

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Proyecto Fin de Carrera

Planificación de extensión de cobertura radioeléctrica del sistema de GSM mediante repetidores



AUTOR: Rosa M^a González Conesa
DIRECTOR: Leandro Juan Llácer
Julio / 2008



Autor	Rosa M ^a González Conesa
E-mail del Autor	ro_gc@hotmail.com
Director(es)	Leandro Juan Llácer
E-mail del Director	leandro.juan@upct.es
Codirector(es)	
Título del PFC	Planificación de extensión de cobertura radioeléctrica del sistema de GSM mediante repetidores
Descriptor(es)	GSM, repetidor, cobertura.
Resumen	
<p>En la planificación de un sistema celular como el GSM juega un papel fundamental el cálculo de cobertura radioeléctrica y de capacidad. La cobertura radioeléctrica (fijada por los equipos y las condiciones de propagación del entorno) y la cobertura de capacidad (fijada por el tráfico) pueden evaluarse de forma independiente (no sucede así en un sistema como el UMTS donde las máximas pérdidas a compensar dependen del número de usuarios a los que el sistema esté dando servicio, efecto respiración). Básicamente, los parámetros de calidad para cobertura radioeléctrica vienen fijados por el tanto por ciento de ubicaciones que superan un cierto umbral de potencia recibida, y para cobertura de capacidad, por la probabilidad de bloqueo del sistema.</p> <p>En determinadas ocasiones un sistema GSM concreto puede tener problemas de cobertura radioeléctrica, pero no de capacidad; es decir, pueden existir zonas geográficas de sombra de cobertura (radioeléctrica túneles, interiores de edificios, zonas montañosas, etc.) que pueden cubrirse mediante repetidores sin necesidad de utilizar canales adicionales. Estos repetidores, resultan más económicos y son de dimensiones más reducidas que una estación base convencional.</p>	
Titulación	Ingeniero de Telecomunicación, Especialidad Telemática
Departamento	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)
Fecha de Presentación	Julio - 2008

Agradecimientos

Quisiera agradecer, en primer lugar, a mi director de proyecto, **D. Leandro Juan Llácer**, la confianza depositada en mí y el interés puesto en este proyecto, así como la paciencia y disposición prestadas a lo largo del desarrollo del mismo.

A mis **compañeros** de laboratorio la ayuda prestada durante mi estancia en el SICOMO.

Quiero agradecer a mi **familia**, en especial a mis padres, la confianza que han depositado en mí y que siempre hayan apoyado y respetado todas mis decisiones.

Por último, agradecer a **todos mis amigos**, los que me han acompañado en estos años de carrera y a los que lo siguen haciendo. Gracias por vuestro apoyo, por vuestros consejos y por todos los momentos vividos a vuestro lado.

Índice

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

- 2.1. Objetivo
- 2.2. Contenido

2. RADIOGIS y los Sistemas de Información Geográfica

- 2.1. Introducción
- 2.2. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)
 - 2.2.1. ¿QUÉ ES UN SIG?
 - 2.2.2. FUNCIONES DE UN SIG
 - 2.2.3. TIPOS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: ESPACIAL Y DESCRIPTIVA
 - 2.2.4. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ARCGIS DE ESRI
 - 2.2.4.1. *Introducción*
 - 2.2.4.2. *ArcGis Desktop*
 - 2.2.4.3. *ArcMap*
- 2.3. Radiogis
 - 2.3.1. GESTIÓN DE BASES DE DATOS
 - 2.3.2. CÁLCULO DE COBERTURAS Y PORCENTAJES

3. EL SISTEMA GSM

- 2.1. Introducción
- 2.2. Arquitectura de Red
 - 2.2.1. LA ESTACIÓN MÓVIL (MS)
 - 2.2.1.1. *Tarjeta SIM*
 - 2.2.1.2. *Mobile Equipment*
 - 2.2.2. EL SUBSISTEMA DE ESTACIÓN BASE (BSS)
 - 2.2.2.1. *Base Transceiver Station (BTS)*
 - 2.2.2.2. *Base Station Controller (BSC)*
 - 2.2.3. EL SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN DE RED (NSS)
 - 2.2.3.1. *Mobile Services Switching Center*
 - 2.2.3.2. *Gateway MSC*
- 2.3. Interfaz Radio
 - 2.3.1. ESTRUCTURA
 - 2.3.2. CANALES FÍSICOS Y LÓGICOS

4. EQUIPAMIENTO GSM Y BALANCE DE ENLACES

2.1. Equipamiento

4.1.1. ESTACIÓN BASE (BTS)

4.1.2. REPETIDOR

4.1.3. TERMINAL MÓVIL

2.2. Balance de Enlaces

5. ESTUDIO DE LA COBERTURA RADIOELÉCTRICA

2.1. Modelo digital terrestre

2.2. Modelo de propagación

2.3. Porcentajes de cobertura

2.4. Emplazamientos de partida

2.5. Optimización de emplazamientos y obtención del sistema extensor de cobertura

6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Capítulo I

Introducción y Objetivos

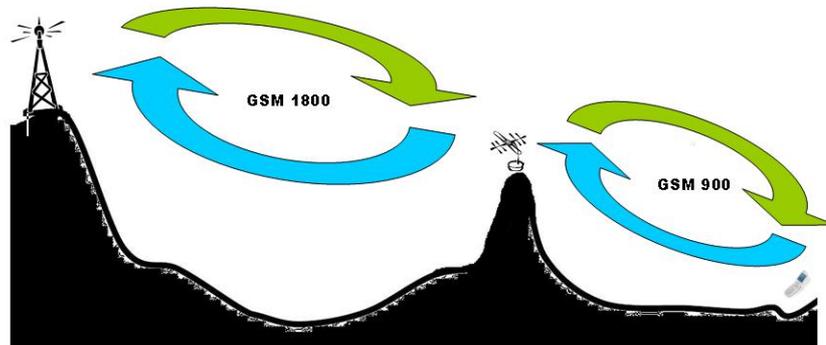
1.1. OBJETIVO

Como el título de este proyecto indica, el objetivo de este proyecto es plantear un procedimiento para la planificación eficiente de cobertura radioeléctrica de un sistema GSM mediante repetidores, atendiendo a unos parámetros de calidad determinados de porcentaje de cobertura local.

Como zona de estudio se elige la zona de Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila, un área litoral de la Región de Murcia que se ubica en la franja litoral que va desde Cala Reona y los cerros del Atalayón, situada en las proximidades al Oeste de Cabo de Palos, hasta la playa colmatada de restos mineros de Portmán. Este espacio encuentra sus límites septentrionales discurriendo paralelos al tramo de autovía entre Los Belones y Cabo de Palos por el Oeste, y alcanza la Peña del Águila y los relieves de La Primavera por el Este.

Está ocupado, en gran parte, por las formaciones montañosas que discurren paralelas al mar y que descienden suavemente por el Este hasta la zona más llana, en la depresión de las Salinas del Rasall. Estas formaciones montañosas son, en su mayoría, las responsables de difracciones, reflexiones y demás fenómenos de propagación de las ondas electromagnéticas que dificultan la buena cobertura radioeléctrica del sistema GSM en la zona.

El sistema de extensión de cobertura que se propone constará de una estación base que proporcionará la cobertura inicial GSM a un terminal móvil, entre ambos habrá un repetidor que proporcione la cobertura GSM extendida, objetivo de este proyecto.



1.2. CONTENIDO

Este proyecto final de carrera está compuesto por siete capítulos.

El **capítulo segundo**, hace una descripción de los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS). Primeramente se describe qué son los SIG y para qué se emplean. A continuación se pasa a describir el SIG que emplea la herramienta que se va a utilizar, ArcGIS, con sus principales componentes y funcionalidades. Por último, se describe la herramienta RADIOGIS desarrollado por el grupo de investigación SiCoMo de la UPCT, con la que se ha trabajado durante todo el proyecto.

En el **tercer capítulo**, se hace una breve descripción de GSM para después pasar a describir la arquitectura de una red GSM. También se analiza la interfaz radio GSM y cómo se reparten los canales tanto en frecuencia como en el tiempo, para la comunicación en GSM.

El **capítulo cuarto**, versa sobre el equipamiento GSM que compondrá el sistema de extensión de cobertura y los balances de enlaces que han sido necesarios realizar para obtener los parámetros necesarios para el posterior cálculo de coberturas.

El **capítulo quinto**, describe cómo se ha planificado el sistema extensor de cobertura radioeléctrica mediante repetidores. Primeramente se presenta el modelo digital terrestre que se va a utilizar así como el modelo de propagación. A continuación se pasa a describir el problema de cobertura que se tiene que solucionar para pasar a buscar los posibles emplazamientos para la colocación de los repetidores. Finalmente se describe el proceso de optimización seguido para seleccionar los emplazamientos que forman el sistema final.

En el **capítulo sexto**, se hace una breve exposición de las conclusiones derivadas de este proyecto y de cuáles podrían ser las líneas futuras de desarrollo en este campo.

Para finalizar, en el **capítulo séptimo**, se recogen las principales referencias bibliográficas empleadas en el desarrollo de este proyecto.

Capítulo II

RADIOGIS

2.1. Introducción

RADIOGIS es una herramienta para el cálculo y gestión de coberturas radioeléctricas desarrollado en el grupo de investigación Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo) de la Universidad Politécnica de Cartagena. Esta herramienta está basada en el GIS ArcView de ESRI y, por tanto, entre otras funcionalidades, es capaz de almacenar las coberturas radioeléctricas como si de un mapa más se tratase, además de facilitar la creación, almacenamiento y gestión de todos los parámetros que intervienen en la planificación de sistemas de radiocomunicación. Esta herramienta se ha implementando en entorno PC bajo WINDOWS. El lenguaje de programación que se utiliza es Visual Basic sobre el Sistema de Información Geográfica Arcview 9.1, empleando programas en C++ para implementar los modelos de propagación para el cálculo de cobertura radioeléctrica. En la figura 4.15 puede verse el aspecto general de RADIOGIS.

2.2. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

2.2.1. ¿QUÉ ES UN SIG?

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés) es una colección organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. Que la información esté geográficamente referenciada implica que las coordenadas de todos los elementos gráficos son conocidas bajo un sistema de referencia conocido.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

El Sistema de Información Geográfica separa la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

2.2.2. FUNCIONES DE UN SIG

Un SIG es, entre otras cosas, el *software* con unas específicas capacidades que se pueden resumir en:

Funciones para la entrada de información. Son los procedimientos que permiten por ejemplo convertir la información geográfica impresa en formato digital. Esta conversión debe realizarse manteniendo las características iniciales de los datos. Por ello, a parte de los mecanismos de entrada (digitalización o similares), se deben incluir los procedimientos que

permiten eliminar o corregir errores en la información incorporada al Sistema de Información Geográfica.

Funciones para la representación gráfica y cartográfica de la información. Sirven para mostrar al usuario la información almacenada producto de la entrada de datos o de operaciones realizados sobre ellos. Permiten obtener mapas, gráficos, ficheros de texto y otro tipo de resultado en diferentes soportes: papel, pantallas gráficas u otros.

Funciones de gestión de la información. Por medio de ellas es posible extraer de la base de datos y reorganizar la información que interese en cada momento.

Funciones analíticas. Facilitan el procesamiento de la información integrada en el Sistema de Información Geográfica. De alguna forma convierten al SIG en un sistema apropiado para realizar simulaciones en el área de aplicación en el que se utilice.

2.2.3. TIPOS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: ESPACIAL Y DESCRIPTIVA

Los Sistemas de Información Geográfica manejan dos tipos de información principalmente: la información espacial o geográfica y la información descriptiva. A su vez, la información geográfica se puede almacenar de dos formas: empleando formato raster o formato vectorial.

La información espacial o información geográfica, es la que describe la localización y la forma de diversas características geográficas (orografía, vías de comunicación, ríos, etc.). Esta información se puede almacenar en dos formatos: tipo raster o tipo vectorial.

– El formato raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Cuanto mayores sean las dimensiones de las celdas (resolución) menor es la precisión o detalle en la representación del espacio geográfico.

– En el caso del formato de datos vectorial, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio. Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres objetos espaciales: el punto, la línea y el polígono.

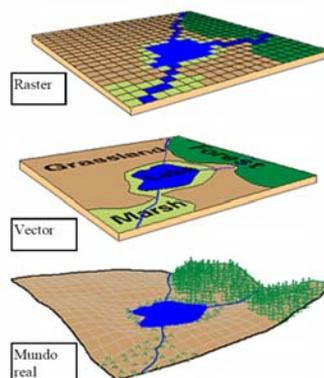


Figura 2.1. La geografía real (abajo); la información geográfica en formato vectorial (centro); y la información geográfica en formato raster (arriba).

La información descriptiva es aquella que proporciona información sobre la información geográfica (tipo de vía de comunicación, tipo de río, etc.), es decir, la describe. Esta información se almacena mediante tablas de atributos, las cuales relacionan la información geográfica con la descriptiva mediante un identificador.



Figura 2.2. Tabla de atributos (información descriptiva) asociada a un Raster (información geográfica).

Como se comentó anteriormente, en un SIG, se pueden trabajar con diversas capas simultáneamente, describiendo cada una de ellas información geográfica asociada a tablas de atributos.

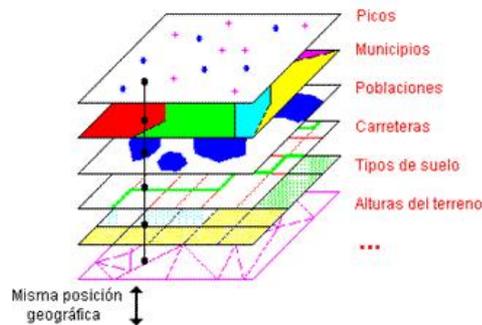


Figura 2.3. Diferentes capas que representan diferentes características geográficas.

Un mapa es el método más común para representar información espacial y descriptiva.

2.2.4. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ARCGIS DE ESRI

2.2.4.1. Introducción

ArcGIS es un producto de ESRI que proporciona un marco general para implementar Sistemas de Información Geográfica para uno o varios usuarios en ordenadores, servidores, Internet, etc. ArcGIS es una colección

integrada de software GIS para construir un Sistema de Información Geográfica completo. Se compone de cuatro partes:

ArcGIS Desktop: una suite integrada para aplicaciones GIS profesionales.

ArcGIS Engine: componentes integrados (embebidos) para aplicaciones personalizadas (customizadas)

Server GIS: como su propio nombre indica, es un servidor de GIS.

Mobile GIS: aplicaciones anteriores adaptadas a Tablet PC.

ArcGIS está basado en ArcObjects™, una librería modular común que comparten todos los componentes software del GIS. Incluye una amplia variedad de componentes programables, que van desde objetos como geometrías individuales, hasta mapas enteros que interactúan con documentos ArcMap. Los desarrolladores de GIS tienen a su disposición la librería ArcObjects para crear plataformas alternativas de software GIS, basándose en los cuatro productos anteriores. En la figura 2.4 se pueden ver más detalladamente todos estos productos.

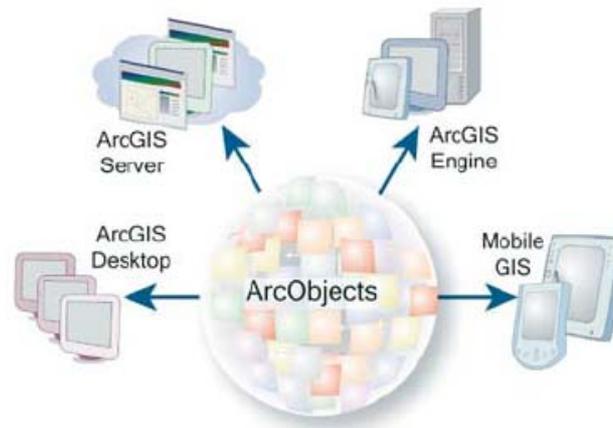


Figura 2.4. ArcObjects es una librería común para los cuatro componentes ArcGIS.

2.2.4.2. *ArcGis Desktop*

ArcGIS Desktop incluye una suite de aplicaciones integradas: ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe y ArcToolbox. Usando estas aplicaciones e interfaces en conjunto, se puede ejecutar cualquier tarea GIS por simple o avanzada que ésta sea, incluyendo mapeo, análisis geográfico, edición y compilación de datos, visualización y geoprocésamiento.

ArcGIS tiene varios niveles, en función de las necesidades del usuario:

ArcView. es el nivel más bajo, enfocado a uso comprensivo de los datos, mapeo, y análisis de datos.

ArcEditor: incluye capacidades para de edición de datos para archivos shapefile y geodatabases además de la completa funcionalidad de Arcview.

ArcInfo: es el producto ArcGIS Desktop con completa funcionalidad. Incluye además de ArcView y ArcEditor, funcionalidades para geoprocresamiento avanzado.

La herramienta empleada para el desarrollo de la herramienta que se va a utilizar en este proyecto, Radiogis, es ArcMap del nivel ArcView. Se detalla esta aplicación a continuación.

2.2.4.3. *ArcMap*

ArcMap es la aplicación central de ArcGIS Desktop para tareas basadas en mapas, incluyendo cartografía, análisis de mapas, y edición. La interfaz gráfica de este programa se muestra en la siguiente figura.

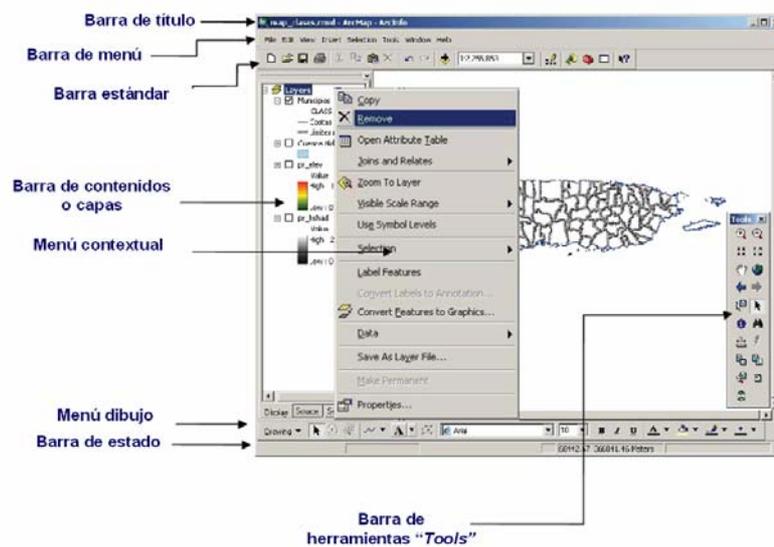


Figura 2.5. Interfaz gráfica de ArcMap.

El programa ofrece dos tipos de vistas de mapas: *Data View* y *Layout View*. La primera de ellas sirve para mostrar, hacer cambios, introducir datos, hacer búsquedas geográficas o en las tablas de atributos. Por otro lado, la vista *Layout View* es la interfaz gráfica que sirve para producir mapas y gráficas. En las figuras 2.6 y 2.7 se muestran respectivamente estas dos interfaces.

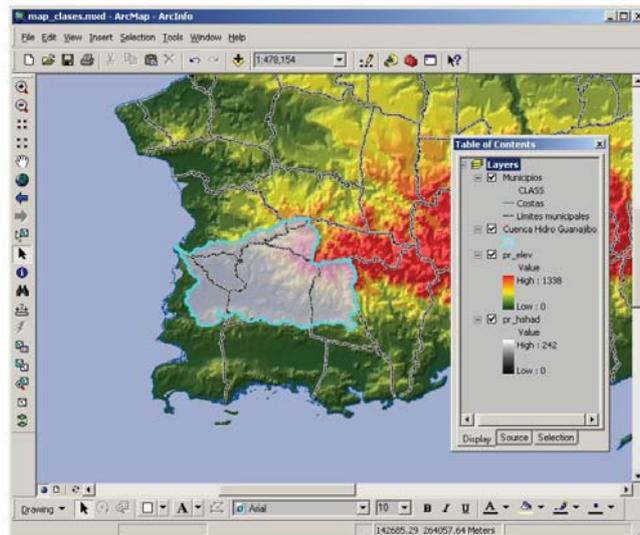


Figura 2.6. Interfaz Data View.

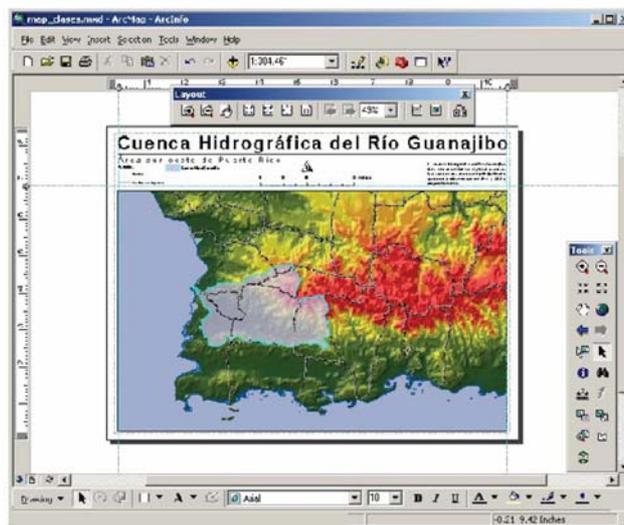


Figura 2.7. Interfaz Layout View.

ArcMap presenta varios tipos de información a la vez acerca de un área. Es decir, un mapa puede contener capas (figura 2.6) y a su vez, en cada capa se emplean símbolos para dibujar, los cuales se denominan *features*.

ArcMap ofrece varias formas de interactuar con mapas:

Exploración: visualizar y explorar mapas así como al relación entre las diferentes features en el mapa.

Análisis: crear nueva información añadiendo capas al mapa.

Presentación de resultados: permite imprimir mapas, añadirlos a documentos, etc. es decir, manipulación de mapas para su visualización en distintos formatos.

Personalización: Se pueden crear mapas que posean exactamente las herramientas que el usuario necesita, con el objetivo de hacer más rápido el trabajo. Se puede personalizar la interfaz de ArcMap añadiendo herramientas a las barras ya existentes o crear barras de herramientas propias.

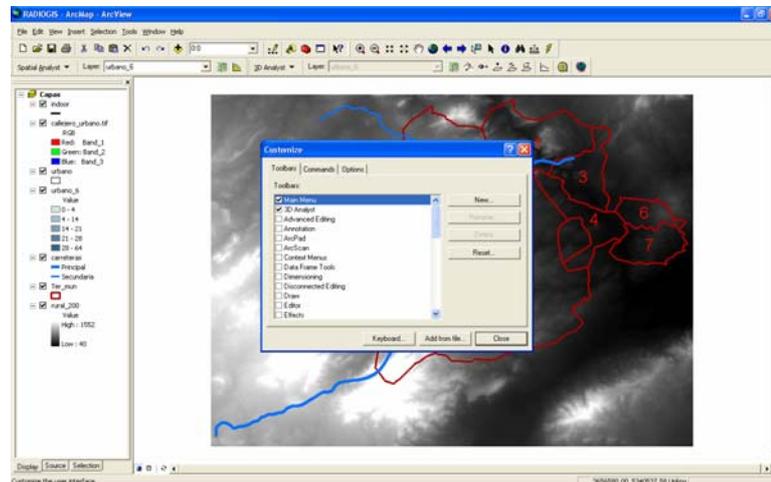


Figura 2.8. Adición de nuevas herramientas a ArcMap.

Programación: Se pueden construir interfaces completamente nuevas para interactuar con mapas y crear nuevos tipos de features.

2.3. Radiogis

RADIOGIS se integra en el sistema de información geográfica **ArcView 9** como una **barra de herramientas** más. En la figura 2.9 puede verse el aspecto general de la herramienta.

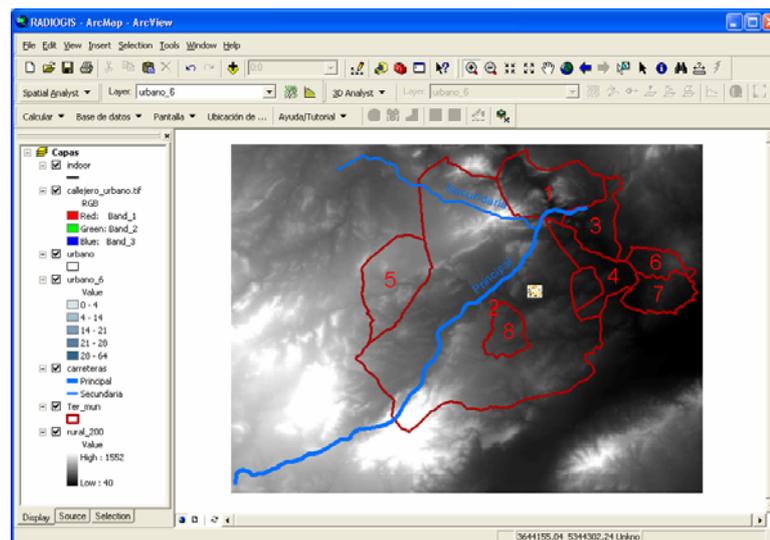


Figura 2.9. Aspecto general de RADIOGIS.

A continuación especificaremos sus características más importantes y que se han empleado en este proyecto.

2.3.1. GESTIÓN DE BASES DE DATOS

RADIOGIS incluye funciones de gestión de bases de datos de emplazamientos, coberturas radioeléctricas, sistemas de potencia, mejores servidores, cálculos de porcentajes de cobertura y campañas de medidas. En todas las bases de datos la herramienta introduce las opciones “definir”, “copiar” y “eliminar” además de algunas otras particulares para cada una de las bases de datos.

En el caso de la **base de datos de emplazamientos**, por cada emplazamiento que define el usuario, se genera una capa vectorial con su tabla de atributos asociada que contiene información relativa a la posición geográfica, etc.

La **base de datos de coberturas radioeléctricas**, que se muestra en la figura 2.10, contiene registros con las distintas coberturas radioeléctricas calculadas y almacenadas. Cada cobertura radioeléctrica tiene asociada una estructura de tipo raster donde se almacenan los valores de potencia para cada una de las celdas de la zona donde se ha calculado la cobertura y una estructura de tipo vectorial (figura 2.11) cuya tabla de atributos contiene información relativa a los parámetros que se han utilizado durante la simulación (PIRE, Sensibilidad del receptor, frecuencia, diagrama de radiación de las antenas, orientación del diagrama, modelo de propagación, etc.

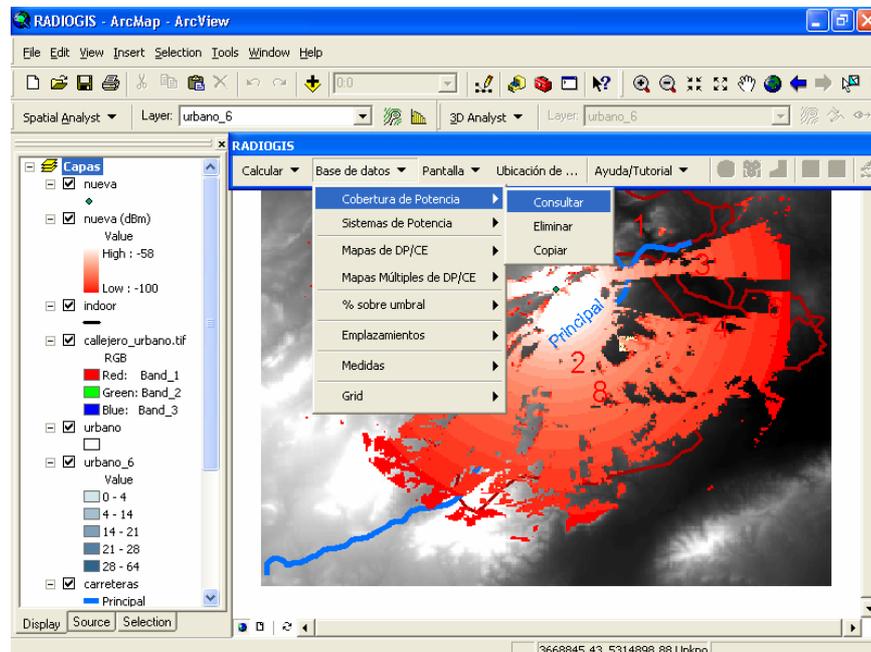


Figura 2.10. Cobertura consultada en base de datos de coberturas.

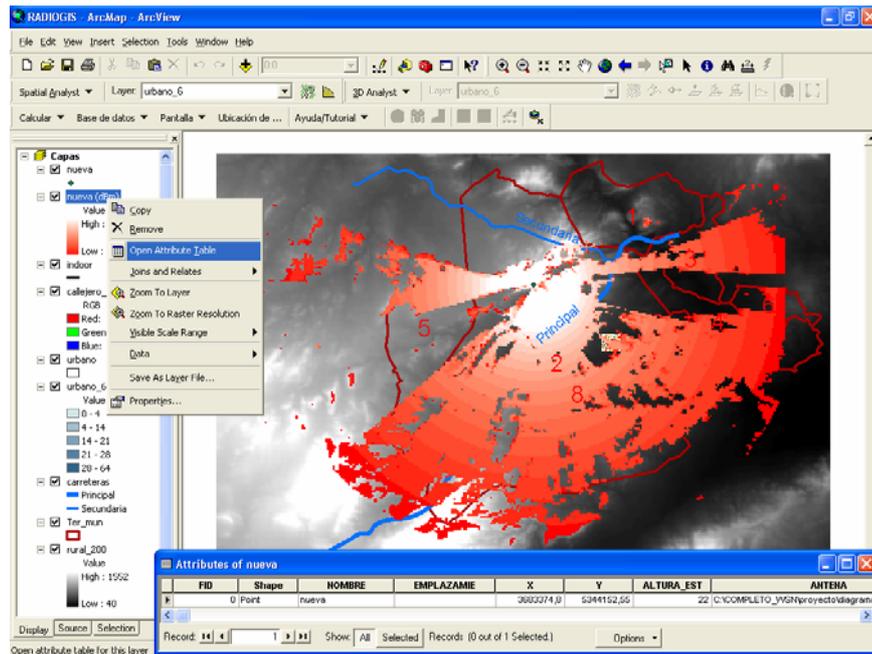


Figura 2.11. Tabla de atributos que almacena los parámetros con los que se almacenó la cobertura.

La **base de datos de sistemas de potencia** tiene una estructura semejante a la base de datos de coberturas. Por un lado disponemos de un *raster* donde se almacenan los valores de potencia y por otro lado las capas vectoriales correspondientes a cada una de las coberturas que intervienen en el sistema, cuyas tablas de atributos contienen los parámetros que se han utilizado durante el cálculo de cada cobertura individual. En la siguiente figura se muestra un sistema de potencia consultado en esta base de datos.

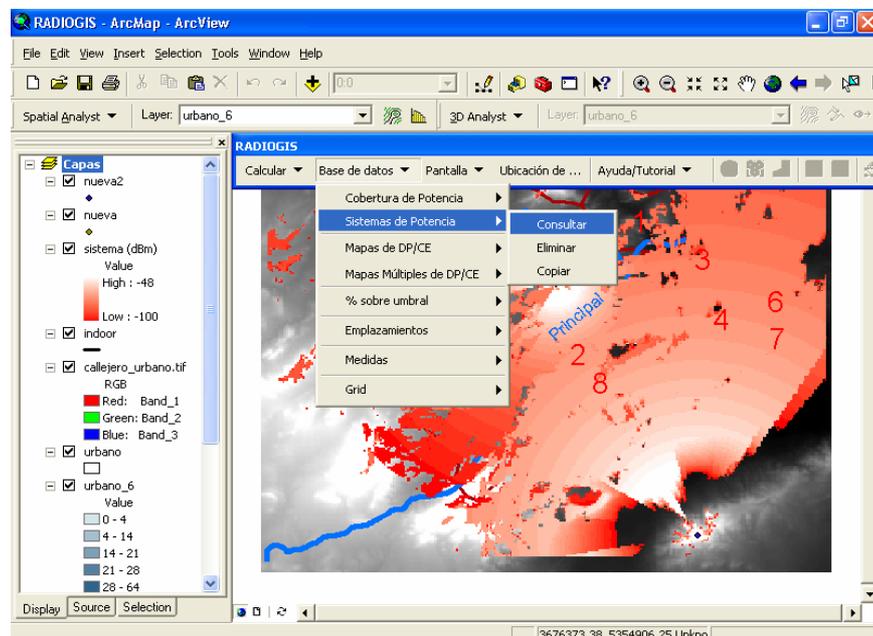


Figura 2.12. Sistema de potencia consultado en base de datos de sistemas.

Al igual que para coberturas de potencia, existen una **base de datos de densidad de potencia** y otra **base de datos de mapas múltiples de densidad de potencia**. Ambas tienen la misma estructura y las mismas opciones que las coberturas simples y los sistemas de cobertura de potencia, respectivamente.

En la siguiente figura se muestra la **base de datos de porcentajes**, la cual dispone de un registro de los cálculos que el usuario realice para determinar el grado (porcentaje) de cobertura que se dispone en una determinada zona (término municipal, carretera nacional, círculo, etc). Cada mapa de porcentaje es un *raster* en el que los valores posibles de las celdas son 1 si hay cobertura o 0 si no hay cobertura. Además de este *raster*, cada porcentaje tiene asociado diversas gráficas obtenidas a partir de los resultados calculados.

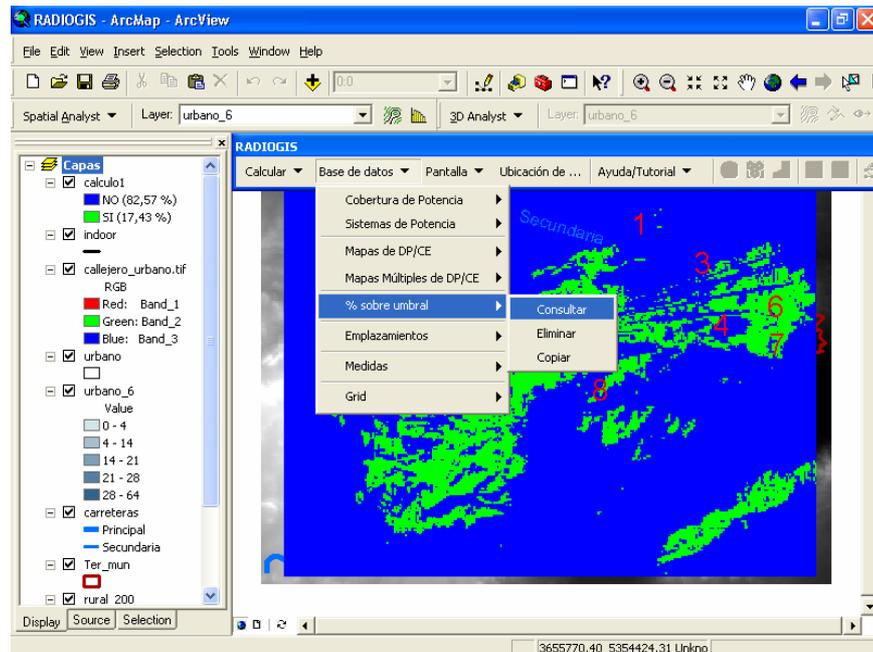


Figura 2.13. %Sobre umbral consultado en su base de datos.

Por último, cabe indicar que RADIOGIS también dispone de una **base de datos de medidas**, la cual se puede ver en la figura 2.14, y cuyos registros se guardan en formato de ficheros con extensión .dbf importables y editables desde la herramienta. La consulta de estas campañas de medida permite al usuario tener una visión espacial del trayecto recorrido durante la elaboración de la campaña, así como los valores de potencia, pérdidas, etc. en cada punto de medida.

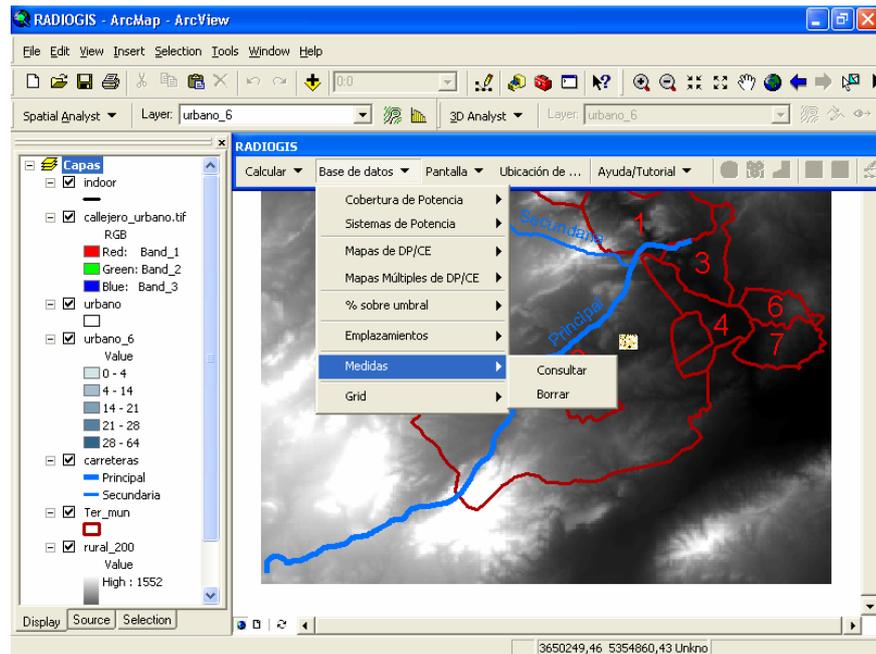


Figura 2.14. Base de datos de medidas.

2.3.2. CÁLCULO DE COBERTURAS Y PORCENTAJES

Otra de las funciones importantes que presenta RADIOGIS es la realización de cálculos radioeléctricos. Se han implementado, en lenguaje C++, además del modelo de espacio libre que puede ser utilizado tanto para entorno abierto como urbano, otros específicos para entorno urbano como los modelos de Okumura-Hata, Walfish-Bertoni y el COST-231 mientras que para entorno abierto se dispone de los modelos UITR-526 y Meeks. En entorno *indoor*, se ha implementado un modelo basado en trazado de rayos, el cual no se ha empleado en el desarrollo de este proyecto. De esta forma, la herramienta permite realizar cálculos de coberturas individuales de potencia o campo eléctrico individuales, de coberturas múltiple de potencia o de campo eléctrico y de porcentajes de cobertura en una zona (polígono, línea, termino municipal, etc).

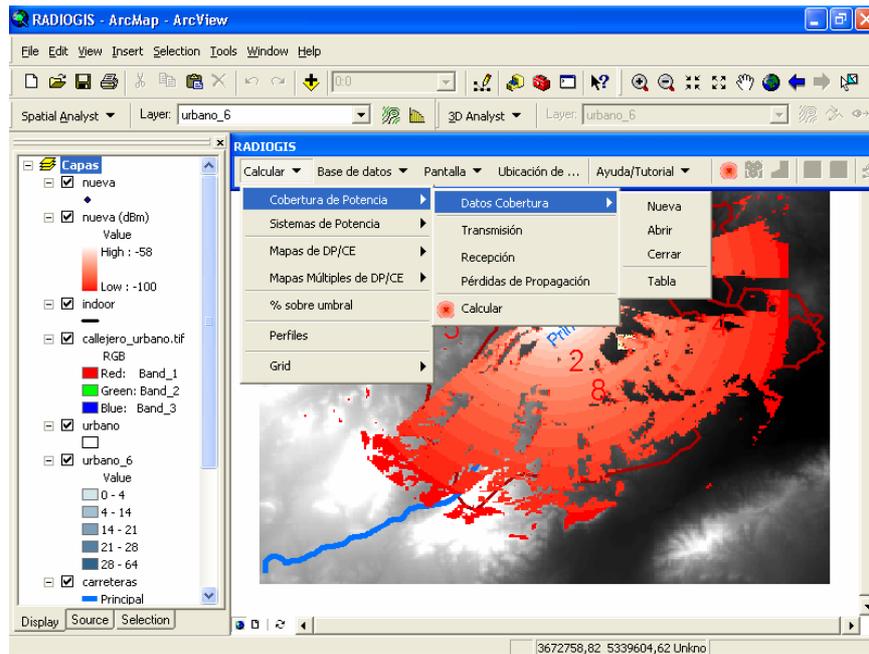


Figura 2.15. Menú Calcular y cálculo de coberturas radioeléctricas.

Una vez se ha calculado una cobertura o un sistema de potencia, se pueden calcular mapas de porcentajes de cobertura mediante el menú calcular % sobre umbral. Seleccionando la capa vectorial o el nombre de la cobertura deseada, e introduciendo un umbral de potencia, RADIOGIS crea un mapa donde se indican las zonas con cobertura y las que no.

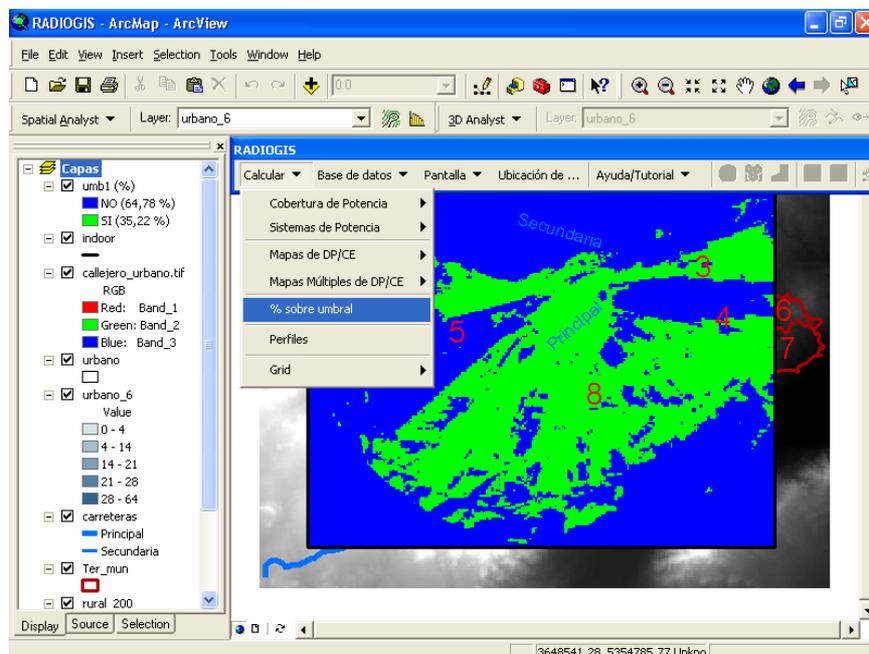


Figura 2.16. Cálculo del % sobre umbral.

Capítulo III

El Sistema GSM

3.1. INTRODUCCIÓN

El sistema de extensión de cobertura constará de una estación base que proporcionará la cobertura inicial GSM a un terminal móvil, entre ambos habrá un repetidor que proporcione la cobertura GSM extendida, objetivo de este

3.2. ARQUITECTURA DE RED

La arquitectura de una red GSM se compone, principalmente, de tres bloques:

- La estación móvil, MS (Mobile Station).
- El subsistema de Estación Base, BSS (Base Station Subsystem).
- El subsistema de conmutación de red, NSS (Network Station Subsystem).

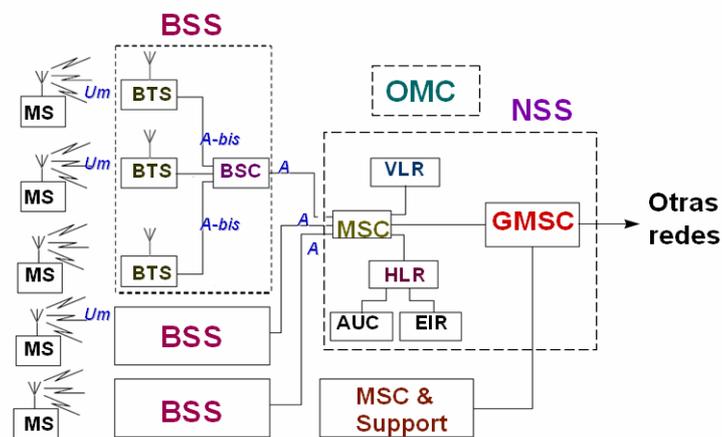


Figura 3.1. Arquitectura de red GSM.

3.2.1. LA ESTACIÓN MÓVIL

La Estación Móvil (MS), está formada por la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) y por el Equipamiento Móvil, ME (Mobile Equipment), que es el terminal GSM en sí.

3.2.1.1. Tarjeta SIM

La tarjeta SIM es una pequeña tarjeta que posee una memoria y un microprocesador, permitiendo identificar al cliente independientemente del terminal que se esté usando. La principal tarea de la tarjeta SIM es almacenar datos. No sólo guarda información del usuario, sino también otros datos necesarios para el funcionamiento del equipo como puede ser el IMSI (Internacional Mobile Subscriber Identity), que se emplea para identificar al abonado en cualquier red GSM.

Otros datos importantes que son guardados en la SIM son el código PIN (Personal Identification Number), que es requerido cada vez que el usuario enciende el teléfono y el código PUK (Personal Unblocking Key), que es necesario introducir cuando la SIM ha quedado bloqueada tras introducir tres

veces el número PIN incorrectamente; los procedimientos de criptografía que garantizan la confidencialidad de la información del usuario; y otros datos como por ejemplo la memoria de la agenda telefónica del usuario o memorias para los mensajes de texto (SMS).

3.2.1.2. Mobile Equipment

El Equipamiento Móvil es el equipo GSM en sí. Es identificable unívocamente en cualquier red GSM mediante un código internacional, el IMEI (Internacional Mobile Equipment Identity).

La manera más común de identificar los equipamientos móviles GSM es según la potencia máxima transmitida. Según este parámetro se establecen cinco clases según se observa en la siguiente tabla:

CLASE	POTENCIA MÁXIMA (W)
1	20
2	8
3	5
4	2
5	0.8

Tabla 3.1. Clases de equipamientos de usuario según la potencia máxima de salida

Cuando se implantó GSM, la clase más potente era la clase 1 con 20W de potencia de salida. Actualmente no se producen equipos con esta potencia de salida y ahora la más potente es la clase 2 con 8W aunque la potencia de salida en los modernos terminales tribanda y cuatribanda (que soportan DCS1800 y PCS1900) es bastante menor.

Las recomendaciones de GSM establecen qué funcionalidades son obligatorias y cuales son opcionales en los terminales. De entre las características obligatorias se encuentran la capacidad para soportar el servicio de mensajes cortos (SMS), el soporte de algoritmos de cifrado, soporte de llamadas de emergencia, incluso si la SIM no está insertada y características de visualización para los números marcados, los SMS, y la red PLMN (Public Land Mobile Network) disponible.

3.2.2. EL SUBSISTEMA DE ESTACIÓN BASE

El Subsistema de Estación Base, *Base Station Subsystem* (BSS), es el que controla la interfaz radio. Se compone de una o más BTS (Base Transceiver Station) y por una BSC (Base Station Controller), según se observa en la figura 3.1. El MS se comunica vía aire con el BSS a través de la interfaz Um, mientras que la BTS y el BSC se comunican por la interfaz estandarizada tipo A-bis, con la finalidad de permitir operaciones entre equipos de distintos fabricantes.

3.2.2.1. Base Transceiver Station

El BSS o Estación Base es el elemento que proporciona la conexión física entre el terminal (MS) y la red GSM, a través de la interfaz radio. Aloja todos los receptores y transmisores que sirven una celda y que están disponibles para recibir y enviar información al canal radio. El BTS ejerce, entre otras, las siguientes funciones:

- Capacidad de gestionar canales Full Rate (16 kbps) y Half Rate (8 kbps).
- Gestión de la Diversidad de Antena, esto es, la utilización de dos antenas de recepción para mejorar la calidad de la señal recibida ya que aunque una se encuentre afectada por algún tipo de desvanecimiento, la otra posibilidad de que la otra se encuentre afectada es muy pequeña.
- Supervisión de la Relación de Onda Estacionaria en la antena.
- Cambio de la frecuencia usada en un canal radio a intervalos irregulares, con el fin de mejorar la calidad de servicio a través de las distintas frecuencias. Esta función se denomina como Frequency Hopping.
- Control Dinámico de Potencia del MS y la BTS: el BSC determina la potencia óptima con la que el MS y la BTS deben transmitir sobre el canal radio para mejorar la eficiencia espectral.
- Gestión de los algoritmos de clave: la información de los usuarios se encripta para garantizar al cliente discreción sobre el canal de tráfico y el de señalización. El proceso de criptografía de los datos debe ser realizado por la BTS sobre las informaciones transmitidas al canal radio. El algoritmo de criptografía que debe usarse lo comunica la BSC a la BTS en base a las indicaciones recibidas por la MSC (elemento que se detallará más en el apartado 2.3 de este capítulo) y la clave es única para cada usuario.
- Monitorización de la conexión radio realizando medidas significativas sobre señales de RF, las cuales son enviadas luego a la BSC con el fin de asegurar un elevado nivel de calidad de conversación.

Existen tres configuraciones principales para las Estaciones Base, según se muestra en la siguiente figura:

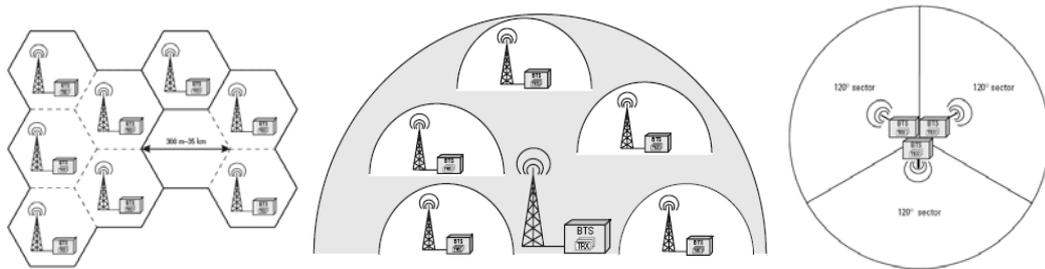


Figura 3.2. Configuraciones de la BTS: estándar, a la izquierda; en forma de “paraguas”, centro; y sectorizada, a la derecha

La configuración estándar es la más habitual. Cada BTS posee una identidad de celda única y un número determinado de BTS forman un área de localización (en la figura 3.2 se muestra con cinco, tres y una BTS). Sin embargo, esta implementación no es muy apropiada para zonas urbanas con densidad de tráfico.

En la configuración en “paraguas” consiste en una BTS de una alta potencia de transmisión que sirve de “paraguas” para un número de BTS con una baja potencia de transmisión y de un pequeño diámetro.

Esta configuración aunque parezca no tener mucho sentido, es muy útil, por ejemplo, en casos de usuarios que circulan en vehículos a alta velocidad por lo que esta continuamente haciendo handover. Con esta configuración se consigue que no se degrade tanto la calidad de la señal.

Por último, en la configuración sectorizada las BTS se colocan en un mismo lugar pero sus antenas cubren sólo un área de 120 o 180 grados. Esta configuración se suele implementar con transmisores de baja potencia y se suele emplear para áreas muy pobladas. Una de las ventajas de esta configuración es que permite un patrón de reutilización de frecuencias menor.

3.2.2.2. Base Station Controller

El Controlador de Estación Base, BSC, controla los recursos radio para una o más BTS, monitorizando la conexión entre las Estaciones Base y las MSC por medio de la interfaces A y A-bis, como se muestra en la figura 3.1. Además gestiona los canales radio, la señal, el frequency hopping y los handover.

En particular realiza funciones como:

Gestión y configuración del canal radio: para cada llamada elige la celda correcta y una vez seleccionada ésta, selecciona el canal radio más apto para efectuar la conexión.

Gestión del handover: en función de las medidas recibidas por la Estación Base, decide cuándo realizar el handover, es decir, el cambio de celda cuando el usuario se desplaza durante la conversación dentro del área de cobertura de su competencia.

Funciones de transcodificación de los canales radio Full Rate (16 kbps) y Half Rate (8 kbps) en canales a 64 kbps.

3.2.3. EL SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN DE RED

El subsistema de conmutación de red, *Network Switching Subsystem* (NSS), juega el papel central de la red móvil. Se comunica con el Base Station Subsystem por medio de la interfaz estandarizada A. El NSS realiza todas las funciones de control y de base de datos requeridas para la identificación de los terminales, la actualización de su posición, la autenticación, la encriptación y la conducción de las llamadas de un usuario en roaming.

Para realizar todas estas funciones, se sirve de los siguientes elementos que se detallan a continuación.

- MSC (Mobile Switching Center), Centro Móvil de Conmutación.
- GMSC (Gateway MSC).
- HLR (Home Location Register), Registro de Localización Local.
- VLR (Visitor Location Register), Registro de Localización de Visitantes.
- AUC (AUthentication Center), Centro de Autenticación.
- EIR (Equipment Identity Register), Registro de Identificación de Equipo.
- OMC (Operation And Maintenance Center), Centro de Operación y Mantenimiento.

La topología de red del NSS es más flexible que la estructura anteriormente descrita para el BSS. Varias MSC pueden, por ejemplo, usar un VLR común. Por otro lado, el uso de un EIR es opcional. En la figura 3.3 que se muestra a continuación, se observa una posible disposición de los elementos del NSS.

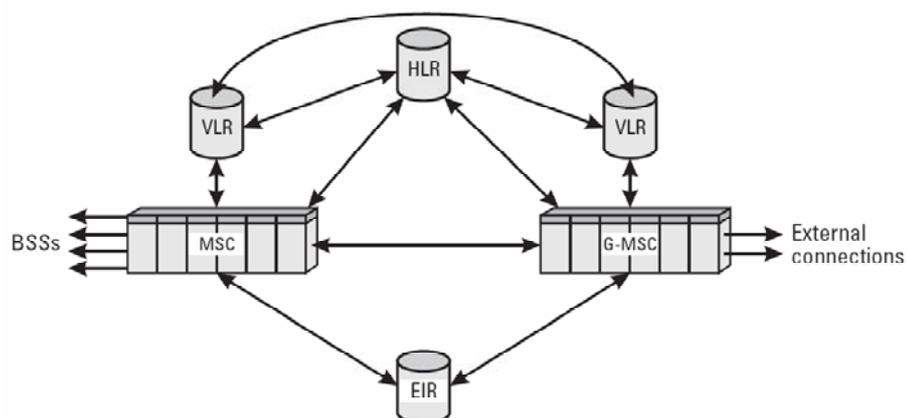


Figura 3.3. Posible distribución de los elementos del NSS.

3.2.3.1. Mobile Services Switching Center

El Mobile Services Switching Center (SMC) es el elemento central del NSS. Se ocupa, basándose en las informaciones recibidas desde el NLR y desde el VLR, de la conducción (routing) y gestión de la señal de todas las llamadas directas y provenientes desde varios tipos de redes. Implementa además las

funciones de gateway con los otros componentes del sistema y de gestión de los procesos de handover, conmutando las llamadas en curso entre BSC diferentes o hacia otro MSC.

Otras funciones fundamentales de los MSC se describen a continuación:

Autenticación de la MS que ha efectuado la llamada, que es necesaria para determinar si el usuario está habilitado para utilizar el servicio.

Confidencialidad acerca de la identidad del usuario. Para garantizar la confidencialidad acerca de la identidad de un usuario en el canal radio, aún estando ya todas las informaciones encriptadas, el sistema no transmite nunca el IMSI asignado cuando el usuario suscribe el abono; sin embargo se le asigna el Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), que se asigna en el momento de la llamada y tiene un significado temporal: crear la correspondencia entre TMSI e IMSI. Esta tarea corresponde al MSC y cuando el móvil cambia a un área de localización controlada por otro MSC, se le tiene que asignar un nuevo TMSI.

Proceso de handover: en la red GSM un usuario puede continuar utilizando el servicio aunque atravesase durante la conversación los límites de la celda en la que se encuentra. Existen dos situaciones de handover:

La estación móvil se traslada a una celda controlada por el mismo MSC que hasta ese momento controlaba su conexión. En este caso, el handover es gestionado por el mismo MSC.

La celda a la que se traslada la estación móvil está controlada por otro MSC. En este caso el proceso de handover es controlado desde dos MSC basándose en las medidas de la señal recibida por la MS, monitorizadas por la BTS.

3.2.3.2. Gateway MSC

El G-MSC es una interfaz con otras redes tal y como se muestra en la figura 3.4. Puede verse como una funcionalidad opcional y añadida a las que ya posee el MSC. Existe la posibilidad tanto de incorporar a la red todos los MSCs con funcionalidades gateway incluido o sólo unos pocos. Cualquier MSC que no posea funcionalidades de gateway ha de encaminar las llamadas a redes externas a través del G-MSC.

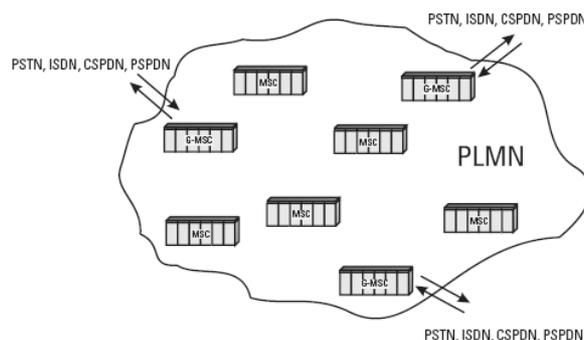


Figura 3.4. Gateway MSC en la Red Pública Móvil (PLMN).

El Gateway Mobile Switching Center se encarga, además, de tareas adicionales durante el establecimiento de una llamada móvil terminada en la red, que se originó en una red externa. La llamada ha de entrar a la PLMN a través del G-MSC, el cual con la información del HLR envía la información al MSC, que gestionará la llamada.

3.2.3.3. Home Location Register

El Home Location Register es una gran base de datos en donde se almacena que es específica de cada cliente. Contiene detalles como por ejemplo los servicios a los que puede acceder e información relacionada con la localización del abonado como detalles sobre el área del MSC dentro de la cual el abonado está actualmente registrado. Cualquier cliente de GSM posee una entrada en el HLR de la red en la que habitualmente se encuentre.

Cuando un usuario se abona a la red GSM, todas las informaciones para su identificación se memorizan en la HLR. El HLR puede ser único para toda la red GSM o bien puede estar distribuido en el sistema. Cuando existen más HLR, a cada uno de ellos se les asigna un área de numeración, es decir, un conjunto de Mobile Station ISDN Number (MSISDN).

Esta base de datos almacena todos los datos relativos a los abonados y en particular:

La International Mobile subscriber Identity (IMSI), que es la información que identifica al abonado dentro de una cualquiera de la red GSM y que está contenido también en el interior de la SIM.

El Mobile Station ISDN Number (MSISDN).

Los tipos de servicio suscritos por el abonado a los cuales tiene derecho a acceder (voz, servicio datos, SMS, eventuales bloqueos para llamadas internacionales, otros servicios auxiliares).

Posición corriente del MS, es decir la dirección del VLR en la que está registrada.

El estado de eventuales servicios auxiliares.

Para reducir la carga del HLR, se introduce el VLR (Visitor Location Register), que se describirá más adelante, para apoyar al HLR gestionando la mayoría de los requerimientos del abonado.

3.2.3.4. Visitor Location Register

El Visitor Location Register es una base de datos que memoriza temporalmente los datos de todos los abonados que se encuentran en el área geográfica que él controla. Los datos del abonado se piden al HLR del que el

abonado depende. En general, los fabricantes implementan el VLR y el MSC juntos, de modo que el área geográfica controlada por el MSC corresponde a la controlada por el VLR.

Como se muestra en la figura 3.5, varios MSC pueden depender de un mismo VLR.

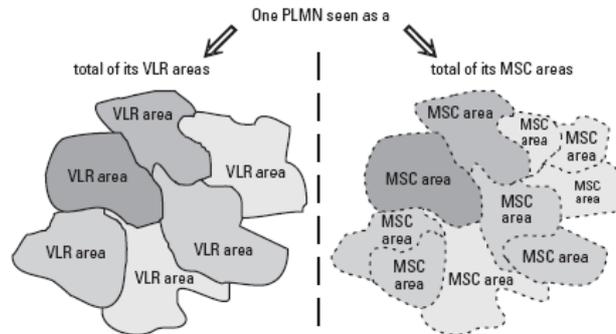


Figura 3.5. Gateway MSC en la Red Pública Móvil (PLMN).

De entre las informaciones que almacena se encuentran:

- El Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), que de detallará más adelante, usado para garantizar la seguridad del IMSI, se asigna cada vez que se cambia de área de localización.
- Estado de la MS: en espera, ocupado o apagado.
- Estado de los servicios suplementarios como llamada en espera, llamada en grupo, etc.
- Tipos de servicios a los que se permite acceder al abonado: voz, datos, SMS, y otros servicios auxiliares.
- El área de localización en la que se encuentra la estación móvil (MS) dentro de aquellas que controla el MSC-VLR.

3.2.3.5. Authentication Center

El Centro de Autenticación, AuC, se comunica únicamente con el HLR por lo que puede ser visto como una parte integral de éste. Se encarga de verificar si el servicio ha sido solicitado por un abonado legítimo proporcionando tanto los códigos para la autenticación como la clave y protegiendo tanto al abonado como al operador de red, de intrusiones del sistema por parte de terceros.

El mecanismo de autenticación verifica la legitimidad de la SIM sin transmitir sobre el canal radio las informaciones personales del abonado, a fin de verificar que el abonado que está intentando el acceso sea verdadero. La clave sin embargo genera algunos códigos secretos que se usarán para encriptar toda la comunicación cambiada por error sobre el canal radio. Los códigos de autenticación y clave están generados casualmente por cada abonado en particular por algunos algoritmos definidos por el estándar GSM y que son memorizados en el AuC y en la propia SIM.

La autenticación se produce cada vez que la MS se conecta a la red y más concretamente en los siguientes casos:

Cada vez que la MS recibe o efectúa una llamada.

Cada vez que se efectúa la actualización de la posición de la MS.

Cada vez que se solicita la activación, desactivación o información sobre los servicios suplementarios.

3.2.3.6. *Equipment Identity Register*

El Registro de Identidad de Usuario, EIR, es una base de datos encargada de verificar si un equipo móvil, ME, está autorizado o no para acceder al sistema. Está formado por tres partes:

Lista blanca: contiene los números IMEI de los números de todos los operadores de las varias naciones con las que se tiene acuerdo de roaming internacional.

Lista negra: almacena los IMEI que se consideran bloqueados, como por ejemplo, los robados.

Lista gris: contiene los IMEI que son aquellos que han de tener un cierto seguimiento, como por ejemplo, terminales no homologados.

Cada vez que el MS intenta conectarse a la red, el MSC verifica la lista en que se encuentra el IMEI del equipo consultando al EIR.

En una red GSM puede existir uno o varios EIR. Generalmente, se encuentra integrado con el HLR y el AUC como se mostró en la figura 3.1 pero también se puede implementar por separado para aumentar la seguridad.

3.2.3.7. *Operation and Maintenance Center*

El Centro de Operación y Mantenimiento, OMC, es un elemento que aunque en la figura 3.1 se encuentra fuera del Network Switching Subsystem, se puede encuadrar tanto dentro como fuera de éste. Existe uno o dos por red y se encarga de agrupar las siguientes funcionalidades:

Acceso remoto a todos los elementos de la red GSM.

Gestión de las alarmas y del estado del sistema con posibilidad de efectuar varios tipos de test para analizar las prestaciones y verificar el correcto funcionamiento del mismo.

Control de la carga de tráfico del BSC y BTS.

Recogida de todos los datos relativos al tráfico de los abonados necesarios para la facturación.

Supervisión del flujo de tráfico a través de las centrales e introducción de eventuales cambiantes del flujo mismo.

Visualización de la configuración de la con posibilidad de cambiarla por control remoto.

Administración de los abonados y posibilidad de poder conocer su posición dentro del área de cobertura.

3.3. INTERFAZ RADIO

3.3.1. ESTRUCTURA DE LA INTERFAZ RADIO

Los antiguos estándares de sistemas móviles sólo usaban división en frecuencia. El inconveniente de este sistema es que para cada llamada se ocupaba una frecuencia todo el tiempo que duraba esa llamada. Esta situación provocaba sobrecarga en instantes de alta demanda además de un uso excesivo del espectro. Esta es la razón por la que en GSM se define un acceso al medio bidimensional. GSM emplea una combinación de acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA) y por división en tiempo (TDMA) en la interfaz radio según se muestra en la figura 3.6.

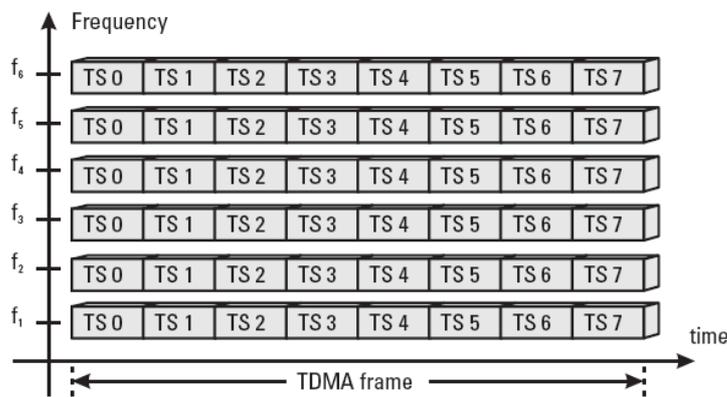


Figura 3.6. Acceso al canal radio bidimensional en GSM.

Primeramente, en lo que a la división en frecuencia se refiere, existen dos bandas de frecuencias; una para el canal ascendente, situada entre los 890 y los 915 MHz; y otra para el canal descendente comprendida entre los 935 y los 960 MHz. Cada una de estas bandas, está dividida en 125 canales de 200kHz de ancho de banda cada uno, según se muestra en la figura 3.8.

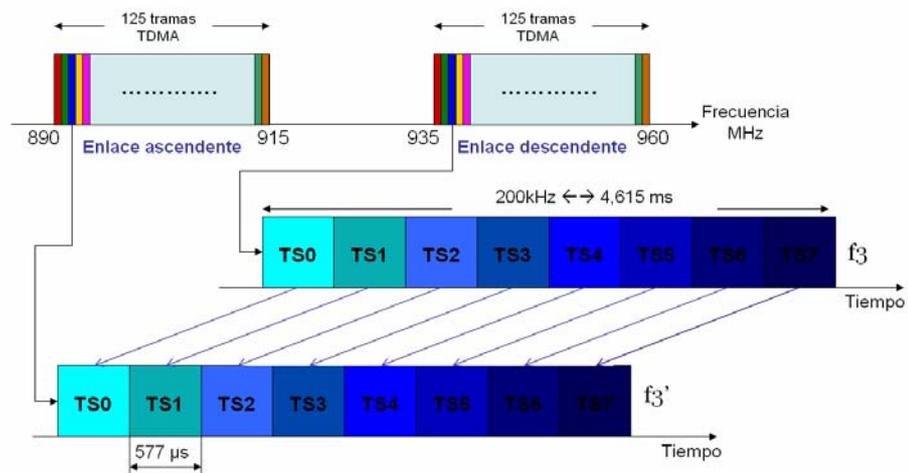


Figura 3.7. División en tiempo y en frecuencia de la interfaz radio GSM.

Cada uno de los 125 canales se denomina trama TDMA. En el tiempo, cada trama tiene una duración de 4,615 ms. y está a su vez subdividida en ranuras temporales o timeslots de 577 μ s cada uno. Cada conversación de un usuario concreto se transmite un timeslot y una portadora de frecuencia fijos. Es decir, cada conversación se transmite a una frecuencia determinada, durante 577 μ s a intervalos de 4,615ms y ocupando el total del ancho de banda (200 kHz) durante el tiempo que ocupa el medio.

En la siguiente figura se muestra la secuencia de bits que se envían en un slot (577 μ s) de tráfico. La trama incluye 148 bits más una banda de guarda. En cada slot se envían 114 datos de usuario codificados.



Figura 3.8. Bits enviados en un slot de tráfico donde C significa Dígito de Control.

En resumen y según las figuras 3.7 y 3.8, dada una banda de frecuencias que están reservadas para el sistema GSM, para un usuario concreto, se elige el par $\{f_i, TS_i\}$ para el enlace ascendente y el par $\{f'_i, TS'_i\}$ para el enlace descendente. Usualmente la frecuencia f_0 de cada una de las dos bandas se emplea como banda de guarda y el TS_0 de la portadora más baja se emplea como un canal de control que siempre es transmitido por la estación base, como se verá a continuación en este capítulo.

Para calcular las frecuencias de los enlaces ascendente y descendente, correspondientes a un canal n se puede calcular de la siguiente forma:

$$f_i = 890 + 0,2 \cdot n \text{ MHz para el enlace ascendente y}$$

$$f'_i = f_i + 45 \text{ MHz para el enlace descendente.}$$

Por razones técnicas, no es conveniente que la estación móvil y la BTS estén transmitiendo simultáneamente. Desde el punto de vista del móvil y como se observa en la figura 3.8 y 3.9, la trama TDMA correspondiente al enlace descendente (de BTS a estación móvil) está adelantada 3 timeslots con respecto a la trama del enlace ascendente (de estación móvil a BTS). Esto es, la MS comienza la recepción un periodo correspondiente a tres timeslots antes de empezar a enviar. El periodo en que la estación móvil no envía ni recibe, es empleado por ésta para realizar diversas medidas de calidad de señal y de detección de celdas vecinas.

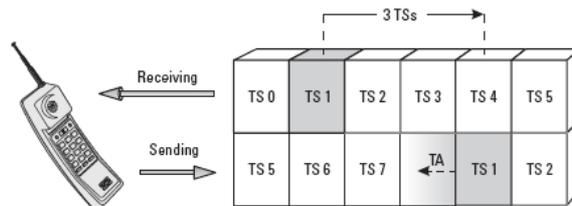


Figura 3.9. Retraso temporal de la trama del enlace ascendente con respecto al enlace descendente desde el punto de vista de la estación móvil.

3.3.2. CANALES FÍSICOS Y LÓGICOS

En el sistema GSM se define como canal físico cada timeslot de 577 μ s. Existen dos tipos de canales físicos: los de media velocidad, “Half-Rate”, y velocidad completa, “Full-Rate”. La configuración Full-Rate es la anteriormente descrita, con 8 timeslots por cada portadora. Sin embargo en la configuración Half-Rate aumenta el número de timeslots por portadora hasta 16.

Por otro lado, los canales lógicos son los que son transportados por los canales físicos. Son canales que transportan información, es decir, que desempeñan una tarea determinada. Los canales lógicos pueden ser canales de tráfico (TCH), tanto de voz como de datos, o canales de control. Los canales de control son seis y pueden dividirse en canales de difusión, comunes de control y de control dedicado:

Los canales lógicos son seis y se clasifican de la siguiente forma:

Canales de difusión (BCH, Broadcast Channel):

Broadcast Control Channel (BCCH).

Frequency-Correction Channel (FCCH).

Synchronization Channel (SCH).

Los canales de difusión se envían siempre por la BTS a las estaciones móviles (enlace descendente) en el TS0 de una frecuencia portadora.

Canales Comunes de Control (CCCH, Common Control Channel):

Paging Channel (PCH).

Random Access Channel (RACH).

Access Grant Channel (AGCH).

Los canales comunes de control son unidireccionales (solo se encuentran en uno de los enlaces) pero dependiendo del canal.

Canales Dedicados de Control (DCCH, Dedicated Control Channel):

Standalone Dedicated Control Channel (SDCCH).

Slow Associated Control Channel (SACCH).

Fast Associated Control Channel (FACCH).

Los canales dedicados de control son bidireccionales y pueden existir en cualquier timeslot de cualquier frecuencia portadora excepto en el TS0 de los canales de difusión.

A continuación se describirá cada uno de ellos.

Broadcast Control Channel (BCCH): Se emplea para informar al móvil sobre el Código de Área de Localización (LAC), el Código de la Red (MNC), frecuencias a las que se encuentran las otras estaciones móviles, etc. Sólo hay un BCCH por BTS.

Frequency-Correction Channel (FCCH): Proporciona al móvil la frecuencia de referencia a 67,7 kHz, para sincronizarse correctamente. Después del envío de un FCCH ha de enviarse un SCH.

Synchronization Channel (SCH): Proporciona al móvil una secuencia fija conocida de 64 bits, que le sirve para corregir retardos y sincronizarse correctamente con la BTS.

Paging Channel (PCH): Este canal se encuentra en el enlace descendente. Se emplea para avisar a un determinado móvil antes de establecer un enlace dedicado para una llamada entrante al móvil. Sirve también para enviar mensajes a todos los móviles desde la BTS.

Random Access Channel (RACH): Es un canal empleado por la MS para solicitar un enlace dedicado a la red o para responder a un aviso del PCH. Dada su funcionalidad, se emplea únicamente para el enlace ascendente.

Access Grant Channel (AGCH): Es la respuesta de la BTS ante la llegada de un RACH. Se informa al móvil de cual es el canal de control dedicado (SDCCH) que se puede utilizar para la señalización mientras dure la llamada.

Standalone Dedicated Control Channel (SDCCH): Sirve para actualizar los registros de localización del móvil y para realizar la señalización previa al establecimiento de un llamada entrante o saliente.

Slow Associated Control Channel (SACCH): Siempre va asociado a un canal de tráfico (TCH) o a un canal SDCH. En el enlace descendente, la BTS se mantiene identificada e informa al móvil si debe alterar su control de retardo o su nivel de potencia. En el enlace ascendente, el móvil informa a la BTS de los parámetros de corrección de retardo y de nivel de potencia usados.

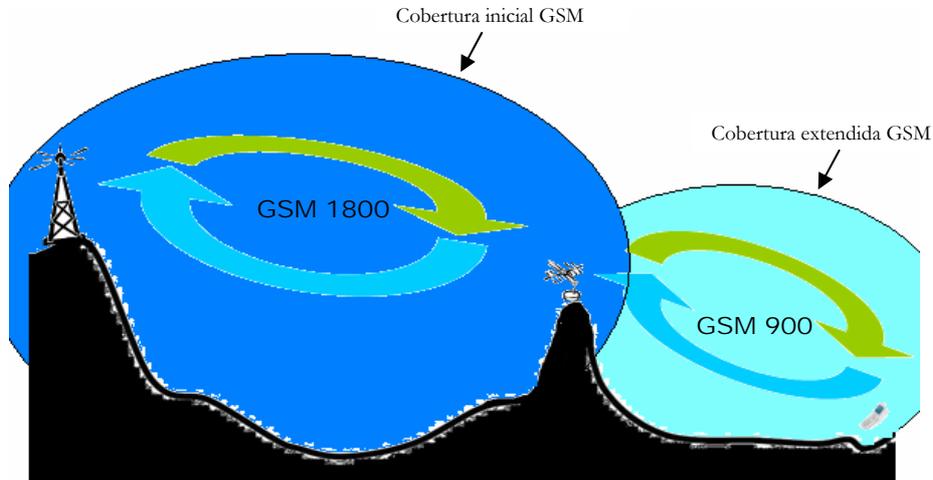
Fast Associated Control Channel (FACCH): Aparece en lugar de un canal de tráfico cuando se requiere una larga señalización entre el móvil y la red durante una llamada. Un ejemplo típico de esta situación es durante un handover.

Capítulo IV

Equipamiento GSM y Balance de Enlaces

4.1. EQUIPAMIENTO

Como ya se ha planteado en el primer capítulo el sistema extensor de cobertura será el siguiente:



Tal y como se observa en el esquema el enlace entre Estación Base-Repetidor y el enlace Repetidor-Móvil trabajarán en bandas de frecuencias diferentes, el primero lo hará en la banda de DCS a 1800MHz mientras que el segundo trabajará en la banda GSM a 900MHz. Se ha preferido que los enlaces trabajen a diferentes bandas de frecuencias a trabajar en la misma banda pero en diferente radiocanal para una mayor facilidad a la hora de estudiar la cobertura de cada radioenlace.

A continuación se detalla el equipamiento que se va a emplear en la planificación de la extensión de cobertura.

4.1.4. ESTACIÓN BASE (BTS)

La estación base será del tipo macrocelular rural, omnidireccional, con polarización vertical, sin ganancia por diversidad espacial en recepción y con pérdidas de cables y conectores despreciables.

Como se ha dicho en el capítulo tres el número de traspuestos de la estación base depende del número de canales que vaya a tener ésta, en principio la estación base tendrá solamente 8 slots o canales duplex, 7 de tráfico y uno de control, por tanto, el número de traspuestos necesarios será solamente de uno.

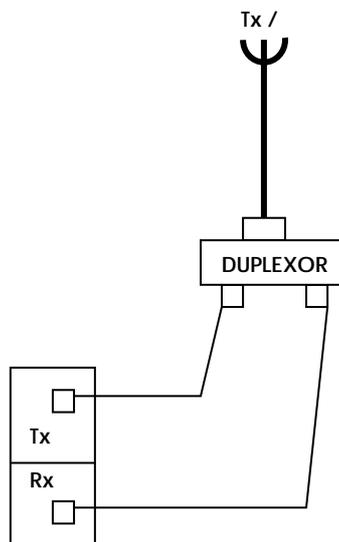
A continuación se puede observar las características técnicas de la estación base elegida, en amarillo se destacan los parámetros que posteriormente se utilizarán para el balance de enlaces.

	Environment	Outdoor
	Frequency band	GSM 900, DCS 1800 or PCS 1900
	Number of transceivers	1-6
	Number of sectors	1-3
	Transmission interface	1.5 Mbits/s(T1), 2 Mbit/s (E1)
	Dimensions (HxWxD, in mm)	1605 x 1300 x 710
	Power into antenna feeder (typical value)	28W / 44, 4 dBm
	Receiver sensitivity (typical value)	≤ -107 dBm
	Power supply	188-275 VAC 45-65 Hz
	Battery backup	1hour
	Operating temperature	-33° - +45°C
	Weather proofing	Min.level IP55 in IEC 529

El número de trasceptores trae consigo la necesidad de colocar combinadores y divisores, en este caso no hace falta ninguno de los dos.

En cuanto a la antena la estación base sólo estará provista de una, que como se ha dicho será omnidireccional con polarización vertical. Al utilizarse una única antena para transmitir y recibir será necesario colocar un duplexor que separe la señal de entrada y la de salida dejando circular la energía de RF de la antena al receptor y del emisor a la antena, sin acoplamiento excesivo entre el receptor y el emisor.

El esquema de la BTS quedará de la siguiente forma:



El duplexor que se va a utilizar opera en la banda de 1800 MHz al igual que la estación base y la antena que tendrá ésta.

El repetidor será el que estará en comunicación directa con la estación base y a su vez proporcionará la cobertura extendida al terminal móvil. Por tanto, trabajará en doble banda, en la DCS1800 con la estación base y en la GSM900 con el terminal móvil y en consecuencia transmitirá y recibirá tanto en el enlace ascendente como en el descendente.

Se eligen tres repetidores de diferentes fabricantes para posteriormente hacer comparativas que nos lleven a elegir el mejor de ellos para el sistema final.

A continuación se muestran los tres repetidores que se van a estudiar con sus especificaciones técnicas:

- **Fabricante 1: Teltronic.**



	Ascendente	Descendente
Frecuencia	RX: 890.2 - 902.8	RX: 1805.3 - 1829.0
	TX: 1710.3 - 1734.9	TX: 935.2 - 947.8
Dimensiones / Peso	42x30x22cm / 15Kg	
Ganancia de Señal	105 dB	105 dB
Máxima Potencia de Salida	33 dBm	38 dBm
Sensibilidad	-103dBm	-103dBm
Factor de Ruido	F < 4db	F < 4db
Consumo (típico)	350mA@220VAC / 3A@24VDC	

- **Fabricante 2:** *Key-Cell.*

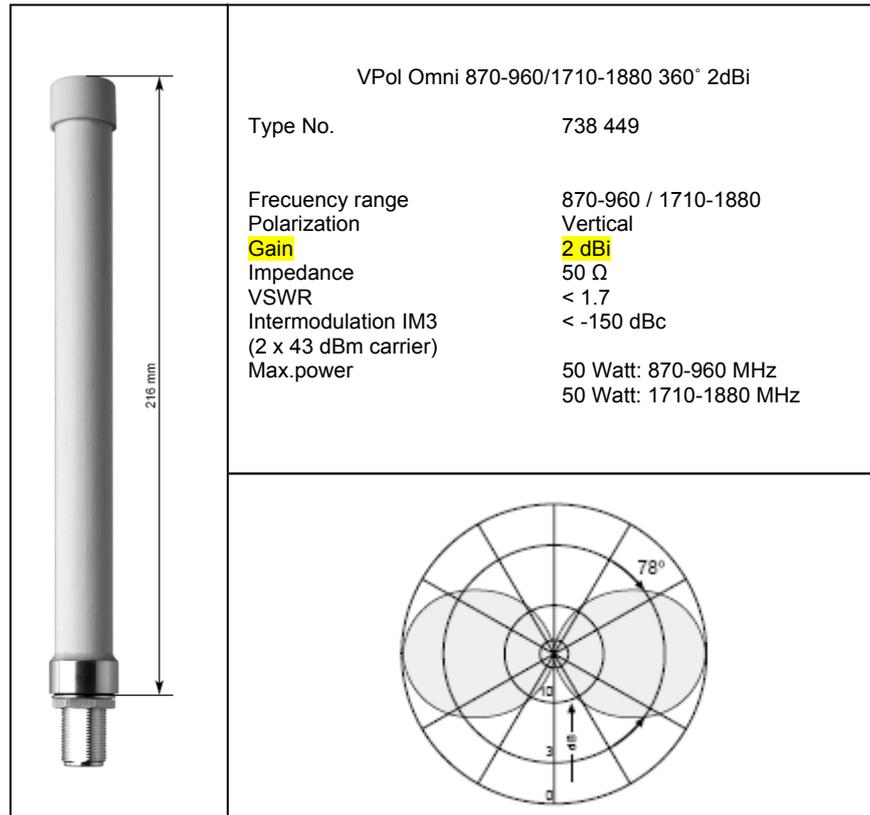


	UPLINK	DOWNLINK
Frecuency Range	RX: 890.2 - 902.8	RX: 1805.3 - 1829.0
	TX: 1710.3 - 1734.9	TX: 935.2 - 947.8
Output Power	30 dBm	30 dBm
Gain	70 dBm	80 dBm
Sensibility	-103dBm	-103dBm
Pass Band Ripple	3 dB	
Group Delay	1.5 us	
Spurious Emission Out of Band	-40 dBm°	
Impedance	50 ohm	
Power Supply	AC 220V / AC 110V	
Temperature Range (°C)	-25 to +55	
Humidity Relative (%)	5-95	

- **Fabricante 3:** *Remotec.*

		Uplink	Downlink
Frecuencia	GSM	890 - 915MHz	935 - 960 MHz
	DCS	1710 - 1785MHz	1805 - 1880MHz
Maximum Gain		≥88dB	≥92dB
Manual Gain Control		31dB in step of 1dB	
Automatic Gain Control		≥20dB	
Gain Flatness		≤ 3dB (p-p)	
Output Power		≥ 40 dBm	
Sensibility		-103 dBm	
Dimensions (H*W*D)		610*480*220mm	

En cuanto a la antena que se colocará en el repetidor también ésta debe trabajar en doble banda de frecuencias y será omnidireccional, con polarización vertical y una ganancia de 2dBi. Se puede observar que al elegir doble banda de frecuencias de trabajo la ganancia de la antena es bastante menor.



4.1.6. TERMINAL MÓVIL

El terminal móvil será un teléfono móvil GSM cuya antena será un dipolo con ganancia de 2dBi. El resto de especificaciones técnicas son las siguientes.

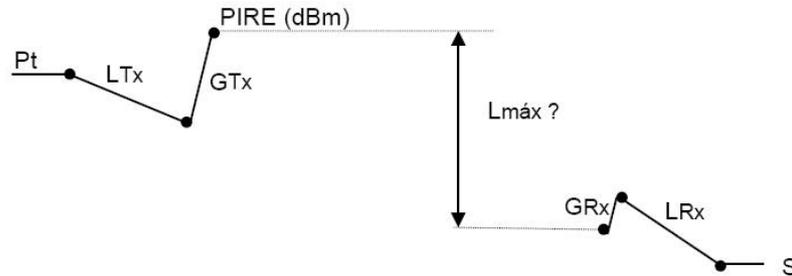
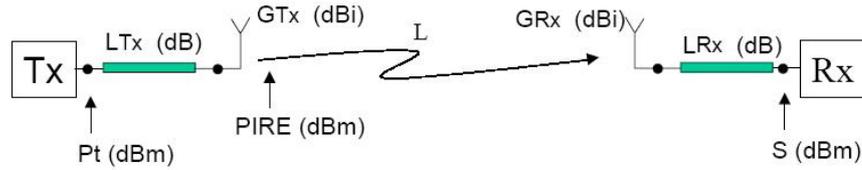


Frecuency range	900 / 1800 MHz
Channel spacing	200 KHz
Frecuency stability	±0.1 ppm
RF output power	2 W (33 dBm)
Sensibility	-104dBm

4.2. BALANCE DE ENLACES

El balance de potencias básicamente permite calcular la distancia máxima que se puede separar un terminal de la estación base hasta que deje de funcionar, o hasta que deje de haber cobertura.

El esquema que representa los parámetros que se miden en un balance de potencias son los siguientes:



$$L_{\text{máx}} = \text{PIRE} + \text{GRx} - \text{LRx} - \text{S}$$

Pt (dBm): Potencia a la salida del transmisor.

LTx (dB): Suma de las pérdidas totales en transmisión debidas a la existencia o no de: cables, conectores, duplexores, combinadores, etc.

GTx (dB): Suma de ganancias en transmisión de elementos como antenas.

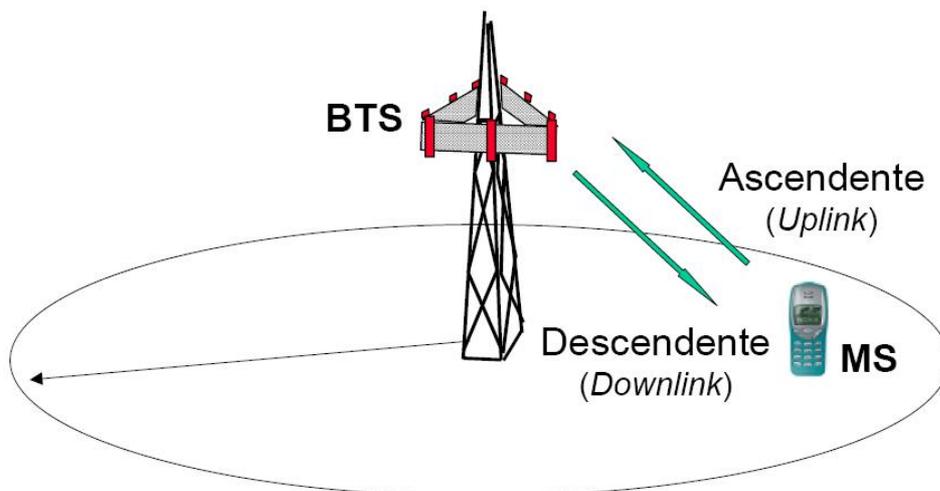
Lmáx (dB): Pérdidas máximas compensables por los equipos.

GRx (dB): Suma de ganancias en recepción de antenas, ganancia extra por diversidad, amplificadores de bajo ruido, etc.

LRx (dB): Suma de las pérdidas totales en recepción debidas a la existencia o no de cables, conectores, duplexores, divisores, etc.

S (dBm): Sensibilidad del receptor.

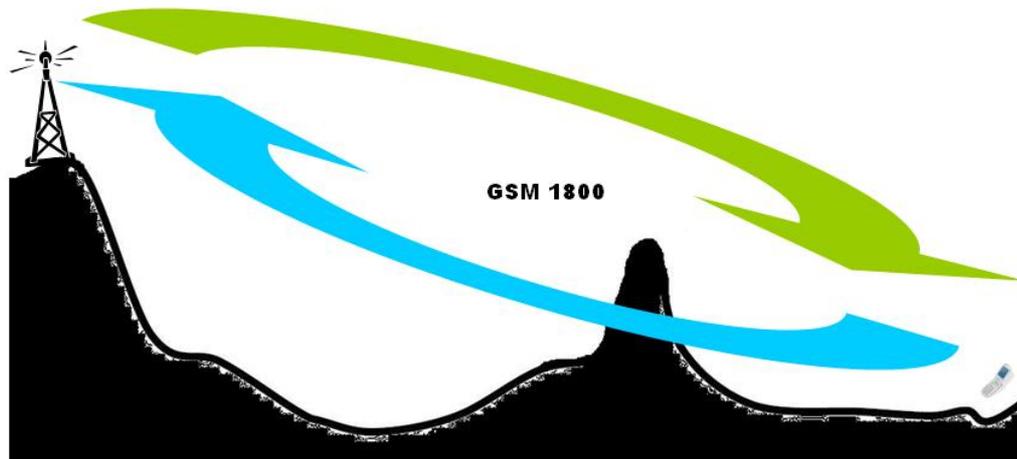
En el sistema GSM el enlace vía radio entre la estación base y el terminal móvil es una comunicación duplex. Se distingue entre enlace descendente (transmite estación base y recibe el terminal móvil) y enlace ascendente (transmite el terminal móvil y recibe la estación base).



Un enlace ascendente y descendente tiene que estar balanceado: las pérdidas tienen que ser similares para cada uno de ellos.

A continuación y puesto que se tienen los parámetros de los equipos, tal y como se ha visto en el punto anterior, se pasa a realizar los balances de potencias necesarios.

Balance BTS a MS



Enlace Ascendente

Enlace Descendente

En primer lugar se realiza un balance *Estación Base (BTS) a Móvil (MS)*, éste será el balance de potencias principal puesto que es el que determinará la cobertura radioeléctrica que proporcionará la zona de sombra a cubrir, que como se comentó en el primer capítulo es el objetivo del proyecto.

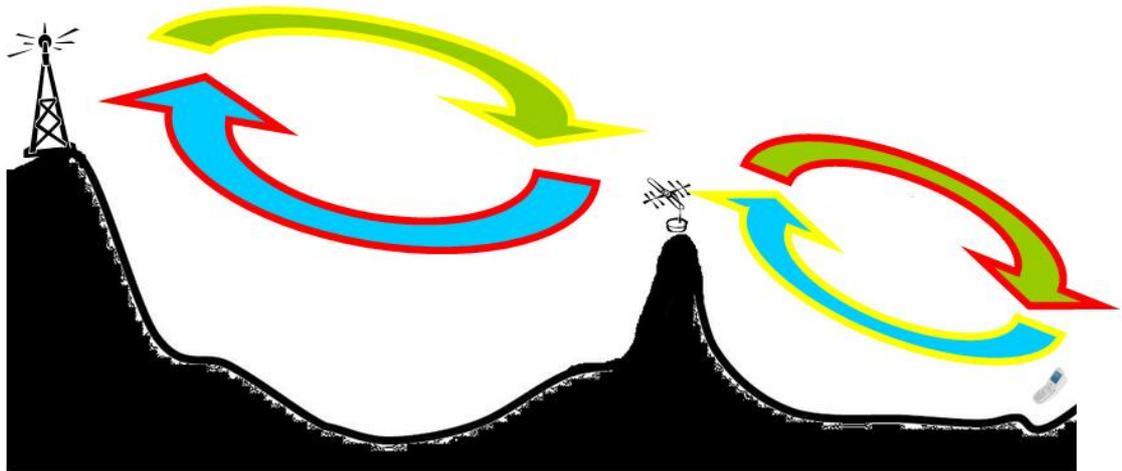
Tal y como se observa en el esquema se realiza en la banda de 1800 Mhz .

		BTS / MS		
TRANSMISIÓN		Unidades	BTS a MS	MS a BTS
Pt	Potencia Tx	dBm	44,47158031	33,01029996
Ltx	Suma de las pérdidas en transmisión	dB	1,1	4
Gtx	Suma de las ganancias en transmisión	dBi	11	2
PIRE	Potencia isotropa radiada equivalente	dBm	56,52158031	33,16029996
RECEPCIÓN				
Grx	Suma de las ganancias en recepción	dBi	2	11
Lrx	Suma de las pérdidas en recepción	dBm	0	1,1
S	Sensibilidad	dBm	-104	-107
Lmáx	Pérdidas máximas admisibles	dB	162,5215803	150,0603

Cuanta mayor pérdida de propagación admita entre dos enlaces, mayor podría ser la distancia de separación entre ellos, por lo que el enlace sería mejor. Por tanto, la

cobertura radioeléctrica viene fijada por el enlace peor, entendiendo como tal, aquel cuyas pérdidas máximas compensables son menores, en este caso es el enlace ascendente con unas pérdidas máximas admisibles de 150,0603 decibelios.

El repetidor al tener comunicación con la BTS y la MS tendrá dos enlaces de subida y dos de bajada dependiendo de con quién esté manteniendo la comunicación, es decir, tendrá un enlace DOWNLINK en transmisión y otro en recepción y lo mismo ocurrirá con el enlace UPLINK, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Enlace Ascendente
Enlace Descendente

Recepción
Transmisión

Una vez introducido el repetidor en el sistema se pasa a realizar los balances de potencias necesarios para estos dos nuevos enlaces:

Balance BTS a REPETIDOR



Este balance determinará la cobertura desde la estación base a repetidor, como se indica en el punto anterior se han elegido tres repetidores de tres fabricantes distintos, se hace el balance para cada uno de ellos:

TRANSMISION		Unidades	BTS / REP1		BTS / REP2		BTS / REP3	
			BTS a REP1	REP1 a BTS	BTS a REP2	REP2 a BTS	BTS a REP3	REP3 a BTS
Pt	Potencia Tx	dBm	44,47158031	39,16453949	44,4715803	38,7506126	44,4715803	40
Ltx	Suma de las pérdidas en transmisión	dB	1,1	0	1,1	0	1,1	0
Gtx	Suma de las ganancias en transmisión	dB	11	2	11	2	11	2
PIRE	Potencia isotropa radiada equivalente	dBm	56,52158031	43,31453949	56,5215803	42,9006126	56,5215803	44,15
RECEPCION								
Grx	Suma de las ganancias en recepción	dB	2	11	2	11	2	11
Lrx	Suma de las pérdidas en recepción	dBm	0	1,1	0	1,1	0	1,1
S	Sensibilidad	dBm	-103	-107	-103	-107	-103	-107
L máx	Pérdidas máximas admisibles	dB	161,5215803	160,2145395	161,52158	159,800613	161,52158	161,05

Tal y como se expresa en el balance, el enlace más desfavorable es el ascendente independientemente del repetidor que se elija. También se puede observar que los enlaces más desfavorables de un repetidor a otro varían muy poco, por lo que la diferencia en utilizar uno u otro no va a ser muy notable.

Balance REPETIDOR a MS

Este balance será el que nos determine la cobertura de repetidor a móvil en la zona de influencia del primero. Cuando ya se sepa dónde van a estar ubicados los repetidores que proporcionarán la extensión de cobertura radioeléctrica del sistema GSM y basándose en los parámetros de este balance se podrá comprobar si realmente cada uno de los repetidores proporciona la cobertura extendida suficiente para cubrir la zona de sombra de la Estación Base (BTS).



También se realiza para cada uno de los tres repetidores elegidos:

TRANSMISION		Unidades	REP1 / MS		REP2 / MS		REP2 / MS	
			REP1 a MS	MS a REP1	REP2 a MS	MS a REP2	REP3 a MS	MS a REP3
Pt	Potencia Tx	dBm	39,7772361	33,0103	38,7506126	33,0103	40	33,0103
Ltx	Suma de las pérdidas en transmisión	dB	0	4	0	4	0	4
Gtx	Suma de las ganancias en transmisión	dB	2	2	2	2	2	2
PIRE	Potencia isotropa radiada equivalente	dBm	43,9272361	33,1603	42,9006126	33,1603	44,5	33,1603
RECEPCION								
Grx	Suma de las ganancias en recepción	dB	2	2	2	2	2	2
Lrx	Suma de las pérdidas en recepción	dBm	4	0	4	0	4	0
S	Sensibilidad	dBm	-104	-103	-104	-103	-104	-103
L máx	Pérdidas máximas admisibles	dB	145,927236	138,1603	144,900613	138,1603	146,5	138,1603

Tal y como se aprecia en el balance, el enlace más desfavorable es, una vez más, el ascendente. Cabe a destacar que el valor de las pérdidas máximas admisibles para el enlace más desfavorable para cada uno de los repetidores son las mismas, esto se debe a que los parámetros en recepción de los tres repetidores son iguales. Por tanto, para determinar la cobertura radioeléctrica extendida no habrá diferencia entre usar uno u otro repetidor, será indiferente, por lo que se utilizará el Repetidor del Fabricante 1, que correspondía al de Teltronic.

Capítulo V

Estudio de la cobertura radioeléctrica

5.1. MODELO DIGITAL TERRESTRE

El fichero de un modelo digital del terreno o de un mapa de pérdidas adicionales con formato ascii es un fichero de texto con el siguiente aspecto:

```
ncols      10
nrows     10
xllcorner 3650672
yllcorner 5311282
cellsize   200
NODATA_value -9999
460 460 460 460 460 457 449 442 440 439
446 426 418 418 412 399 384 380 380 377
368 367 367 368 375 362 371 379 371 382
397 409 416 400 395 383 387 399 408 409
411 415 417 420 411 386 375 360 360 359
351 343 340 340 340 340 332 322 320 320
320 329 339 340 347 359 364 385 395 408
418 436 457 473 471 465 457 453 449 455
454 449 447 434 430 410 396 394 384 381
364 342 333 330 328 321 320 320 335 395
```

Donde:

- ncols es el número de columnas de la matriz.
- nrows es el número de filas de la matriz.
- xllcorner es la coordenada x de la esquina inferior izquierda de la matriz.
- yllcorner es la coordenada y de la esquina inferior izquierda de la matriz.
- cellsize es la distancia entre celdas adyacentes.
- NODATA_value indica el valor que tomará una celda que no tiene datos.

En el caso de un modelo digital del terreno el valor de la celda se corresponde a la altura del terreno.

Si se trata de un mapa de pérdidas adicionales el valor de la celda será las pérdidas adicionales en decibelios que se sumarán a las de propagación.

En el estudio de la cobertura radioeléctrica que se va a desarrollar se utilizará un mdt con resolución de 100 metros (*mdt_100.txt*).

5.2. MODELO DE PROPAGACIÓN

Para todos los cálculos de cobertura de potencia se utiliza el modelo de propagación UTR-526.

Este método es válido para entornos rurales en los que existen múltiples obstáculos, como se puede apreciar en la figura 1.

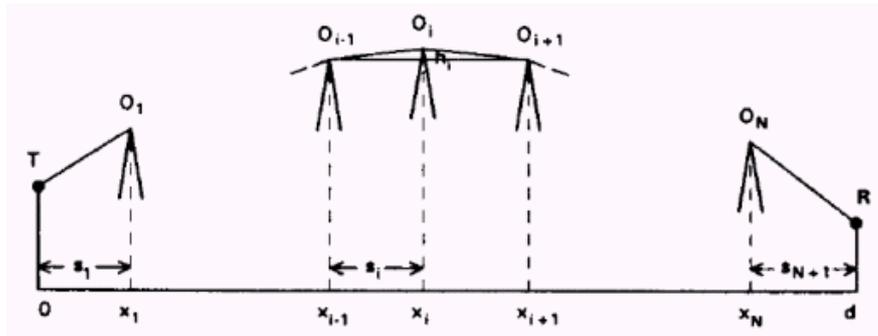


Figura 1

donde:

- N : número de obstáculos
- h_i : altura del obstáculo O_i respecto a la recta que une O_{i-1} con O_{i+1} ,
- x_i : abscisa del obstáculo O_i
- $s_i = x_i - x_{i-1}$: distancia entre los obstáculos O_{i-1} y O_{i+1} ,
- $s_j = x_j$: distancia entre el primer obstáculo y el transmisor.
- $s_{n+1} = d - x_n$: distancia del último obstáculo al transmisor (d es la distancia entre emisor y receptor)

La atenuación por difracción viene dada, para múltiples obstáculos, por:

$$L_D(dB) = \sum_{i=1}^N L_D(v_i) + \sum_{i=1}^j L_{sd}(v_i) - 10 \cdot \log(C_N)$$

donde:

$$v_i = 2.58 \cdot 10^{-3} \cdot h_i \cdot \sqrt{f \cdot \frac{s_i + s_{i+1}}{s_i \cdot s_{i+1}}}$$

L_{sd} son las pérdidas debidas a obstáculos en el subvano O_{i-1} , O_i , O_{i+1} que queden por debajo de la línea O_{i-1} , O_{i+1} con despejamiento insuficiente. Únicamente se tendrá en cuenta un único obstáculo, el que tenga el parámetro v menos negativo (el peor caso). C_m es un factor de corrección que viene dado por:

$$C_N = \left[\frac{s_2 \cdot \dots \cdot s_N \cdot (s_1 + s_2 + \dots + s_{N+1})}{(s_1 + s_2) \cdot \dots \cdot (s_N + s_{N+1})} \right]$$

5.3. PORCENTAJES DE COBERTURA

Para calcular los porcentajes de cobertura con RADIOGIS primeramente se tiene que calcular la cobertura de potencia.

El porcentaje de cobertura para una cobertura individual de potencia calculada viene determinada por el porcentaje sobre umbral de píxeles (o celdas) del área sobre la que se ha calculado la cobertura que superan el valor de sensibilidad del receptor, si la potencia recibida es mayor que la umbral habrá cobertura.

La señal de radio presenta aleatoriedad y se caracteriza por amplias variaciones en función del espacio y tiempo. Para ello, es necesario considerar una corrección

estadística que tenga en cuenta esta aleatoriedad. Las variaciones lentas a largo plazo de la señal recibida son descritas mediante una ley logarítmica-normal.

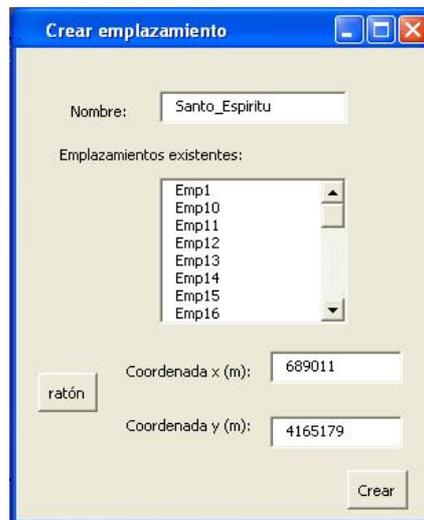
Se puede definir un margen de desvanecimiento (MF) para un porcentaje de ubicaciones y un porcentaje de tiempo. Para tener en cuenta este margen de desvanecimiento a la hora de estimar la cobertura radioeléctrica se puede considerar que la *potencia umbral* ahora es la suma de la sensibilidad (dBm) del receptor y el margen de desvanecimiento (dB).

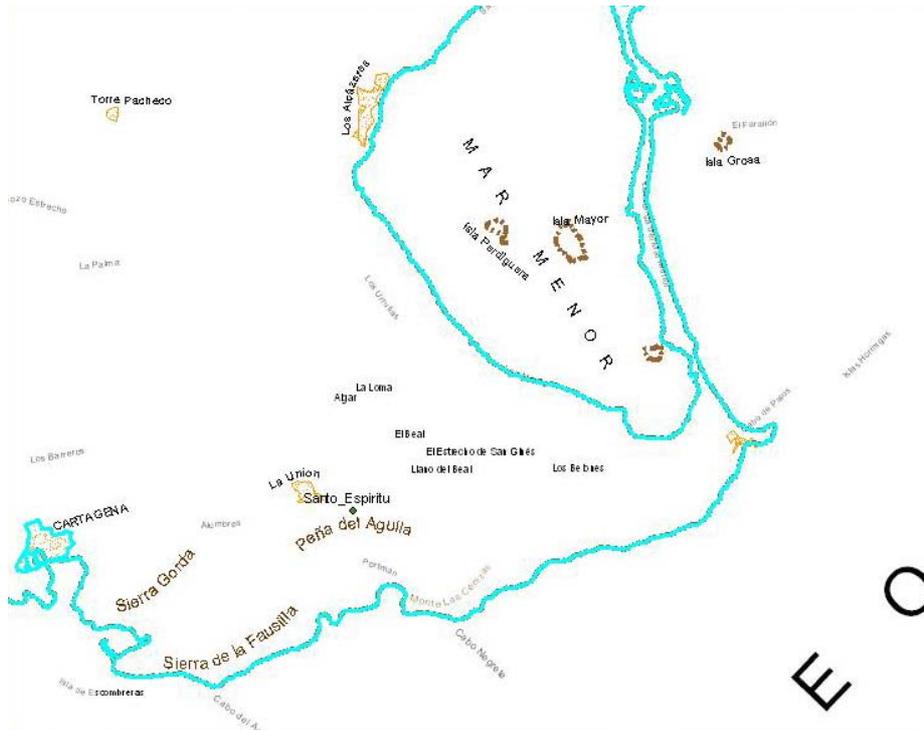
$$P_{\text{umbral}} \text{ (dBm)} = S \text{ (dBm)} + MF \text{ (dB)}$$

A continuación se describen los pasos que se han seguido para determinar la zona de sombra, así como los porcentajes de cobertura:

Primeramente se define el emplazamiento donde estará ubicada la Estación Base a partir de sus coordenadas UTM, que serán las siguientes:

$$\begin{aligned} x \text{ (m)} &= 689011 \\ y \text{ (m)} &= 4165179 \end{aligned}$$





Una vez definido el emplazamiento de la Estación Base, se pasa a calcular la cobertura de potencia que ésta proporcionará a Móvil en la banda DCS 1800. Basándose, por tanto, en el enlace más desfavorable del balance de enlaces realizado anteriormente, el enlace ascendente (de móvil a BTS) que es el que fija la cobertura de potencia de la Estación Base.

Los parámetros para el cálculo de la cobertura individual de potencia son:

Transmisión

- Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) = 33,16 dBm

Recepción

- Ganancia (Grx) = 11 dBi
- Pérdidas (Lrx) = 1,1 dB
- Sensibilidad (S) = -107 dBm

Pérdidas de propagación

Estación Base:

- Emplazamiento: Santo Espiritu
- Altura del mástil: 30 m
- Diagrama de radiación: omnidireccional

Estación móvil:

- Altura móvil: 2m
- Diagrama de radiación: omnidireccional

Parámetros comunes:

- Frecuencia: 1800 MHz

Zona de cálculo

- Circular con R=20000m

A continuación se crea la nueva cobertura de potencia con el nombre 'BTS_MS'. Para ello se utiliza la opción *Calcular/Cobertura de potencia/Datos cobertura/Nueva*.



Nombre Cobertura

Indique el nombre de la cobertura (máx. 8 caracteres):

BTS_MS

Comentarios:

Cobertura de potencia de Estacion Base a móvil desde el emplazamiento de Santo Espiritu

Coberturas calculadas :

Emp1_11
Emp1_11b
Emp1_18
Emp1_2
Emp1_3
Emp1_4
Emp1_5
Emp1_8
Emp1_9
Emp1_9B
SE_E15

Aceptar

Se completa el resto de menús necesarios para el cálculo introduciendo los datos de partida especificados previamente, eligiendo además:

- Modelo de propagación 'UTTR-526'
- Resolución de 100 metros
- Ningún mapa de pérdidas adicionales por uso del suelo

Transmisión

PIRE (Pt - Lt + Gt): 33.16 dBm

Ganancia (Gt):

Potencia Transmitida (Pt): dBm

Pérdidas (Lt): dB

Aceptar Siguiente -->

Recepción

Ganancia (Gr): 11 dB

Pérdidas (Lr): 1.1 dB

Sensibilidad: -107 dBm

<-- Atrás Aceptar Siguiente -->

BTS_MS-Pérdidas de propagación

estación base | estación móvil | parámetros comunes | zona de cálculo

ubicación:

Seleccionar Emplazamiento

coordenada x (m): 689011

coordenada y (m): 4165179

altura (m) sobre el suelo: 30

antena

ruta: C:\RADIOGIS\diagramas\omnidireccional.dat

Vertical Pattern

Plano E

Plano H

orientación

Plano Horizontal

Plano Vertical

acimut (0°,359°): 0

elevación (-90°,90°): 0

<-- Atrás Aceptar

BTS_MS-Pérdidas de propagación

estación base | estación móvil | parámetros comunes | zona de cálculo

antena

altura (m) sobre el suelo: 2

antena

ruta: C:\RADIOGIS\diagramas\omnidireccional.dat

Vertical Pattern

Plano E

Plano H

orientación

Plano Horizontal

Plano Vertical

acimut (0°,359°): 0

elevación (-90°,90°): 0

<-- Atrás Aceptar

BTS_MS-Pérdidas de propagación

estación base | estación móvil | parámetros comunes | zona de cálculo

datos

frecuencia: 1800 MHz

método de cálculo: UITR-526

modelo digital del terreno (MDT): D:\Datos_Geograficos\mdt_ascil\mdt_100.txt

Mapa de pérdidas adicionales por uso del suelo: ninguno

factor k: 1,33

resolución mdt (m): 100

<-- Atrás Aceptar

BTS_MS-Pérdidas de propagación

estación base | estación móvil | parámetros comunes | zona de cálculo

ratón círculo

zona de cálculo

Xsi (m):

Xid (m):

Ysi (m):

Yid (m):

zona de cálculo

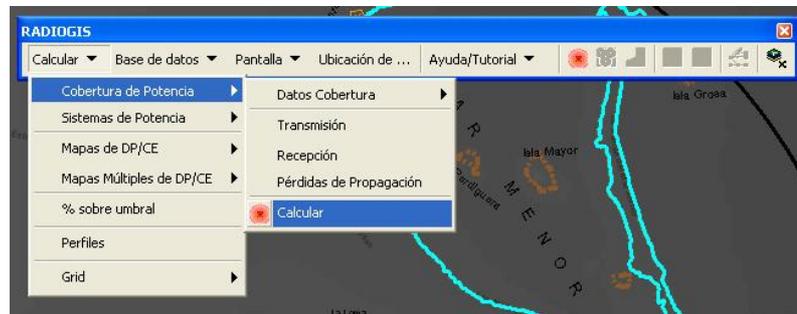
radio (m): 20000

xcentro(m): 689011

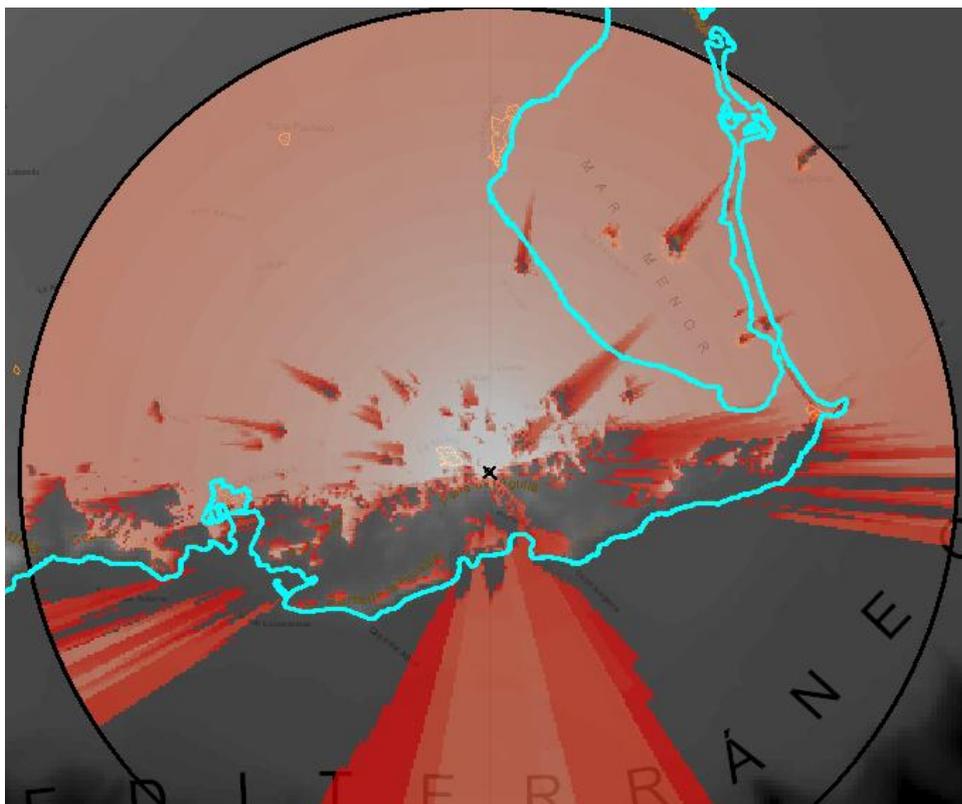
ycentro(m): 4165179

<-- Atrás Aceptar

Cuando se han completado todos los menús, se elige la opción calcular mediante la opción **Calcular/Cobertura de potencia/Calcular** o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas de RADIOGIS.



El resultado de la cobertura individual de potencia calculada se puede observar a continuación:

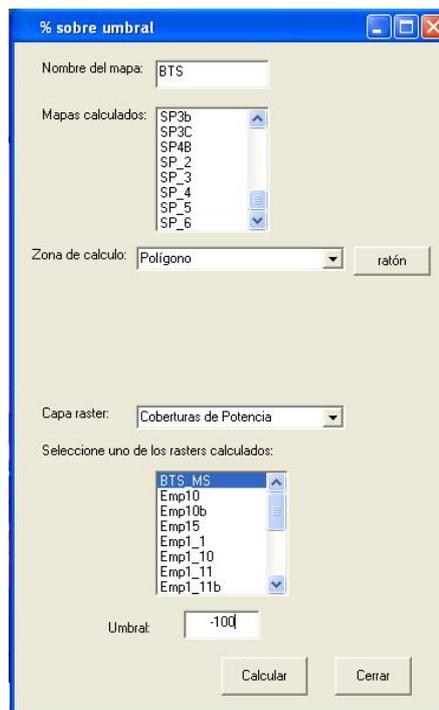
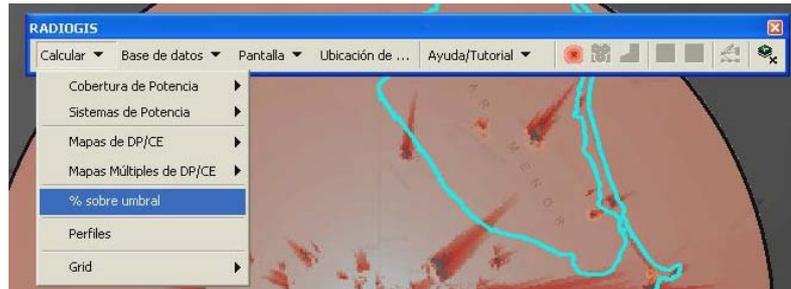


Según la intensidad del color rojo, que identifica la cobertura individual de potencia calculada, se puede identificar que hay zonas con mayor cobertura de potencia que otras, ésta irá desde los $-35,2385$ dBm, en las que el color rojo es más suave, hasta los $-106,997$ dBm en las zonas en las que el color rojo es más intenso. Observar que existe una gran zona de sombra en la que la cobertura de potencia es

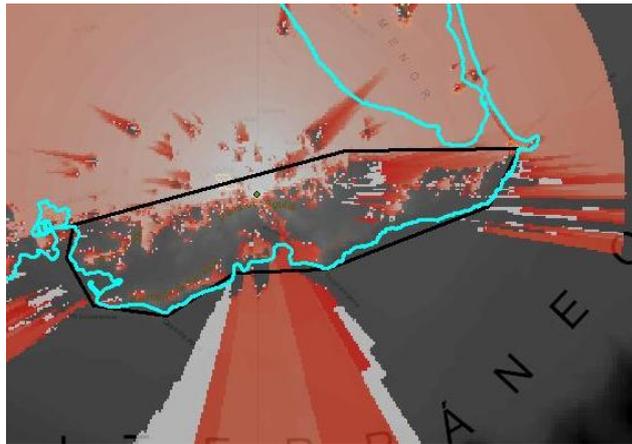
prácticamente nula esta zona será en la que se hará la planificación de extensión de cobertura radioeléctrica, objetivo de este proyecto.

Tras el cálculo de la cobertura de potencia ya se puede calcular los porcentajes de cobertura a partir del porcentaje sobre umbral. Se utilizará una potencia umbral de -100 dB, resultante de sumarle a la sensibilidad de recepción de la Estación Base (-107dBm) un margen de desvanecimiento de 7 dB.

$$P_{\text{umbral}} (\text{dBm}) = S (\text{dBm}) + \text{MF} (\text{dB}) = -107 + 7 = -100 \text{dBm}$$

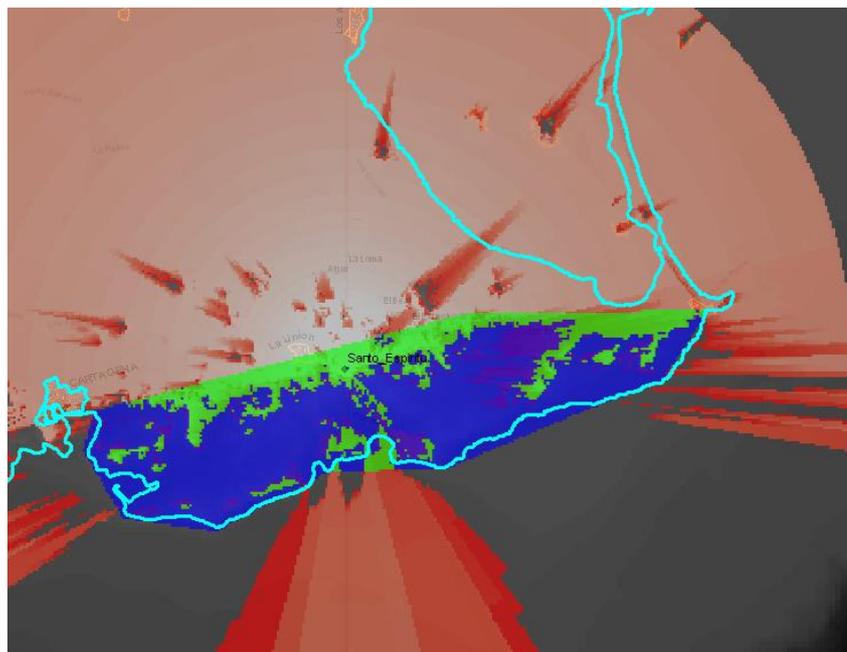


Se define una zona dónde calcular el porcentaje, es un polígono que agrupa toda la zona de sombra sobre la que se va a trabajar. Para los posteriores cálculos de porcentajes de cobertura se utilizará el mismo polígono, de forma que siempre se esté estudiando la cobertura sobre la misma zona.



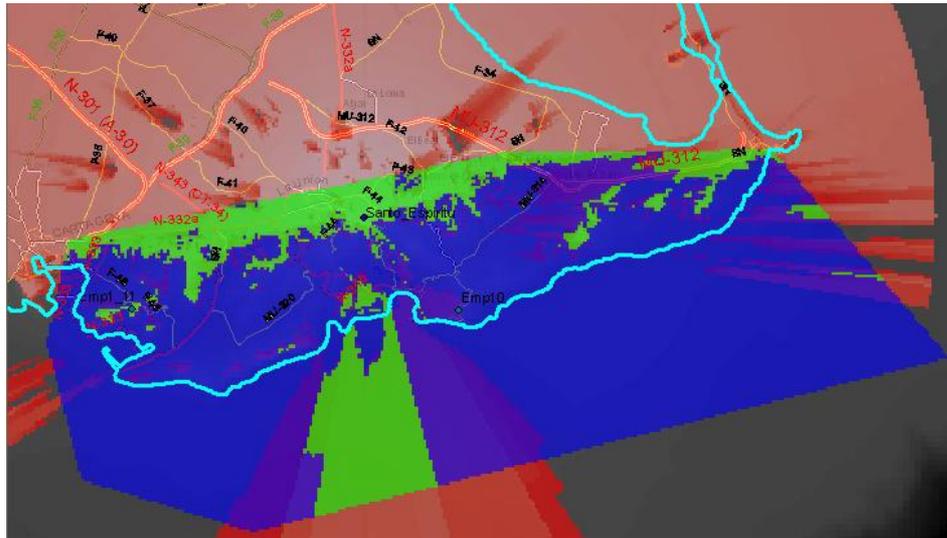
Se selecciona como capa raster la de Coberturas de Potencia ya que es sobre la que se calcularán el número de píxeles que superan el umbral introducido, así mismo se selecciona como raster calculado el perteneciente a la cobertura individual de potencia calculada anteriormente.

Finalmente se obtiene la cobertura desde la Estación Base en la zona en cuestión:



El porcentaje de cobertura que, como ya se ha indicado, viene determinado por el número de píxeles de la zona de estudio que superan el valor de sensibilidad del receptor es de un **26,66%**, por el contrario el número de píxeles en los que la potencia recibida es menor que la de la potencia umbral definida de -100dBm es de **73,34 %**. A partir de este resultado se confirma la existencia de la zona de sombra resultante del cálculo de la cobertura individual de potencia (de color azul en la imagen), el objetivo es cubrirla con repetidores para solucionar este problema.

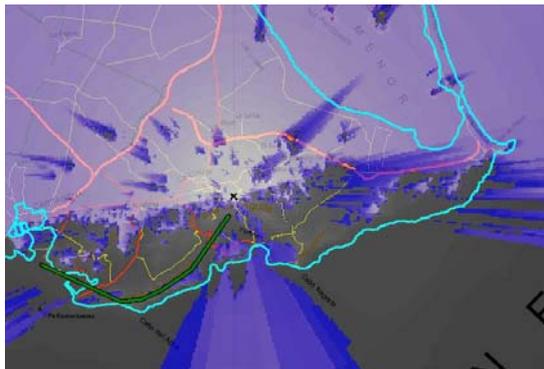
A continuación se amplía la zona de estudio a la costa, se calcula el porcentaje de potencia sobre umbral y el resultado es el siguiente:



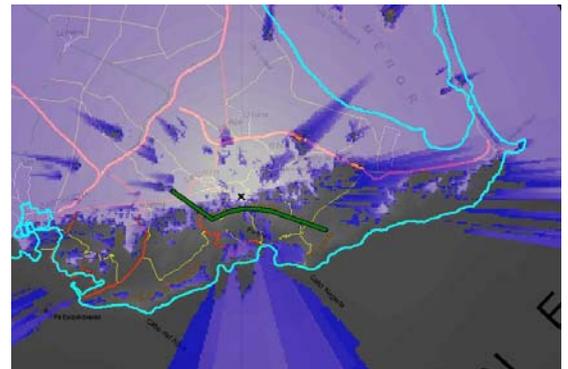
En este caso el número de píxeles en los que la potencia recibida es mayor que la de la potencia umbral es de sólo el 17,26%, se observa que la zona de sombra se prolonga a la costa.

Esta deficiencia de la buena recepción de las ondas electromagnéticas es debida a reflexiones, difracciones y demás fenómenos de propagación que surgen como consecuencia de la orografía de la zona. Abundantes formaciones montañosas que producen el efecto de sombra de la cobertura de la Estación Base, pese a que ésta está situada en uno de los puntos más altos de la zona.

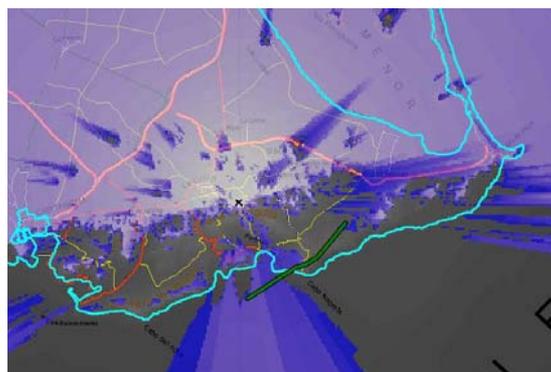
Estas principales formaciones se observan en las siguientes imágenes:



Sierra de la Fausilla



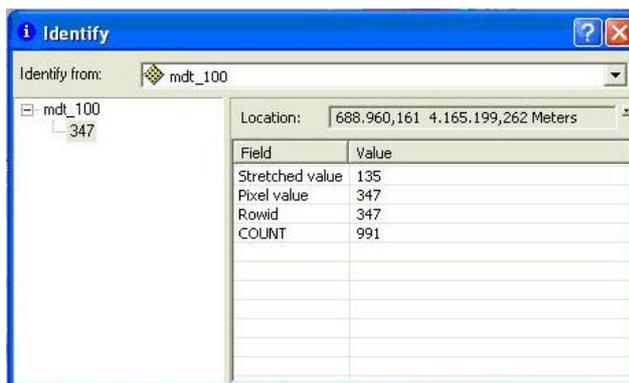
Peña del Águila



Monte de las Cenizas

5.4. EMPLAZAMIENTOS DE PARTIDA

Para plantear los posibles emplazamientos de los repetidores se buscan las coordenadas más altas del área a cubrir que además tengan cobertura desde la Estación Base. Para ello con la herramienta 'Identify' de Arcmap se va recorriendo la orografía de la zona buscando los puntos con más altura.



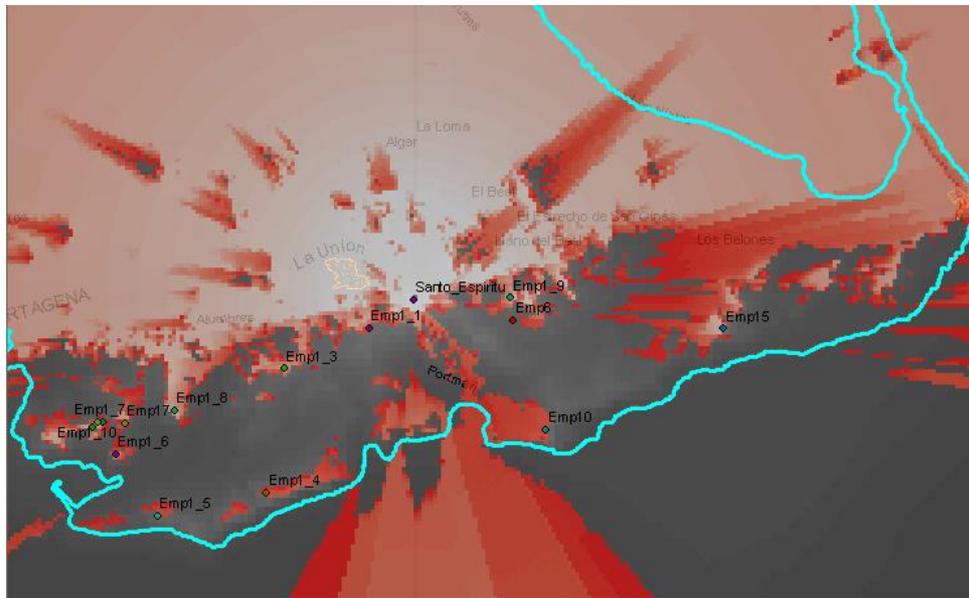
Esta herramienta va obteniendo la altura del punto seleccionado con el cursor del mapa del terreno de resolución 100m.

En principio se obtienen catorce emplazamientos de partida que cumplen los requisitos exigidos:

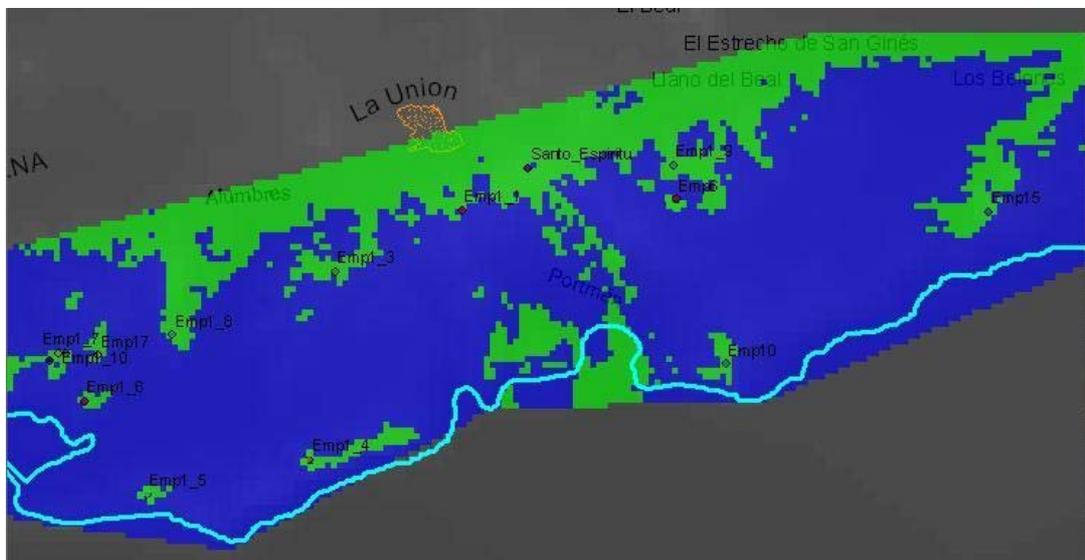
Altura(m)	Coordenadas		Nombre
	x	Y	
205	691515,332	4164636,770	Emp6
280	692358,137	4161846,794	Emp10
315	696830,671	4164421,414	Emp15
142	681707,462	4161994,667	Emp17
299	687878,309	4164447,865	Emp1_1
300	685733,064	4163407,746	Emp1_3
306	685294,264	4160222,383	Emp1_4
253	682531,450	4159621,065	Emp1_5
189	681475,079	4161213,746	Emp1_6
201	681166,294	4162026,339	Emp1_7
275	682970,250	4162335,124	Emp1_8
309	691466,230	4165217,996	Emp1_9
212	681040,263	4162015,087	Emp1_10
240	680892,878	4161911,510	Emp1_11

Se crean los emplazamientos en el mapa de la misma forma que se ha creado el emplazamiento de la Estación Base en el apartado anterior. En la siguiente imagen se observa la ubicación de los mismos y se comprueba que poseen cobertura de

potencia desde la Estación Base, calculando ésta pero en este caso sobre el enlace BTS-Repetidor:



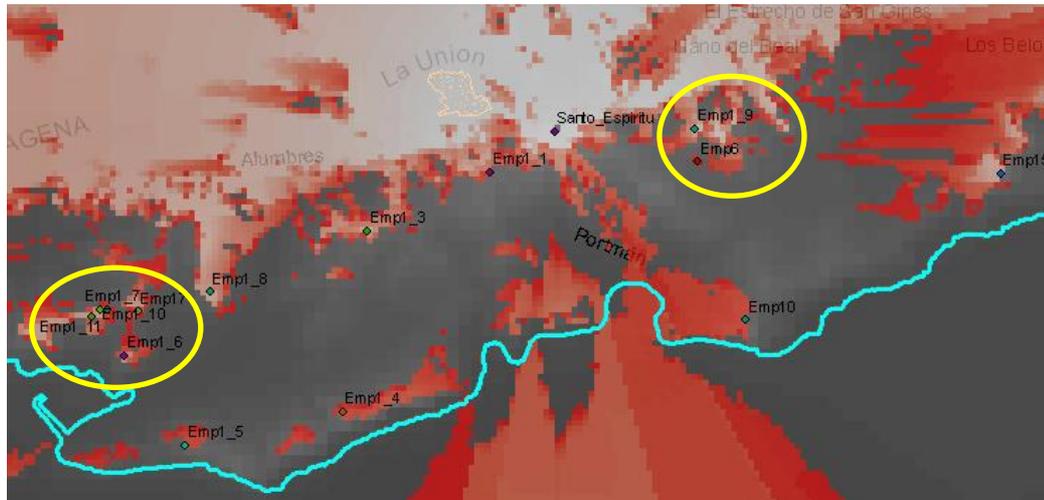
Y en definitiva con el mapa sobre umbral también de la BTS, pero ahora sobre la cobertura de potencia recientemente calculada, se comprueba que los emplazamientos poseen cobertura radioeléctrica:



5.5. OPTIMIZACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

Sobre los catorce emplazamientos de partida, candidatos a la futura localización de los repetidores a colocar para proporcionar la extensión de cobertura, se hace

necesaria una optimización del número de los mismos ya que algunos de ellos están muy próximos. Éste será el primer criterio para prescindir de más de uno.

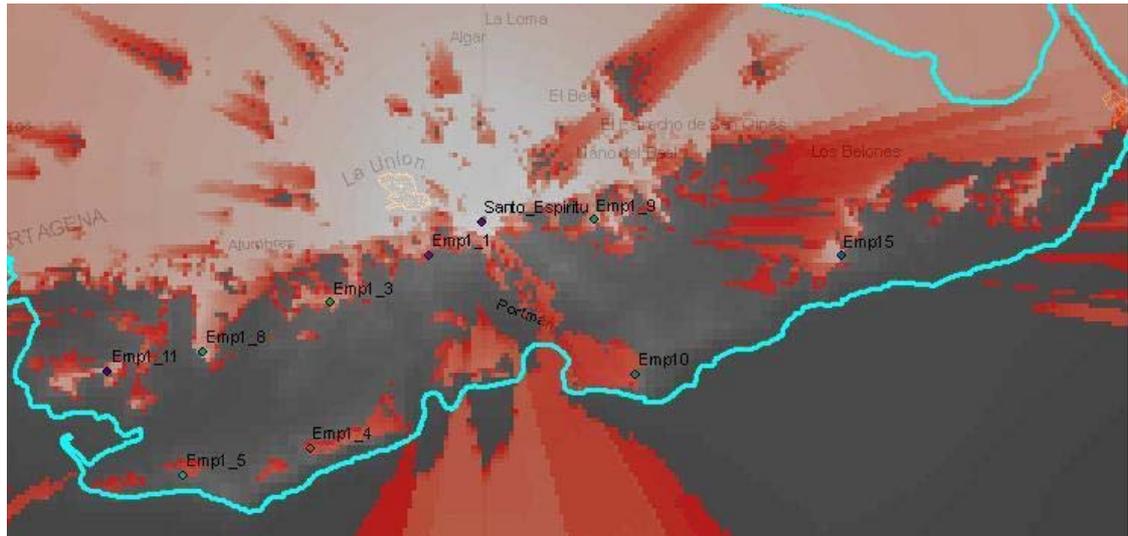


Si se observa la situación en el mapa de los emplazamientos de partida se aprecia que hay dos grupos claramente definidos. Se procede a estudiar cada uno de ellos para ver cuántos y cuáles emplazamientos es posible eliminar.

Se observa que a la derecha de Santo Espiritu hay dos emplazamientos muy próximos, se trata del *Emp6* y el *Emp11_9* si se sigue el mismo criterio que se ha seguido para seleccionar los emplazamientos de partida se puede eliminar el *Emp6* con una altura de 205 metros frente a los 309 del *Emp11_9*.

A la izquierda de la imagen, la zona más occidental del área de estudio, se observa un grupo de cinco emplazamientos muy próximos, *Emp17*, *Emp1_6*, *Emp1_7*, *Emp1_10* y *Emp1_11*. Siguiendo el criterio de la altura se pueden eliminar cuatro de ellos: *Emp17* (142m), *Emp1_6* (189m), *Emp1_7* (201m) y *Emp1_10* (212m) quedándose en esta zona el emplazamiento *Emp1_11* con 240 metros de altura.

Después de esta primera fase de optimización se cuenta con nueve emplazamientos:



A continuación se procede a calcular la cobertura de potencia y el porcentaje sobre umbral de estos nueve emplazamientos.

En este caso se trabaja sobre el enlace Repetidor a Móvil, tal y como se estudió en el balance de potencias realizado previamente la cobertura individual de potencia vendrá fijada por el enlace ascendente, el más desfavorable, por lo que se utilizarán los datos de éste para calcularla. Cabe a destacar que en este caso se trabaja en la banda de GSM900 como se detalló al inicio del capítulo cuatro. Se comienza con el *Emp1_1* y se realiza de la misma manera para los ocho restantes.

Por tanto, los parámetros para el cálculo de la cobertura individual de potencia que el repetidor proporcionará a móvil desde el emplazamiento *Emp1_1* son:

Transmisión

- Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) = 33,1603 dBm

Recepción

- Ganancia (G_{rx}) = 2 dBi
- Pérdidas (L_{rx}) = 0 dB
- Sensibilidad (S) = -103 dBm

Pérdidas de propagación

Estación Base:

- Emplazamiento: *Emp1_1*
- Altura del mástil: 30 m
- Diagrama de radiación: omnidireccional

Estación móvil:

- Altura móvil: 2m
- Diagrama de radiación: omnidireccional

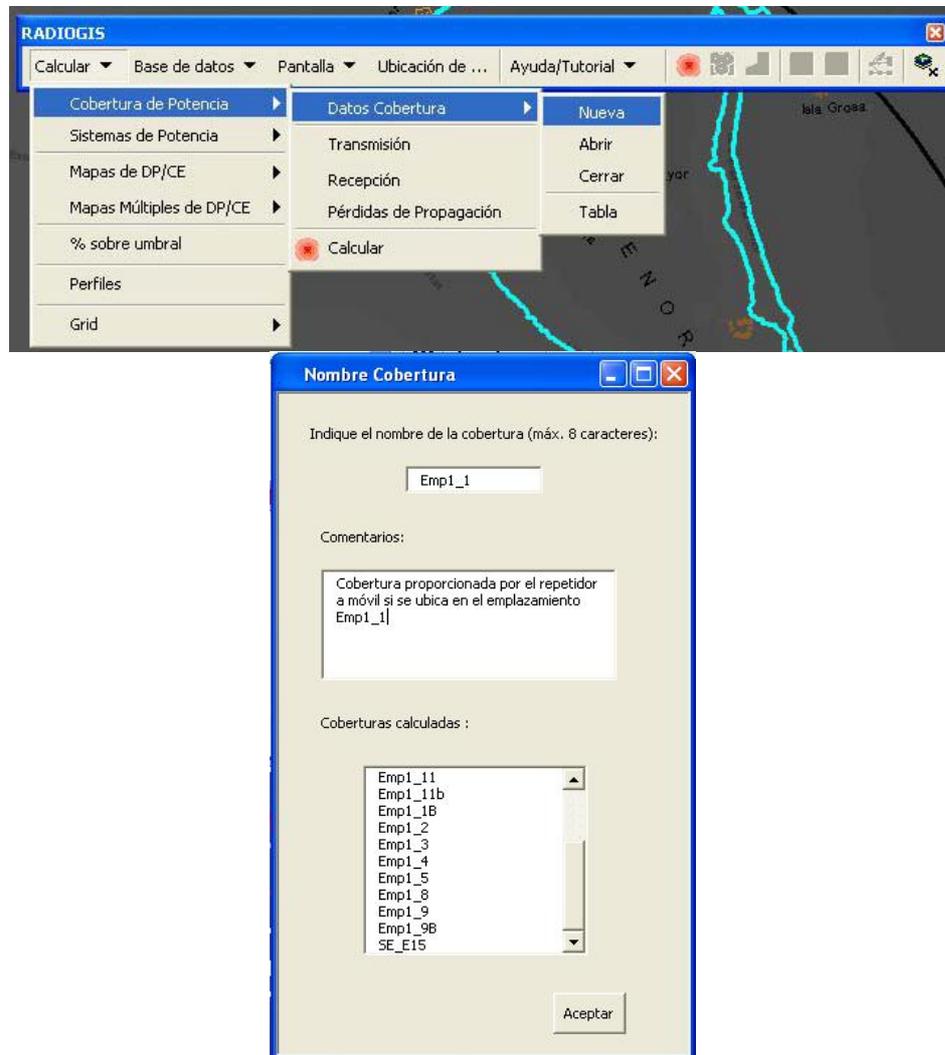
Parámetros comunes:

- Frecuencia: 900 Mhz

Zona de cálculo

- Circular con $R=20000m$

A continuación se crea la nueva cobertura de potencia con el nombre ‘Emp1_1’. Al igual que se hizo para calcular la cobertura de potencia de la Estación Base se utiliza la opción **Calcular/Cobertura de potencia/Datos cobertura/Nueva**.



Se completa el resto de menús necesarios para el cálculo introduciendo los datos de partida especificados previamente, eligiendo además:

- Modelo de propagación ‘UTTR-526’
- Resolución de 100 metros
- Ningún mapa de pérdidas adicionales por uso del suelo



Emp1_1-Pérdidas de propagación

estación base | estación móvil | parámetros comunes | zona de cálculo

ubicación:

Seleccionar Emplazamiento

coordenada x (m): 687878,31

coordenada y (m): 4164447,86

altura (m) sobre el suelo: 30

antena

ruta: C:\RADIOGIS\diagramas\omnidireccional.dat

Plano E

Plano H

orientación

Plano Horizontal

Plano Vertical

acimut (0°,359°): 0

elevación (-90°,90°): 0

<-- Atrás Aceptar

Emp1_1-Pérdidas de propagación

estación base | estación móvil | parámetros comunes | zona de cálculo

antena

altura (m) sobre el suelo: 21

antena

ruta: C:\RADIOGIS\diagramas\omnidireccional.dat

Plano E

Plano H

orientación

Plano Horizontal

Plano Vertical

acimut (0°,359°): 0

elevación (-90°,90°): 0

<-- Atrás Aceptar

Emp1_1-Pérdidas de propagación

estación base | estación móvil | parámetros comunes | zona de cálculo

datos

frecuencia: 900 MHz

método de cálculo: UITR-526

modelo digital del terreno (MDT):

D:\Datos_Geograficos\mdt_ascii\mdt_100.txt

Mapa de pérdidas adicionales por uso del suelo: ninguno

Factor k: 1,33

resolución mdt (m): 100

<-- Atrás Aceptar

Emp1_1-Pérdidas de propagación

estación base | estación móvil | parámetros comunes | zona de cálculo

ratón círculo

zona de cálculo

Xsi (m): Xid (m):

Ysi (m): Yid (m):

zona de cálculo

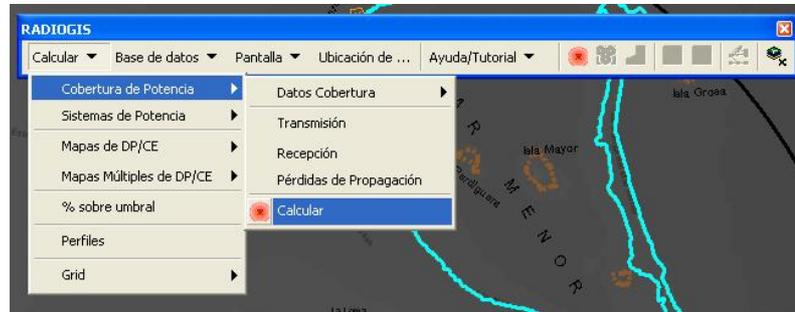
radio (m): 20000

xcentro(m): 687878,31

ycentro(m): 4164447,86

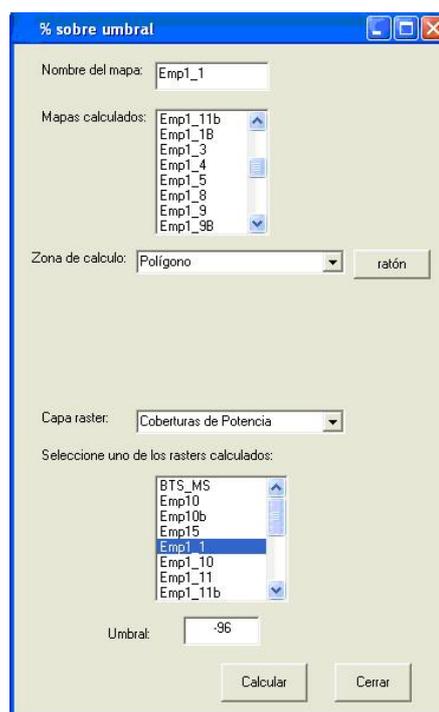
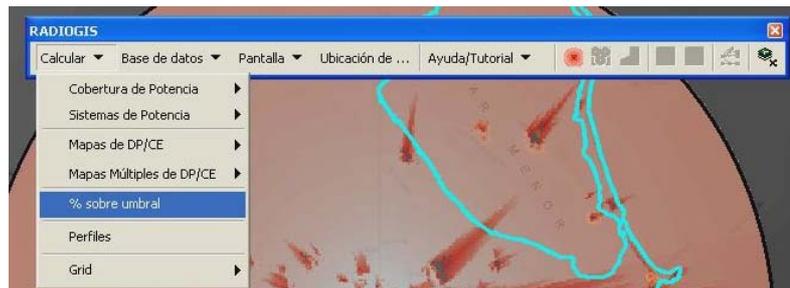
<-- Atrás Aceptar

Cuando se han completado todos los menús, se elige la opción calcular mediante la opción **Calcular/Cobertura de potencia/Calcular** o mediante el botón correspondiente de la barra de herramientas de RADIOGIS.



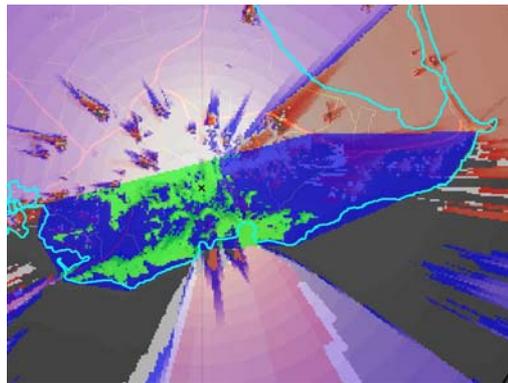
Tras el cálculo de la cobertura de potencia ya se puede calcular los porcentajes de cobertura a partir del porcentaje sobre umbral. En este caso se utilizará una potencia umbral de -96 dBm, resultante de sumarle a la sensibilidad de recepción del repetidor (-103dBm) un margen de desvanecimiento de 7 dB.

$$P_{\text{umbral}} \text{ (dBm)} = S \text{ (dBm)} + MF \text{ (dB)} = -103 + 7 = -96 \text{ dBm}$$



Se define una zona dónde calcular el porcentaje, mismo polígono que se utilizó para la cobertura desde la Estación Base y se obtiene la cobertura en desde el repetidor situado en el Emp1_1 en la zona en cuestión.

En la siguiente imagen se observa el resultado de la cobertura de potencia calculada y del % sobre umbral.



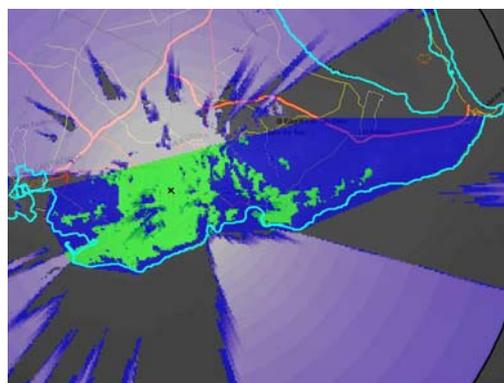
En rojo la cobertura de potencia desde la Estación Base situada en Santo Espíritu y azul se superpone la cobertura de potencia que proporciona el repetidor situado en el emplazamiento *Emp1_1* que irá desde los $-44,2385$ dBm hasta los $-102,969$ dBm.

También se representa la zona sobre la que se ha calculado el % sobre umbral en la que sólo el 22,6% de los píxeles superan la potencia umbral. En conclusión este posible emplazamiento para uno de los repetidores, aunque no supera en porcentaje de cobertura a los 26,6% proporcionados por la Estación Base, refuerza levemente la cobertura de ésta en zonas próximas y en la costa oeste (zonas del mapa en color verde).

Se continúa con el resto de los emplazamientos de la misma manera que con el *Emp1_1* y con los mismos parámetros de cálculo, solo se varía la ubicación del repetidor en la pestaña 'Estación Base' del menú de cálculo para la cobertura individual de potencia eligiendo el emplazamiento en cuestión. Así mismo para el cálculo del % sobre umbral se seleccionará como raster calculado el de la cobertura de potencia correspondiente.

Los resultados para los ocho restantes emplazamientos son los siguientes:

- *Emp1_3*:



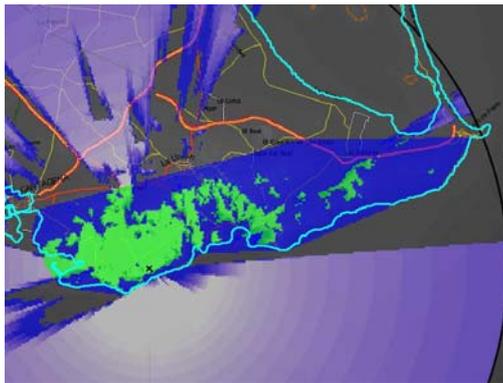
En azul la cobertura de potencia que proporciona el repetidor si se sitúa en este emplazamiento, ésta rondará desde los $-44,2385$ dBm hasta los $-102,997$ dBm.

En cuanto al cálculo del % sobre umbral un 33,31% de los píxeles superan el umbral de los -96 dBm, éste es el porcentaje de los mismos que tendrán cobertura. Si se compara con el

Emp1_1, ya que están próximos y su zona de actuación es similar, el *Emp1_3* proporciona un mayor porcentaje de cobertura frente al primero. Por lo tanto si se tiene que elegir entre estos dos emplazamientos para proporcionar una buena cobertura en la zona centro-oeste se elegiría el *Emp1_3*.

- *Emp1_4*:

Se observa la cobertura individual de potencia que proporciona el repetidor si se ubica en el emplazamiento en cuestión así como el % de píxeles que superan el umbral definido.

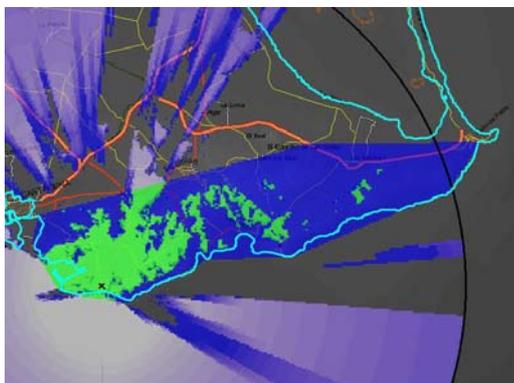


La cobertura de potencia rondará desde los -44,2385 dBm de las zonas con color azul más suave hasta los -102,997 dBm en los que el color azul es más intenso. En cuanto a la cobertura que

proporciona es de un 31,81%.

Se puede observar que la zona de influencia, en cuanto al polígono donde se estudia la cobertura, es muy similar a la del repetidor que se sitúa en el *Emp1_3*, sólo un 1,5% más separa a éste último del *Emp1_4*. Cabe a destacar que el *Emp1_4* proporciona una mayor cobertura de potencia en la costa debido a la cercanía de éste a la misma.

- *Emp1_5*:

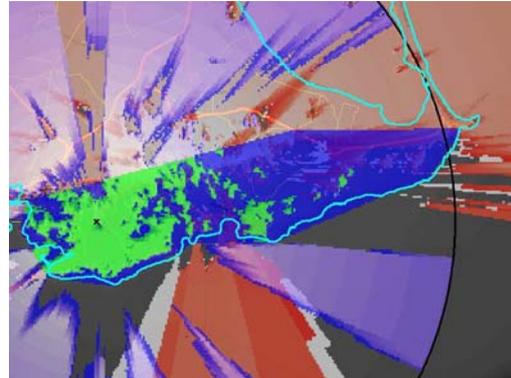


Próximo a los emplazamientos *Emp1_3* y *Emp1_4*, por lo que la zona de influencia también es similar. El *Emp1_5* proporciona un 28,96% frente a los 33,31% del *Emp1_3* y los 31,81% del *Emp1_4*, aunque hay que destacar que debido a la proximidad de éste último a la costa suroeste

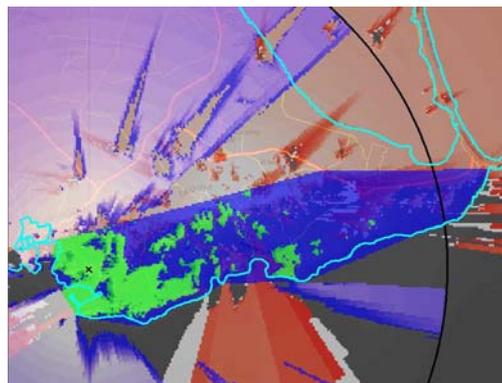
proporciona mayor cobertura de potencia en la misma.

- *Emp1_8:*

Cobertura muy similar a la del *Emp1_8* en porcentaje (33,63%) y en zona de influencia aunque en esto último se diferencian levemente ya que al situarse el emplazamiento en estudio más al interior no proporciona buena cobertura de potencia en la costa.

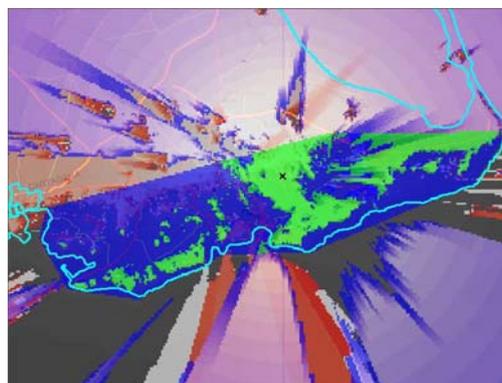


- *Emp1_11:*



La influencia del repetidor en este emplazamiento es muy similar a la del caso del *Emp1_5* debido a la proximidad entre éstos, aunque la cobertura del emplazamiento en estudio es de 24,82% frente a los 28,96% del *Emp1_5*.

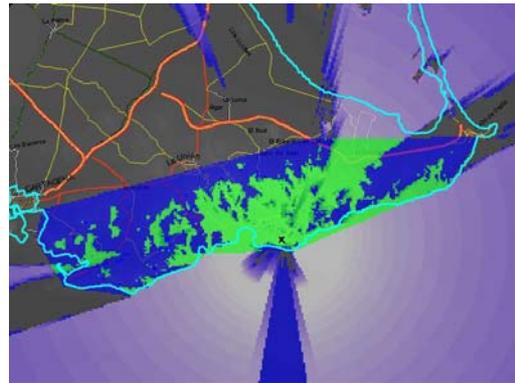
- *Emp1_9:*



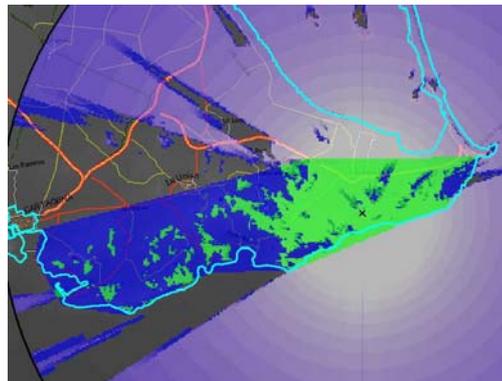
En rojo la cobertura desde la Estación Base y en azul la proporcionada por el repetidor situado en el *Emp1_9*, que como se observa influye en la zona centro-este en su mayoría aunque también hay una pequeña zona de influencia cercana a la costa suroeste. El porcentaje de cobertura proporcionado es de un 30,64%, por tanto, una buena cobertura y bastante repartida por la zona en estudio.

- *Emp10:*

El repetidor en esta ubicación proporciona, como se observa en la imagen, una cobertura en la zona centro bastante reforzada respecto a la de la Estación Base, repartida también por la zona este y, en menor medida, por la zona oeste, con un total de cobertura de 42,92%. Por lo que es, hasta ahora, el mejor emplazamiento debido a que proporciona la mayor cobertura respecto a los demás y, por tanto, la mayor área de influencia.



- *Emp15:*



Puesto a que es el único emplazamiento situado más al este es el que proporciona mayor cobertura en esta zona con un 41,64%. Junto al *Emp10* es de los que mayor cobertura proporciona.

A continuación se muestra una tabla con las conclusiones del estudio de la cobertura de estos ocho emplazamientos:

Emplazamiento	Cobertura		Zona Influencia
	SI	NO	
Emp1_1	22,6	77,4	Centro-Oeste
Emp1_3	33,31	66,69	Oeste
Emp1_4	31,81	68,19	Oeste
Emp1_5	28,96	71,04	Oeste
Emp1_8	33,63	66,37	Oeste
Emp1_11	24,82	75,18	Oeste
Emp1_9	30,64	69,36	Centro-Este
Emp10	42,92	57,08	Centro-Este
Emp15	41,64	58,36	Este

En la siguiente fase de optimización ya no se va a considerar la altura sino otro requisito imprescindible como es el buen acceso del emplazamiento, necesario para la instalación y mantenimiento de los repetidores, que vendrá determinado por la cercanía a carreteras o caminos. Para ello se carga la capa raster de las “Vías de Comunicación” en el mapa que incluye: autopistas, autovías autonómicas, carreteras nacionales, carreteras de 1^{er}, 2^{do} y 3^{er} orden y travesías.



Como se ha comprobado anteriormente hay cinco emplazamientos con zonas de influencia y porcentajes de coberturas similares, *Emp1_3*, *Emp1_4*, *Emp1_5*, *Emp1_8* y *Emp1_11*. Se puede observar en el mapa que de estos emplazamientos el único que tiene buenos accesos es el *Emp1_11* que se sitúa cercano a una carretera de 3^{er} orden (F-46) por lo que los cuatro restantes se pueden eliminar a pesar de que el *Emp1_11* es el que menor cobertura proporciona de ellos.

En cuanto al *Emp15*, proporciona muy buena cobertura pero tiene malos accesos por lo que se tendrá que prescindir de él.

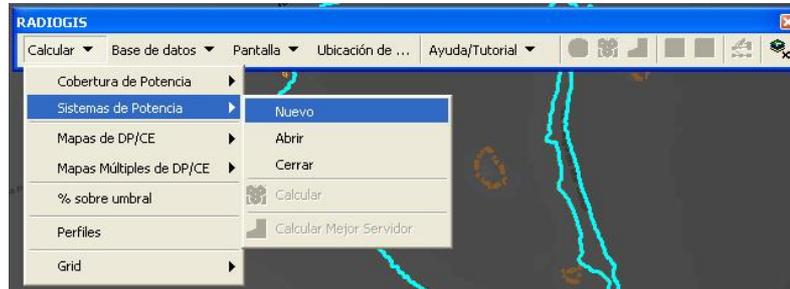
Si observamos los emplazamientos restantes los tres tienen buenos accesos, los *Emp1_1* y *Emp10* se sitúan muy próximos a carreteras de 3^{er} orden (F-44 y MU-314 respectivamente) mientras que el *Emp1_9* se encuentra próximo a una pista.

Por tanto, siguiendo este último criterio quedarán cuatro emplazamientos con gran altura y buenos accesos, éstos son: *Emp1_1*, *Emp1_9*, *Emp1_11* y *Emp10*.

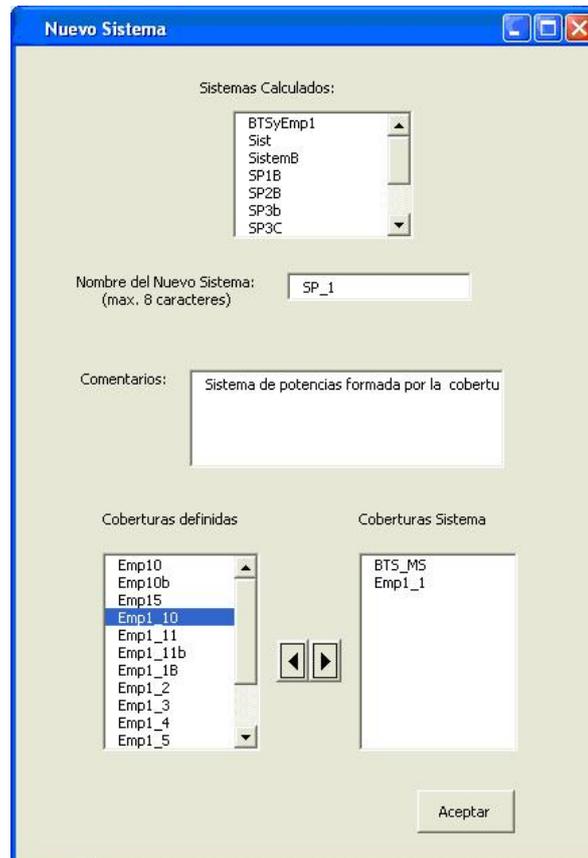
Se observa que entre todas las zonas de influencia de los emplazamientos seleccionados se puede llegar a dar cobertura a casi la totalidad de la zona de sombra a cubrir por lo que estos cuatro emplazamientos son buenos candidatos a ser las ubicaciones elegidas para los repetidores que proporcionarán la cobertura extendida.

Si se recuerda el sistema de extensión de cobertura consta de dos enlaces, el de Estación Base a Repetidor que proporciona la cobertura inicial GSM y el de Repetidor a Móvil que proporciona la cobertura GSM extendida por lo que para conocer la cobertura real del sistema habrá que tener en cuenta la cobertura que proporciona la BTS y la que proporciona el Repetidor, para ello una vez calculadas

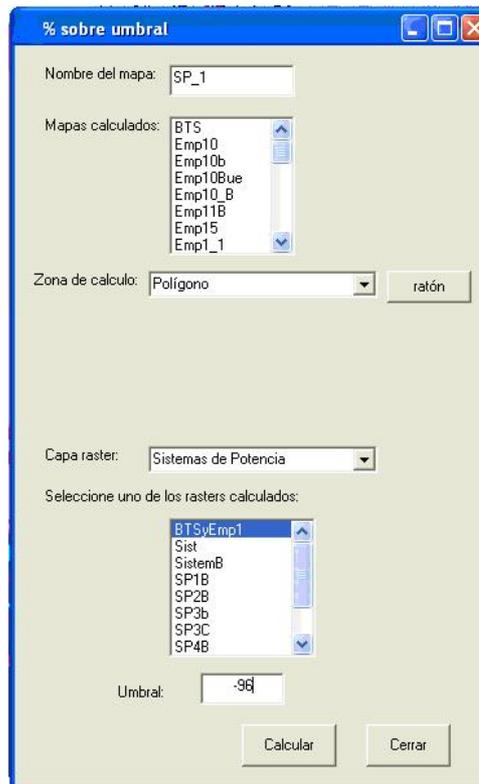
las coberturas individuales de potencia de ambos enlaces se calcula la cobertura de potencia del sistema mediante la opción **Calcular/Sistema de potencia/Nuevo** de Radiogis:



En principio se crean cuatro sistemas de potencia formados por la cobertura individual de potencia proporcionada por la Estación Base y la cobertura individual de potencia que proporciona el repetidor que se ubica en cada uno de los cuatro emplazamientos finales.



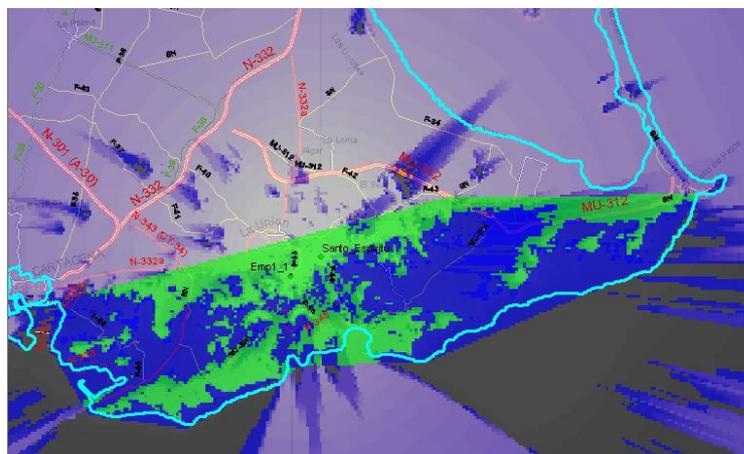
Posteriormente se calcula el % sobre umbral del sistema de potencia indicando como potencia umbral la más restrictiva entre los dos enlaces, ésta será la correspondiente al enlace GSM900 de Repetidor a Móvil con una P_{umbral} de -96dBm.



En este caso, como se aprecia en la imagen, se selecciona como capa raster la de los Sistemas de Potencia y como raster calculado el sistema de potencia correspondiente.

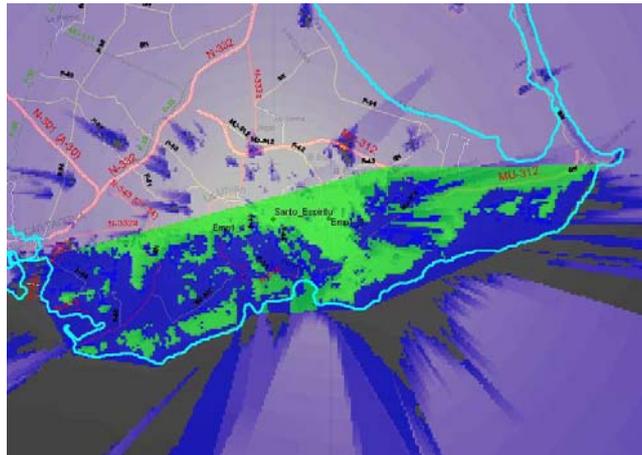
De esta manera se observa la cobertura que proporciona el sistema de los dos enlaces planteado para cada uno de los posibles emplazamientos para los repetidores:

- Sistema de potencia 1 ("SP_1"): formado por cobertura de BTS y la proporcionada por el repetidor que se situaría en el *Emp1_1*.



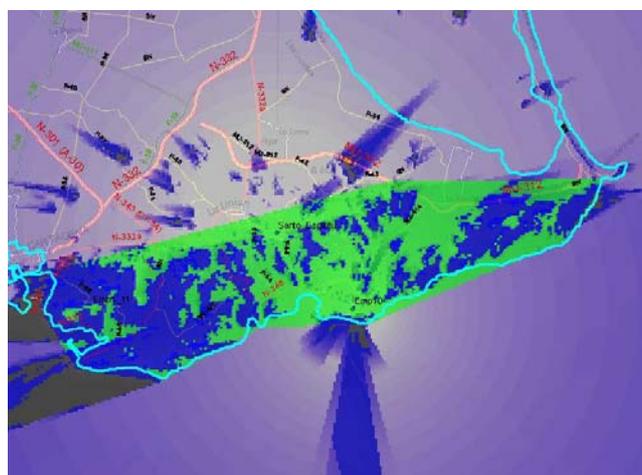
La cobertura proporcionada es muy similar a la del *Emp1_1* por sí solo, con la diferencia que se cubre un pequeño área en la zona este. El total de cobertura en la zona de estudio si se utiliza este emplazamiento es de 41,66% que, como se aprecia, no es muy buena si se tiene en cuenta que algunos de los emplazamientos por sí solos, sin contar con el apoyo de la BTS, proporcionan el mismo o incluso mayor porcentaje de cobertura. Además esta bastante dispersa.

- Sistema de potencia 2 (“SP_2”): formado por cobertura de BTS y la proporcionada por el repetidor que se situaría en el *Emp1_9*.



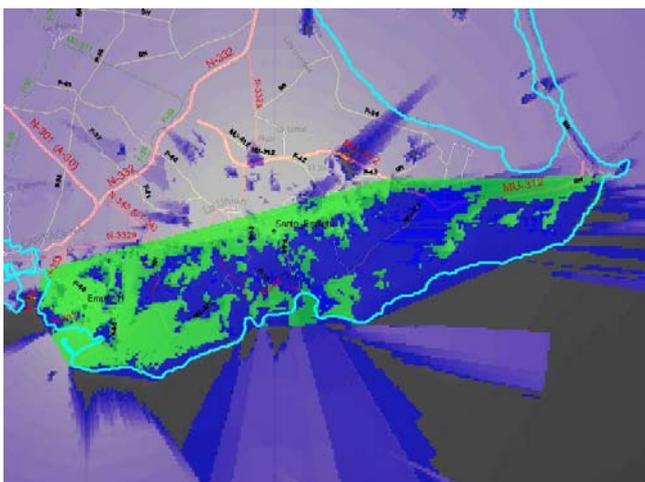
Al igual que en el sistema anterior la cobertura proporcionada es muy similar a la del *Emp1_9* pero en este caso se verá reforzada por la de la BTS en la zona oeste. El total de la cobertura será de 43,94%, un resultado que no mejora mucho al anterior, ya que sigue habiendo emplazamientos que por sí solos proporcionan la misma cobertura.

- Sistema de potencia 3 (“SP_3”): formado por cobertura de BTS y la proporcionada por el repetidor que se situaría en el *Emp10*.



Puesto que ya la cobertura proporcionada por el *Emp10* por sí solo era bastante buena (42,92%), ésta se ve reforzada en zonas donde era prácticamente nula por la cobertura de la BTS. Este sistema proporciona un total de 55,94% de cobertura, un poco más de la mitad del área de la zona de sombra, por lo que, hasta ahora es un claramente candidato a formar parte del sistema final de extensión de cobertura, sólo un área más al oeste quedaría descubierta.

- Sistema de potencia 4 (“SP_4”): formado por cobertura de BTS y la proporcionada por el repetidor que se situaría en el *Emp1_11*.



Se puede observar que este sistema solucionaría el problema del último sistema estudiado (“SP_3”) ya que proporciona la cobertura que se necesita en el área más al oeste de la zona de estudio con un total de 48,08% que, aunque se centra más al oeste también tiene algunos otros focos repartidos por todo el área.

Finalmente, observando los mapas de cobertura de los cuatro sistemas de potencia así como los porcentajes de la misma:

Sistema de Potencia	Cobertura	
	SI	NO
SP_1	41,66	58,34
SP_2	43,94	56,06
SP_3	55,94	44,06
SP_4	48,08	51,98

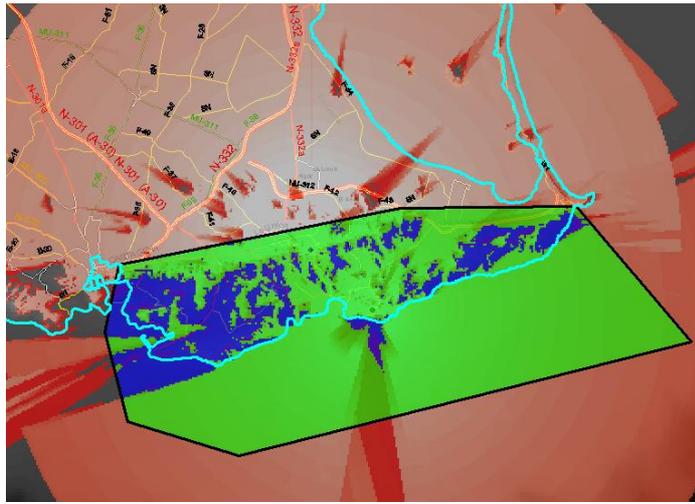
Se llega a la conclusión que se puede hacer una última optimización debido a que los dos primeros sistemas, además de tener los porcentajes más bajos de cobertura, no tienen una zona de actuación claramente definida, ésta está bastante dispersa. Por tanto, si se superponen los mapas de los dos sistemas de potencia restantes (SP_3 y SP_4) se cubriría la mayor parte de la zona de sombra inicial.

Por tanto, tras varias optimizaciones, los emplazamientos finales elegidos serían dos: el *Emp10* y el *Emp1_11*.

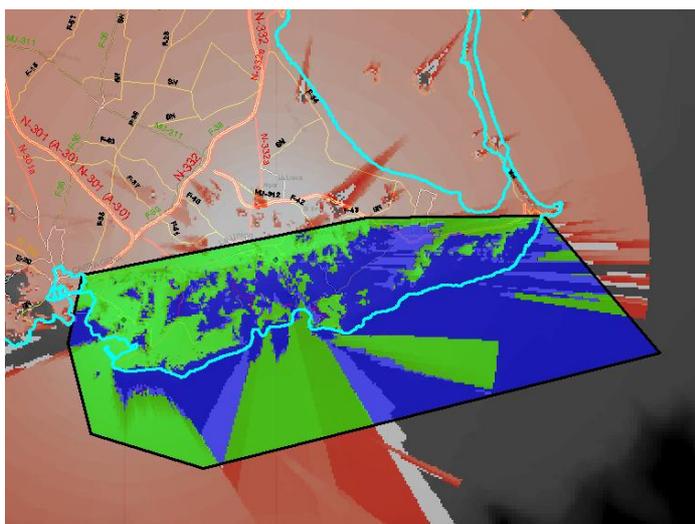
Como se puede recordar, hasta ahora, todos los estudios % sobre umbral se han hecho sobre un polígono que cubría la zona en estudio pero éste dejaba fuera la zona de la costa. A continuación ampliamos el polígono de estudio a la misma para poder comprobar que efectivamente con estos dos emplazamientos finales se puede solventar el problema de cobertura también en la costa.

Para ello se crean dos nuevos mapas de cobertura estudiados sobre los dos sistemas de potencia elegidos pero definiendo un polígono más grande y los resultados son los siguientes:

Mapa de cobertura del sistema de potencia SP_3, formado por la BTS y el *Emp10* con un total de cobertura del 80,22% y que, como se observa es bastante buena en la costa.



Mapa de cobertura del sistema de potencia SP_4, formado por la BTS y el *Emp1_11* con un total de cobertura del 46,97% que, no es continuada en toda la costa oeste pero las zonas en las que la cobertura no es buena se puede suplir con la proporcionada por el sistema anterior.



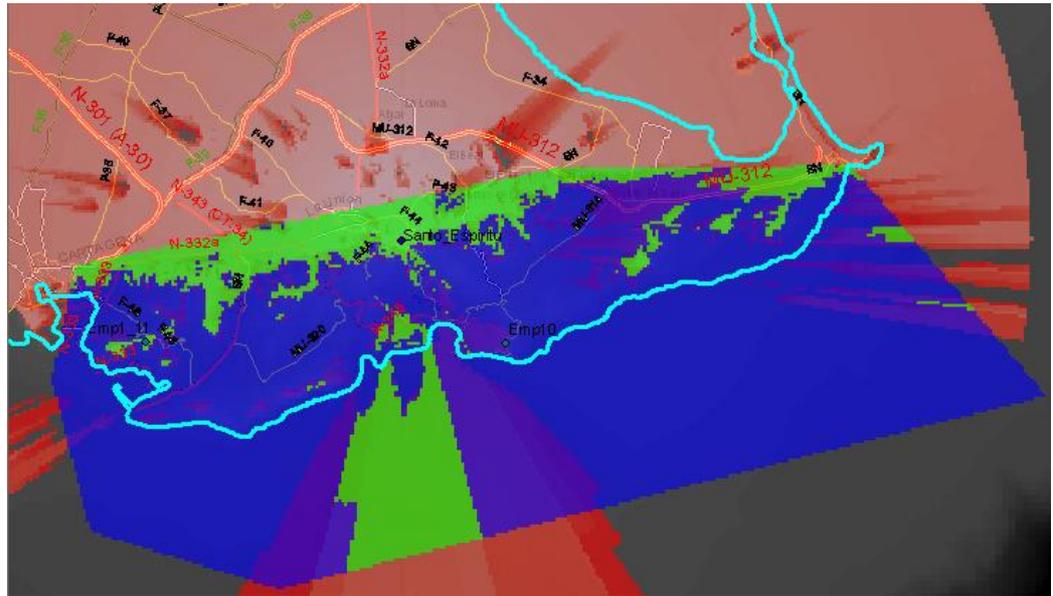
Finalmente se construye el sistema final formado por la Estación Base y dos repetidores que, situados en los emplazamientos *Emp1_11* y *Emp10* cubrirán casi la totalidad de la zona de sombra inicial. Se calcula la cobertura del sistema y el %sobre umbral con una P_{umbral} de -96dBm y el resultado es el siguiente:



Capítulo VI

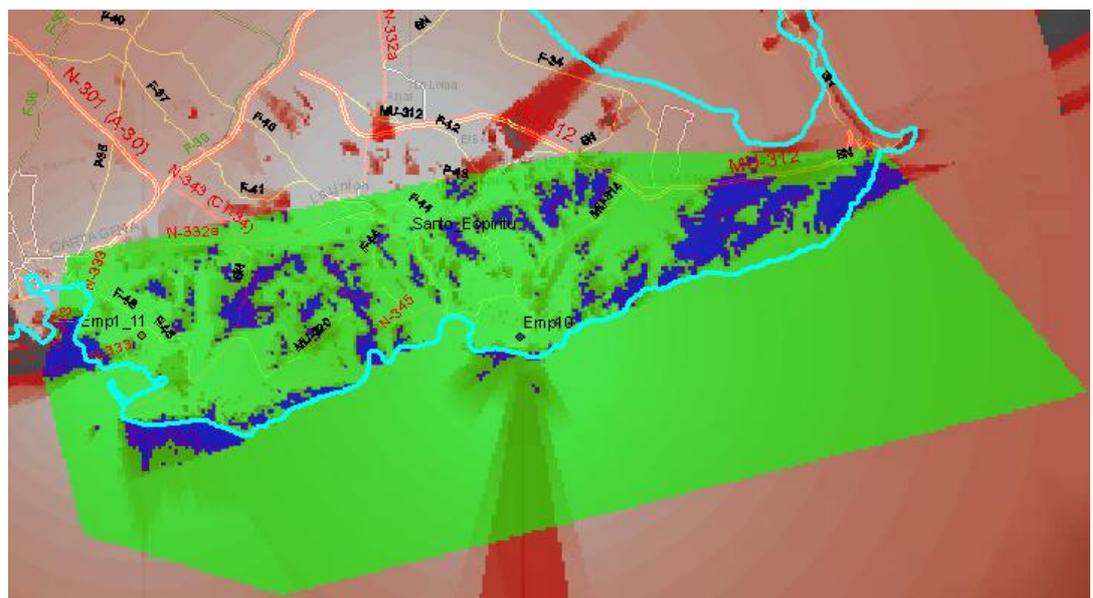
Conclusiones y Futuras líneas de Trabajo

Se partió de un sistema inicial formado por un enlace Estación Base a móvil con una gran zona de sombra de cobertura definida:



En el que la cobertura solo era posible en el 17,26% de la zona de estudio definida.

El desarrollo de este proyecto da lugar a un sistema de extensión de cobertura formado por un Enlace Base a Repetidor en la banda DCS1800 y otro enlace Repetidor a Móvil en la banda GSM900. Tras el estudio de los posibles emplazamientos para los repetidores se cubre prácticamente la totalidad de la zona de sombra con dos de ellos. Por tanto, el sistema final está formado por la Estación Base y dos Repetidores situados en los emplazamientos *Emp1_11* y *Emp10*.



Con este sistema se ha pasado a tener un 17,26% de cobertura a tener un 90,72%, aunque no se cubre con totalidad la zona de sombra se ha mejorado bastante incluso en la costa.

Como futuras líneas de trabajo se puede extender esta planificación de extensión de cobertura radioeléctrica del sistema GSM mediante repetidores a toda la Región de Murcia, haciendo hincapié en los núcleos urbanos.

Otra posibilidad sería la planificación de extensión de cobertura radioeléctrica del sistema GSM pero utilizando repetidores móviles, esta opción sería bastante útil para actuaciones de los equipos de emergencias en zonas en las que la cobertura no es óptima.

Capítulo VII

Referencias Bibliográficas

[1] JM Hernando Rábanos, ‘Transmisión por radio’, Ed. Centro de estudios Ramón Areces, Tercera edición, 1998.

[2] JM Hernando Rábanos, ‘Comunicaciones móviles’, Ed. Centro de estudios Ramón Areces, 1997.

[3] Fco. Javier Ponce Juan, José María Molina García-Pardo, José Víctor Rodríguez Rodríguez, Leandro Juan Llácer, “RAGIS: herramienta de gestión y de cálculo de cobertura radioeléctrica basada en sistemas de información geográfica”, *Asociación Hispanoamérica de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones*, vol. 101, pp. 59-63, Enero 2005.

[4] <http://www.teltronic.com>

[5] <http://www.repetidorgsm.com/productos>

[6] <http://www.remotek.com.tw/DCS-GSM-repeater.htm>

[7] <http://www.kathrein.com.br/espanhol/frames.asp>

[8] http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,m,1039&r=ReP-3311-DETALLE_REPORTAJESPADRE

