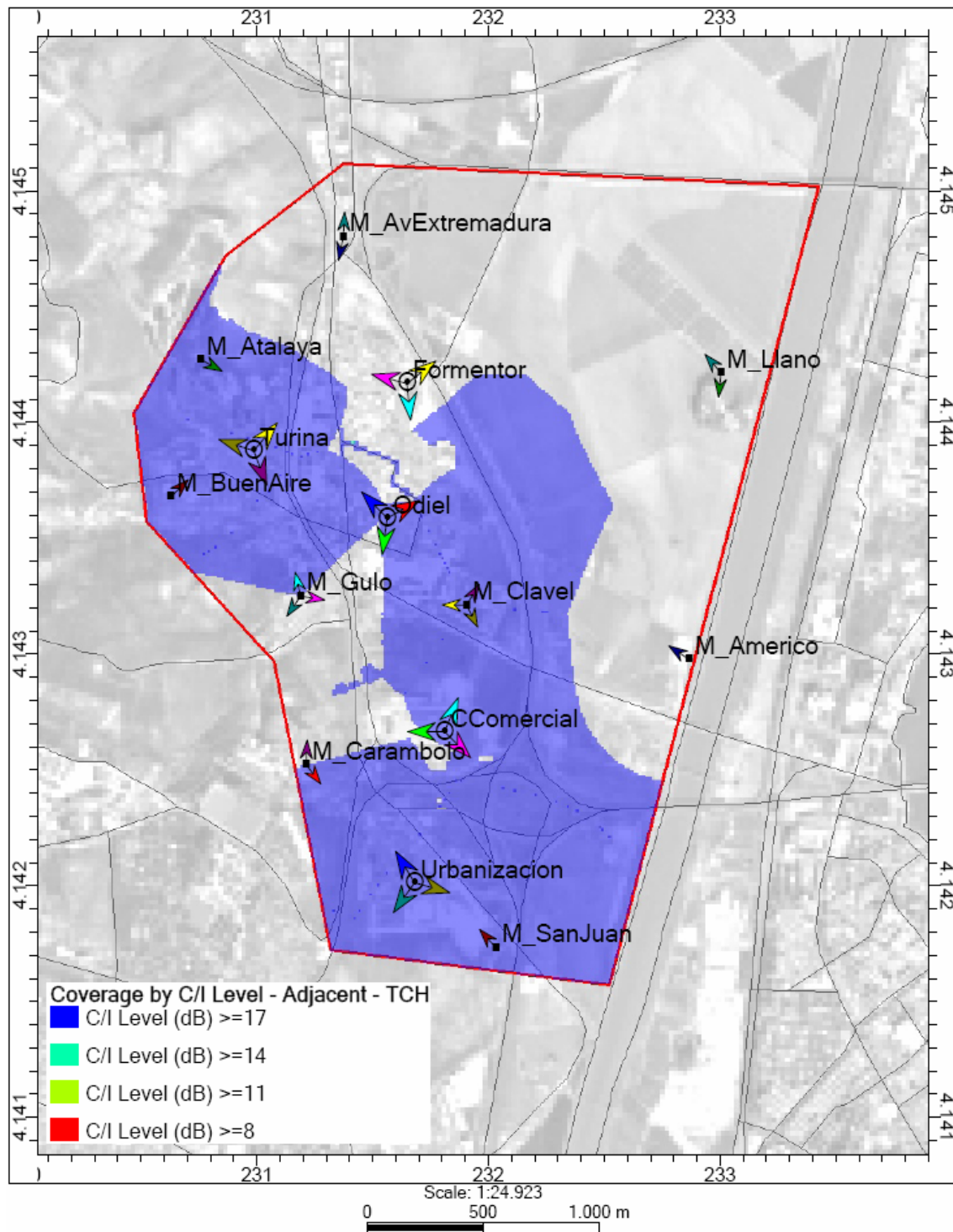
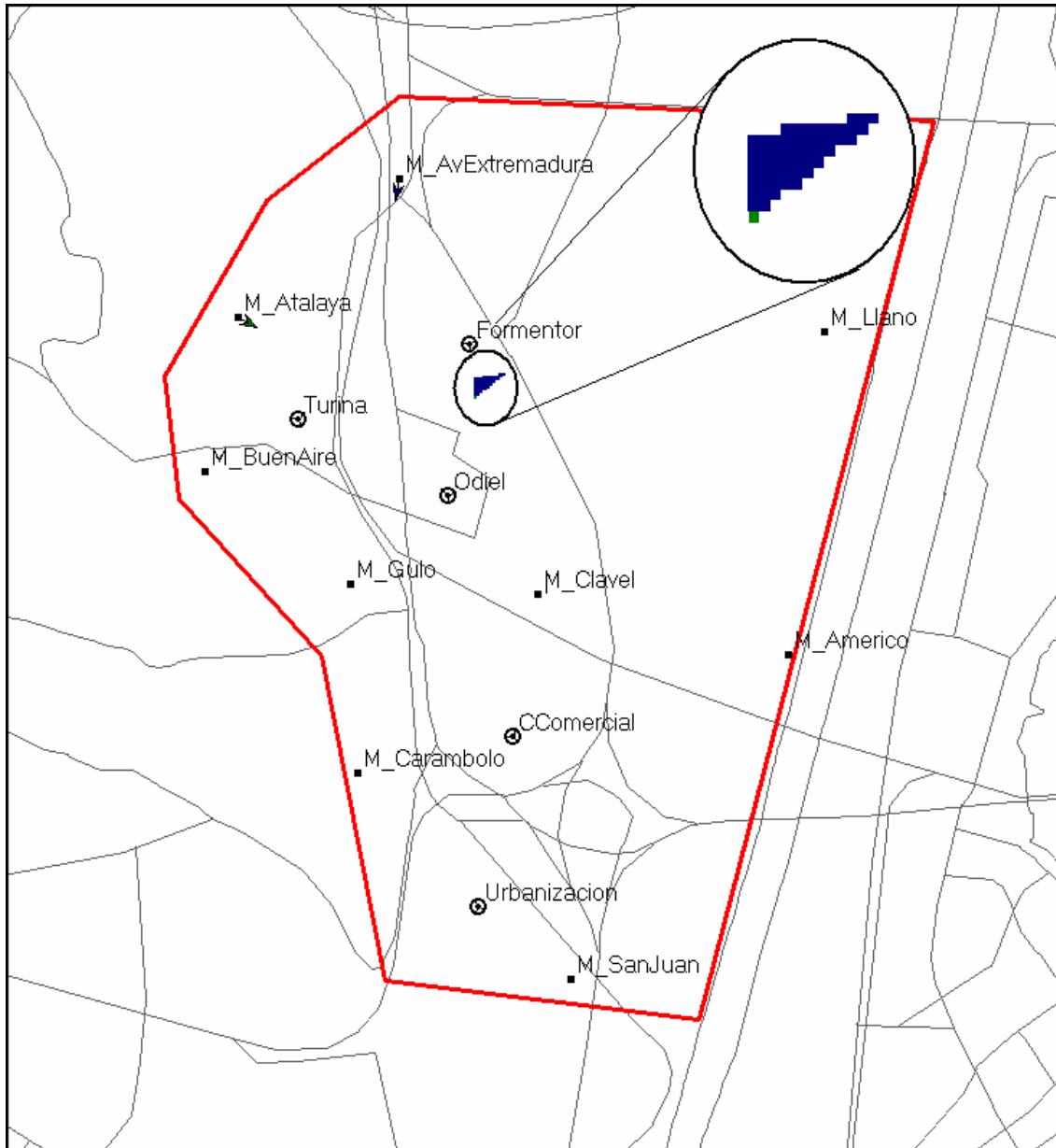


Figura 5.22 – Estudio de interferencia de canal adyacente en TRXs del tipo TCH

Para estudiar a qué transmisor corresponden las zonas interferidas, se lleva a cabo el siguiente estudio, donde cada zona con interferencia (no respetando los niveles máximos de C/I definidos) es coloreada con el color del transmisor al que corresponde.

**Figura 5.23 – Zonas con interferencia**

En la imagen anterior se puede comprobar lo que se afirmaba antes. Los TRXs interferidos pertenecen a microestaciones (*M_AvExtremadura* y *M_Atalaya*), y dichas zonas de interferencia se encuentran dentro del radio de servicio de otras estaciones además de estar lo suficientemente alejadas de dichas microestaciones. Por lo que dichas interferencias no conforman gravedad alguna.

5.5.4.3.2 – Estudios de cobertura GPRS/EDGE

El nivel de C/I presente en cada zona es el determinante a la hora de la elección, por parte del protocolo determinado, del esquema de codificación a

usar en transmisiones GPRS/EDGE (ver Capítulo 4). El siguiente estudio muestra un mapa de las zonas en las que la utilización de cada esquema de codificación sería posible.

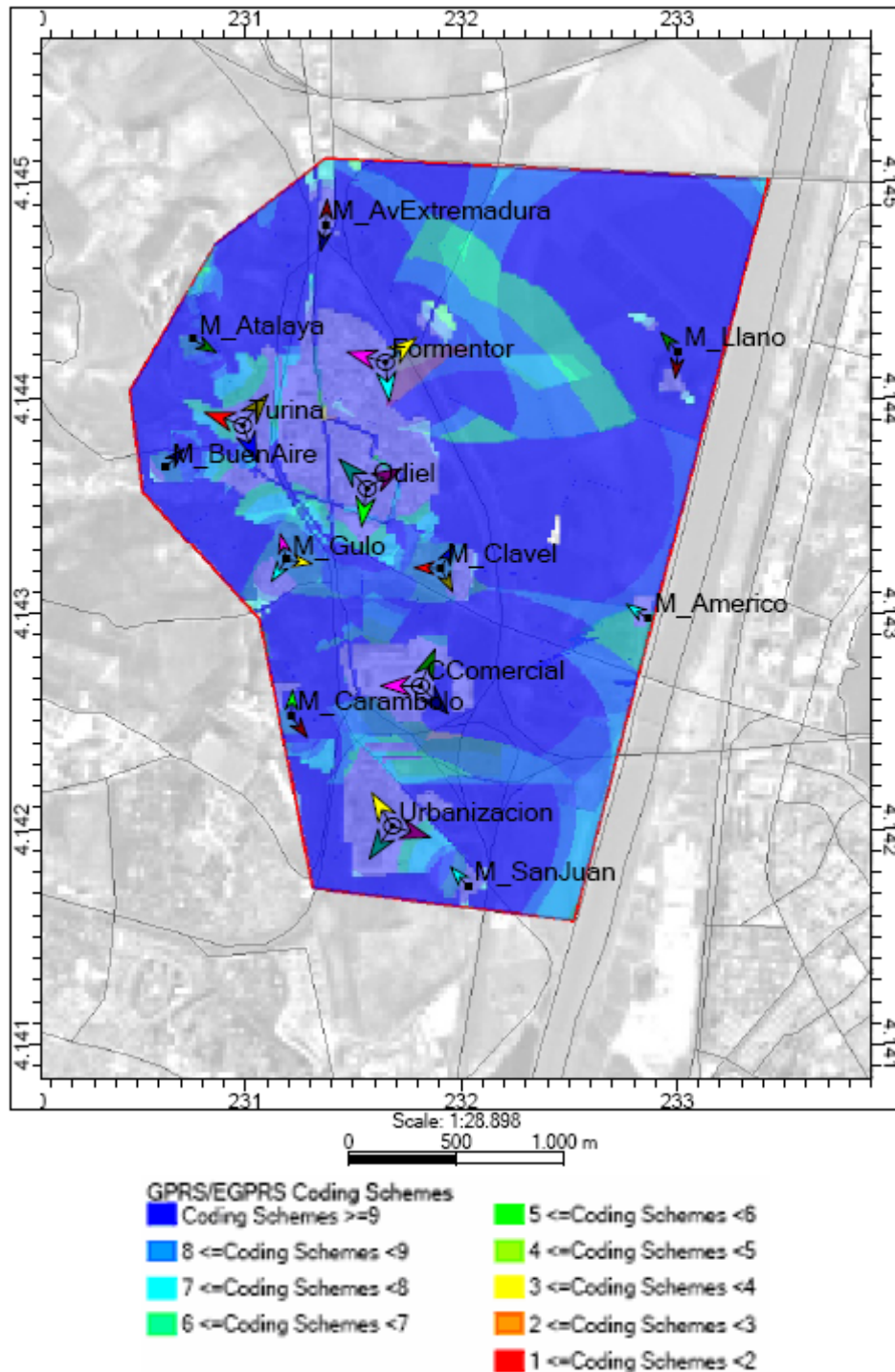


Figura 5.24 – Estudio de utilización de códigos de codificación GPRS/EDGE

Esta información puede ser vista, de forma más clara, a través de un histograma, donde el eje de abscisa se corresponde con los distintos esquemas

de codificación, y el eje de ordenadas con el porcentaje de la zona de interés donde es posible el uso de cada esquema de codificación.

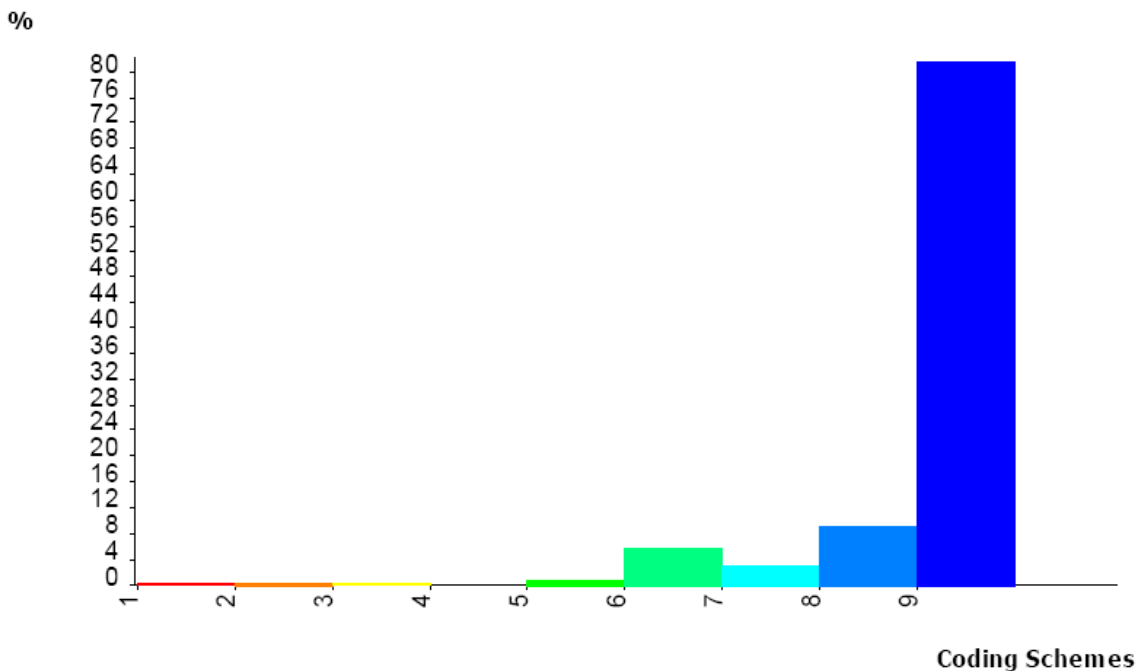


Figura 5.25 – Histograma de usos de los esquemas de codificación GPRS/EDGE

5.5.4.4 – Estudio de tráfico

Por último se va a realizar un estudio de tráfico teniendo en cuenta la relación C/I, la cual incide directamente en la elección del esquema de codificación EDGE a escoger en cada punto determinando la capacidad de absorción de tráfico de datos.

Sector	Tipo de TRX	Nº de TRXs	Carga (%)	Demanda de tráfico de voz (Erlangs)	Tráfico de voz servido (Erlangs)	Probabilidad de bloqueo de llamada (%)	Demanda de tráfico de paquetes (Kbps)	Tráfico de paquetes servido (Kbps)
CComercial_1	BCCH	1	8,29	0,58	0,58	0	6,2	6,2
CComercial_1	TCH	0						
CComercial_1	TCH_INNER	1	33,99	2,73	2,72	0,5	43,46	43,46
CComercial_2	BCCH	1	3,09	0,22	0,22	0	2,51	2,51
CComercial_2	TCH	0						

CComercial_2	TCH_INNER	1	22,4	1,79	1,79	0,04	29,94	29,94
CComercial_3	BCCH	1	0,44	0,03	0,03	0	0,37	0,37
CComercial_3	TCH	0						
CComercial_3	TCH_INNER	2	34,85	5,58	5,58	0,02	87,66	87,66
Formentor_1	BCCH	1	2,32	0,16	0,16	0	1,08	1,08
Formentor_1	TCH	0						
Formentor_1	TCH_INNER	1	7,56	0,6	0,6	0	5,69	5,69
Formentor_2	BCCH	1	12,44	0,87	0,87	0	14,77	14,77
Formentor_2	TCH	0						
Formentor_2	TCH_INNER	1	43,73	3,56	3,5	1,85	66,07	66,07
Formentor_3	BCCH	1	6,6	0,46	0,46	0	7,42	7,42
Formentor_3	TCH	0						
Formentor_3	TCH_INNER	2	37,23	5,96	5,96	0,03	110,13	110,13
Odiel_1	BCCH	1	7,57	0,53	0,53	0	6,59	6,59
Odiel_1	TCH	0						
Odiel_1	TCH_INNER	2	33,9	5,43	5,42	0,01	100,02	100,02
Odiel_2	BCCH	1	5,55	0,39	0,39	0	1,56	1,56
Odiel_2	TCH	0						
Odiel_2	TCH_INNER	1	37,85	3,06	3,03	0,89	41,71	41,71
Odiel_3	BCCH	1	6,39	0,45	0,45	0	7,67	7,67
Odiel_3	TCH	0						
Odiel_3	TCH_INNER	2	35,86	5,74	5,74	0,02	105,34	105,34
Turina_1	BCCH	1	4,06	0,28	0,28	0	3,75	3,75
Turina_1	TCH	0						
Turina_1	TCH_INNER	2	34,68	5,55	5,55	0,02	95,1	95,1
Turina_2	BCCH	1	2,18	0,15	0,15	0	0,17	0,17
Turina_2	TCH	0						
Turina_2	TCH_INNER	1	41,74	3,39	3,34	1,47	53,15	53,15
Turina_3	BCCH	1	0,55	0,04	0,04	0	0	0
Turina_3	TCH	0						
Turina_3	TCH_INNER	1	8,83	0,71	0,71	0	5,92	5,92
Urbanizacion_1	BCCH	1	2,51	0,18	0,18	0	3,5	3,5
Urbanizacion_1	TCH	0						
Urbanizacion_1	TCH_INNER	1	19,41	1,55	1,55	0,02	29,72	29,72
Urbanizacion_2	BCCH	1	0,32	0,02	0,02	0	0	0
Urbanizacion_2	TCH	0						
Urbanizacion_2	TCH_INNER	1	27,98	2,24	2,24	0,17	44,8	44,8
Urbanizacion_3	BCCH	1	7,89	0,55	0,55	0	5,61	5,61
Urbanizacion_3	TCH	0						
Urbanizacion_3	TCH_INNER	2	29,93	4,79	4,79	0	99,29	99,29
M_Americo_1	BCCH	1	17,86	1,25	1,25	0,03	13,54	13,54
M_Americo_1	TCH	0						
M_Atalaya_1	BCCH	1	62,59	6,88	6,86	0,29	78,71	78,71
M_Atalaya_1	TCH	1	62,59					
M_AvExtremadura_1	BCCH	1	23,25	1,63	1,63	0,12	39,37	39,37
M_AvExtremadura_1	TCH	0						
M_AvExtremadura_2	BCCH	1	31,56	2,22	2,21	0,58	12,14	12,14
M_AvExtremadura_2	TCH	0						
M_BuenAire_1	BCCH	1	61,26	6,72	6,7	0,24	89,55	89,55
M_BuenAire_1	TCH	1	61,26					
M_Carambolo_1	BCCH	1	36,07	2,55	2,52	1,1	39,75	39,75

M_Carambolo_1	TCH	0						
M_Carambolo_2	BCCH	1	43,04	4,67	4,67	0,01	64,04	64,04
M_Carambolo_2	TCH	1	43,04					
M_Clavel_1	BCCH	1	31	3,48	3,48	0	49,12	49,12
M_Clavel_1	TCH	1	31					
M_Clavel_2	BCCH	1	26,16	3,09	3,09	0	36,28	36,28
M_Clavel_2	TCH	1	26,16					
M_Clavel_3	BCCH	1	37,91	3,81	3,81	0	67,7	67,7
M_Clavel_3	TCH	1	37,91					
M_Gulo_1	BCCH	1	38,99	2,77	2,73	1,57	52,69	52,69
M_Gulo_1	TCH	0						
M_Gulo_2	BCCH	1	27,75	1,95	1,94	0,3	36,69	36,69
M_Gulo_2	TCH	0						
M_Gulo_3	BCCH	1	60,1	6,32	6,31	0,14	93,85	93,85
M_Gulo_3	TCH	1	60,1					
M_Llano_1	BCCH	1	13,21	0,92	0,92	0	0	0
M_Llano_1	TCH	0						
M_Llano_2	BCCH	1	19,01	1,33	1,33	0,04	0	0
M_Llano_2	TCH	0						
M_SanJuan_1	BCCH	1	59,2	6,02	6,01	0,09	106,19	106,19
M_SanJuan_1	TCH	1	59,2					

Tabla 5.41 – Distribución de TRXs y tráfico por sector

Se observa que para todo TRX se mantienen los requisitos de calidad en referencia a probabilidad de bloqueo (no se supera el valor de 0.2) y carga (inferior al 80%).