TRABAJO FINAL DE CARRERA

Títol: Diseño e implementación de la instalación para dotar de cobertura UMTS y GSM/1800 a un parking

Autor: Juan José Cuesto Gil

Director: Luis Alonso Zárate

Data: 15 de abril de 2009

Resumen

En este proyecto vamos a realizar el diseño de la instalación para dotar de cobertura a un parking.

Una vez tenemos las características del parking y del servicio de comunicaciones que el cliente quiere instalar, realizamos un estudio de como extender la cobertura al interior de la instalación, para ello primero captamos la señal que llega fuera del parking.

Después realizamos el diseño de un esquema unifilar que nos permite distribuir la señal captada fuera del parking hasta las antenas que van a extender la cobertura en el interior de la instalación.

El siguiente punto ha sido, calcular la potencia radiada por cada una de las antenas instaladas, teniendo en cuenta la atenuación por propagación radioeléctrica de la señal y la atenuación producida por los diferentes obstáculos que la señal se va a encontrar en el parking, podemos estimar como va a quedar la cobertura en toda la superficie de la instalación.

Una forma de ver gráficamente el nivel d cobertura en el interior del parking, es realizar un mapa de cobertura, el cual estamos en disposición de elaborar, con los datos que hemos recopilado durante la realización de este proyecto.

Por último hemos hecho un presupuesto del coste de la instalación que hemos diseñado.

Overview

In this Project we will undertake the design of the facility to provide coverage to a parking.

Once we have characteristics of parking and communications service that the costumer wants to install, we´ll start a study on how to improve coverage into the installation, for that, firstly we have to take the signal coming out of the parking.

After that, we´ll make the design of a single scheme that allows us to distribute the signal picked up outside the parking up to the antennas that will extend coverage inside the facility.

The next point has been calculating the power radiated by each of the antennas installed, taking into account the attenuation of radio propagation and signal attenuation caused by the different obstacles that the signal will be found in the parking, we can estimate how the coverage will be over the entire surface of the plant.

One way to graphically see the level coverage in the interior of the parking is to create a coverage map, which we are able to develop, with the data we have collected during the completion of this project.

Finally we have an estimate cost of the facility that we have designed

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutor de proyecto Luis Alonso Zárate, todo el tiempo que me ha dedicado, así como la colaboración de mis compañeros y amigos, Julio Villanueva Cañas, Félix Sánchez Hurtado y Bernat Tort Escudero. La elaboración de este proyecto no hubiese sido posible sin la inestimable colaboración de todos ellos.

Índice

INTRODUCCIÓN, ... 1
MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS,..... 2

Capitulo 1 COBERTURA RADIOELÉCTRICA, ... 3
1.1. Consideraciones generales, ... 3
1.2. Cálculos de cobertura, ... 3
1.2.1. Alcance de una estación base, ... 4
1.3. Clasificación de entornos, ... 4
1.4. Compatibilidad electromagnética., ... 5
1.4.1. Interferencia cocanal., ... 5
1.4.2. Interferencia fuera del canal., ... 6

Capitulo 2 AMPLIFICADORES, ... 7
2.1. Clasificación de amplificadores, ... 7
2.2. Clasificación de amplificadores de potencia, ... 7
2.3. Repetidores, ... 7
2.3.1. Clasificación de repetidores, ... 8
2.3.1.1. Repetidores sobre soporte físico, ... 8
2.3.1.2. Repetidores sobre enlace inalámbrico, ... 9
2.3.2. Frecuencias de trabajo de los repetidores, ... 9

Capítulo 3 DEFINICIÓN DEL ESCENARIO, ... 11
3.1. Descripción del parking, 11
3.2. Descripción del sistema de comunicaciones., ... 14

Capítulo 4. SOLUCIÓN PROPUESTA, ... 16
4.1. Diseño con cable radiante, ... 16
4.1.1. Descripción del cable radiante, ... 16
4.1.2. Esquema unifilar Planta -3, ... 17
4.1.3. Cálculos de potencia, ... 19
4.1.4. Atenuación por propagación radioeléctrica., ... 20
4.1.5. Mapa de cobertura para el diseño con cable radiante., ... 20
4.2. Esquema unifilar para el diseño con antenas indor. ,.....24
4.3. Cálculo de potencia y atenuaciones, ... 31
4.3.1. Cálculos de atenuaciones para UMTS, ... 31
4.3.1.1. Atenuación de los cables, ... 31
4.3.1.2. Cálculos de atenuación planta -1, ... 31
4.3.1.3. Cálculos de atenuación planta -2, ... 32
4.3.1.4. Cálculos de atenuación planta -3, ... 32
4.3.2. Cálculo de atenuaciones para DCS, ... 33
4.3.2.1. Atenuación de los cables, ... 33
4.3.2.2. Cálculos de atenuación planta -1, ... 34
4.3.2.3. Cálculos de atenuación planta -2, ... 34
4.3.2.4. Cálculos de atenuación planta -3, ... 35
4.4. Atenuación por propagación radioeléctrica, ... 35
4.4.1. Atenuación de los materiales, ... 38
4.5. Mapas de cobertura., ... 41

4.6. Software de medida, ... 48
4.7. Presupuesto de la instalación, ... 51
4.7.1. Presupuesto para el diseño con cable radiante, ……..51
4.7.2. Presupuesto para el diseño con antenas indoor., ... 52

Conclusiones, ... 53

Anexo 1. EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA, ... 54
1.1. Primera Generación (G1), ... 54
1.1.1. AMPS (Sistema telefónico avanzado), ... 54
1.1.2. TACS (Sistema de comunicaciones de acceso total), ... 54
1.1.3. ETACS (Sistema de comunicaciones de acceso total extendido),... 54
1.2.1. GSM (Global System for Mobile Communications), ... 55
1.2.2. GPRS (General Packet Radio System), ... 55
1.2.3. EDGE (Enhanced data rates for global evolution), ... 55
1.3.1. UMTS, ... 56

Anexo 2. ARQUITECTURA, ... 57
2.1. Arquitectura de la red GSM, ... 57
2.1.1. MS (Mobile Station o estación móvil), ... 57
2.1.2. BSS (Base Station Subsystem o subsistema de estación base), 57
2.1.3. NSS (Network and Switching System o subsistema de red y conmutación), ... 58
2.2. Arquitectura de la red UMTS, ... 59
2.2.1. Núcleo de la red (CN), ... 59
2.2.2. UTRAN (Red de acceso radio), ... 60
2.2.3. Equipo de usuario (UE), ... 60
2.3. Modulación, ... 61
2.3.1. Modulación para GSM, ... 61
2.3.2. Modulación para UMTS, ... 62
2.4. Organismos de estandarización, ... 62
2.4.1. 3GPP, ... 62
2.4.2. Espectro IMT-2000 (International Mobile Telecommunication), ... 63

Anexo 3. Consideraciones generales sobre amplificadores, ... 64
3.1. Caracterización y parámetros de un amplificador de potencia, ... 64
3.2. Curvas AM-AM y AM-PM, ... 64
3.3. PAPR (Peak-to-Average Power Ratio), ... 65
3.4. Punto de compresión a -1 dB, ... 65
3.5. IBO/OBO (Input Back-off/ Output Back-off), ... 65
3.6. Eficiencia, ... 65
3.7. Efectos de las no-linealidades, ... 66
3.7.1. Distorsión dentro de la banda (productos de intermodulación), . 66
3.7.2. Distorsión fuera de la banda, ... 66
3.8. Compromiso entre eficiencia y linealidad, ... 65
3.9. Técnicas de linealización, ... 65
3.9.1. Métodos que reducen la distorsión, ... 65
3.9.2. Métodos que eliminan la distorsión, ... 66

Anexo 4. Antena Logoperiodica, ... 69
Anexo 5. Repetidores y Amplificadores, ... 70
Anexo 6. Divisores de 3 y 4 Puertos, ... 74
Anexo 7. Acopladores, ... 75
Anexo 8. Combinadores, ... 76
Anexo 9: Antena de panel, ... 77
Anexo 10: Antena omnidireccional, ... 78
Anexo 11: Cables Coaxial, ... 79
Anexo 12. Cable Radiante,..... 83

Anexo 13. Cálculo de potencia y atenuaciones, ... 85
13.1. Cálculos de atenuaciones para UMTS, ... 85
13.1.1. Cálculos de atenuación planta -1, ... 85
13.1.2. Cálculos de atenuación planta -2, ... 86
13.1.3. Cálculos de atenuación planta -3, ... 87
13.2. Cálculo de atenuaciones para DCS, ... 87
13.2.1. Cálculos de atenuación planta -1, ... 88
13.2.2. Cálculos de atenuación planta -2, ... 90
13.2.3. Cálculos de atenuación planta -3, ... 90

Anexo 14: LEGISLACIÓN VIGENTE, ... 92
14.1. Código de buenas prácticas, ... 92

Bibliografía, ... 94

Índice de tablas

Tabla 3.1. Señal recibida en la banda UMTS de los diferentes operadores., . 14
Tabla 3.2. Señal recibida en la banda GSM/1800 de los diferentes operadores., ... 14
Tabla 3.3 Frecuencias de la banda DCS utilizadas en nuestro diseño., ... 15
Tabla 3.4 Frecuencias de la banda UMTS utilizadas en nuestro diseño., ... 15
Tabla 4.1 Potencias radiadas en función de la distancia de cable para UMTS del operador Orange., ... 19
Tabla 4.2 Potencias radiadas en función de la distancia de cable para GSM/1800 del operador Orange., ... 19
Tabla 4.3 Cálculos de distancia en función de la potencia para UMTS del operador Orange, ... 20
Tabla 4.4 Cálculos de distancia en función de la potencia para GSM/1800 del operador Orange, ... 20
Tabla 4.5 Atenuación Cable ½" UMTS, ... 31
Tabla 4.6 Atenuación Cable 7/8" UMTS, ... 31
Tabla 4.7 Cálculos de potencia en la planta -1 de la banda UMTS para el operador Orange., ... 32

Tabla 4.8 Cálculos de potencia en la planta -2 de la banda UMTS para el operador Orange., ... 32
Tabla 4.9 Cálculos de potencia en la planta -3 de la banda UMTS para el operador Orange., ... 33
Tabla.4.10 Atenuación cable ½" DCS, ... 33
Tabla.4.11 Atenuación cable 7/8" DCS, ... 33
Tabla 4.12 Cálculos de potencia en la planta -1 de la banda DCS para el operador Orange., ... 34
Tabla 4.13 Cálculos de potencia en la planta -2 de la banda DCS para el operador Orange., ... 34
Tabla 4.14 Cálculos de potencia en la planta -3 de la banda DCS para el operador Orange., ... 35
Tabla 4.15 Cálculos de distancia en función de la potencia para UMTS del operador Orange., ... 36
Tabla 4.16 Cálculos de distancia en función de la potencia para DCS del operador Orange., ... 37
Tabla 4.17 Atenuación estimada de los materiales., ... 39
Tabla 4.18 Material utilizado en el diseño de la instalación., ... 52
Anexo Tabla 13.1 Atenuación Cable ½" UMTS, ... 84
Anexo Tabla 13.2 Atenuación Cable 7/8" UMTS, ... 84
Anexo Tabla 13.3 Atenuación cable ½" DCS, ... 88
Anexo Tabla 13.4 Atenuación cable 7/8" DCS, ... 88

Índice de figuras

Fig.1.1. Cobertura de estaciones base en diferentes entornos,……4
Fig.1.2. Interferencia fuera del canal,..... 6
Fig.2.2. Estructura básica de un repetidor sobre enlace inalámbrico, ... 9
Fig.3.1. Plano de acceso al parking, ... 11
Fig.3.2. Plano de la planta -1, ... 12
Fig.3.3. Plano planta -2, ... 13
Fig.3.4. Plano planta -3, ... 13
Fig.4.1. Distribución del cable radiante en la planta -3., ... 16
Fig.4.2. Sección del cable radiante Radiaflex RLKU 7/8", ... 17
Esquema unifilar planta -3 con cable radiante..... 18
Mapa de cobertura planta -3 UMTS con cable radiante 22
Mapa de cobertura planta -3 DCS con cable radiante..... 23
Fig.4.3. Plano de la planta -1, ... 26
Fig.4.4. Plano de la planta -2, ... 26
Fig.4.5. Plano de la planta -3, ... 27
Esquema unifilar Planta -1, ... 28
Esquema unifilar Planta -2 29
Esquema unifilar Planta -3 30
Fig.4.6. Gráfico de las potencias radiadas por las antenas indoor UMTS, ... 37

Fig.4.7. Gráfico de las potencias radiadas por las antenas indoor DCS, ... 38
Fig.4.8. Vista del software Netstumbler, ... 39
Mapa de cobertura para UMTS Planta -1..... 42
Mapa de cobertura para UMTS Planta -2..... 43
Mapa de cobertura para UMTS Planta -3..... 44
Mapa de cobertura para DCS Planta -1 45
Mapa de cobertura para DCS Planta -2 46
Mapa de cobertura para DCS Planta -3 47
Fig.4.9. Vista del software TEMPS, ... 49
Fig.4.10. Vista del software XCAL, ... 50
Anexo Fig.1.1 Evolución de la telefonía, ... 56
Anexo Fig.2.1 Controlador de estaciones base., ... 57
Anexo Fig.2.2 Arquitectura red GSM, ... 58
Anexo Fig.2.3 Arquitectura UMTS, ... 59
Anexo Fig.2.4 Red de acceso radio de UMTS (UTRAN), ... 60
Anexo Fig.2.5 Modulación GMSK, ... 61
Anexo Fig.2.6 Modulación en frecuencia, ... 62
Anexo Fig2.7 Espectro IMT-2000, ... 63
Anexo Fig.3.1 Curvas AM-AM_ y AM-PM, ... 65
Anexo Fig.3.3 Espectro QPSK a la entrada y la salida del amplificador, ... 66

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se centra en el estudio y desarrollo de cobertura de sistemas de comunicaciones móviles para un parking.

El proyecto se expone acorde con los pasos seguidos durante el desarrollo del mismo. Lo primero es definir el escenario, al que queremos dotar de cobertura y que servicio queremos implementar.

Después se propone una solución, en la que diseñamos la instalación y se decide que equipos necesitaremos para implementar el servicio deseado.

Con los datos obtenidos en el diseño de la instalación y los cálculos de atenuación, podemos realizar un mapa de cobertura, para ver si ésta es aceptable.

También se realiza un diseño alternativo con cable radiante para ver que ventajas e inconvenientes encontramos en las dos alternativas.

Una vez que sabemos que la cobertura es aceptable, hemos realizado un presupuesto de la instalación, teniendo en cuenta las dos alternativas. Así podemos valorar la que más nos interesa.

El TFC se ha estructurado de la siguiente forma:

El capitulo 1 nos presenta aspectos teóricos de la cobertura radioeléctrica.

En el capitulo 2 vemos la teoría sobre amplificadores y repetidores.

En el capitulo 3 presentamos la definición del escenario, es decir, vamos a describir como es el parking en el que vamos a trabajar y el sistema de comunicaciones que vamos a implementar.

En el capitulo 4 se presenta la solución propuesta, es decir, el diseño de los esquemas unifilares, los cálculos de potencia y atenuaciones, tanto para la tecnología UMTS como para GSM/1800. También se calcula la atenuación por propagación radioeléctrica y se muestran los mapas de cobertura elaborados con los datos calculados en los apartados anteriores. También se presenta un diseño alternativo con cable radiante. Por último se realiza un presupuesto del coste de la instalación para las dos alternativas de diseño.

Finalmente, después de las conclusiones están los anexos:

En el anexo1 se incluye teoría sobre la evolución de la telefonía.

En el anexo2 presentamos la arquitectura de la red GSM y UMTS.

En el anexo 3 tratamos aspectos teóricos sobre amplificadores.

En el anexo 4 presentamos el datasheet de la antena logoperiodica.

En el anexo 5 presentamos los datasheet de los repetidores y amplificadores.

En el anexo 6 presentamos los datasheet de los divisores de 3 y 4 puertos.

En el anexo 7 presentamos los datasheet de los acopladores.

En el anexo 8 presentamos los datasheet de los combinadores.

En el anexo 9 presentamos el datasheet de la antena de panel.

En el anexo 10 presentamos el datasheet de la antena omnidireccional.

En el anexo 11 presentamos el datasheet del cable coaxial de ½" y 7/8".

En el anexo 12 presentamos el datasheet del cable radiante coaxial de 7/8".

En el anexo 13 vemos los cálculos de potencia y atenuaciones con más detalle.

En el anexo 14 se habla de la legislación vigente en materia de instalación para infraestructuras de telecomunicaciones.

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

Debido a las condiciones físicas del parking, 3 plantas subterráneas, la cobertura de telefonía no llega al interior de la instalación. Por lo que su propietario está interesado en dotarlo de cobertura de telefonía en las bandas GSM/1800 y UMTS, para poder ofrecer un mejor servicio a sus clientes.

Para ello se hace necesario, diseñar una instalación indoor, que haga llegar la cobertura al interior del parking.

Para conseguir nuestro objetivo, previamente los diferentes operadores se han puesto de acuerdo para poder utilizar la misma instalación y no tener que triplicar la instalación para cada uno de los operadores a los que se va a dar cobertura.

El objetivo es dotar de cobertura al parking, para los 3 operadores mayoritarios en nuestro país (Movistar, Vodafone y Orange).

Una de las condiciones de nuestro diseño es que el nivel de cobertura en el interior de la instalación sea mayor a -80dBm en un 95% de la superficie de la instalación, sin contar con las zonas no comunes, es decir, las zonas que no utilizan los clientes.

Los resultados obtenidos en este proyecto, son a nivel teórico, porque tanto el parking como el sistema de comunicaciones móviles que hemos diseñado, no se han realizado nunca. Por lo que no es posible comparar los resultados teóricos con medidas reales.

Capitulo 1 COBERTURA RADIOELÉCTRICA

1.1. Consideraciones generales

Un requisito primordial del diseño es la consecución de la cobertura con una calidad que depende de la cualificación de la zona. En la zona de cobertura primaria el objetivo debe ser una cobertura zonal del 90% o superior. En la zona secundaria el objetivo esta comprendido entre el 70 y el 75%.

Las perturbaciones que afectan a la cobertura son el ruido y la interferencia cocanal. Generalmente el diseño se basa en la relación C/N (portadora / ruido) para determinar el nivel de señal necesaria en recepción.

Los cálculos deben efectuarse para el enlace ascendente (móvil a base) y para el enlace descendente (base a móvil). Lo ideal es que las coberturas sean las mismas en los dos casos, pero en la práctica el enlace ascendente es mas desfavorable y el alcance de la estación base suele ser mayor que el retro alcance desde el móvil. Se pueden equilibrar los enlaces con disposiciones especiales en la estación base como es el uso de preamplificadores o utilizar diversidad en recepción, pero esto encarece la instalación, por lo que muchas veces se acepta la situación de que el móvil oiga a la estación base y para contestar deba desplazarse a una ubicación más adecuada.

Por otra parte es imposible asegurar un nivel de señal por encima de un valor umbral con una probabilidad del 100% en una determinada área, debido a las fluctuaciones de la potencia recibida. Para asegurar porcentajes cercanos al 100% sería necesario transmitir a unos niveles de potencia muy elevados. Las fluctuaciones debidas a los desvanecimientos lentos y rápidos provocan que el nivel de potencia de la señal pueda tener fluctuaciones aleatorias de hasta 40dB de atenuación sobre su nivel medio.

1.2. Cálculos de cobertura

Para el cálculo de la cobertura, los desvanecimientos rápidos se tienen en cuenta a través de la probabilidad de error que depende de la potencia media de la señal recibida.

Por lo tanto el criterio para establecer la cobertura es asegurar que los umbrales de calidad de cobertura se cumplen de forma porcentual en función de la distancia o del tiempo.

Por lo tanto se hablará de que en una determinada zona podemos asegurar que el nivel de señal estará por encima de un determinado valor medio de referencia en un 90% de los emplazamientos, o que en una determinada ubicación tendrá cobertura durante el 95% del tiempo.

Por otra parte los cálculos de cobertura pueden plantearse según dos alternativas:

- Conociendo la distancia de cobertura, determinar las características de los equipos, es decir, la potencia radiada aparente del transmisor para conseguir ese alcance.
- Dada la potencia radiada aparente (PRA) del transmisor y demás características de los equipos, calcular las distancias de cobertura.

Muchas veces el estudio de cobertura ha de considerar estos dos puntos. Por ejemplo los resultados del cálculo de PRA pueden dar un valor muy grande, que no se puede obtener con equipos convencionales o no son autorizados por la administración. En este caso hay que subdividir la zona y utilizar otra estación base o una estación repetidora y a partir de sus características determinar sus coberturas individuales y la cobertura conjunta para ver si se cumple el objetivo deseado.

1.2.1. Alcance de una estación base

El alcance de una estación base es del orden de la distancia al horizonte radioeléctrico, que depende de la altura de la antena transmisora y la altura de la antena receptora. Al hablar de alcance es necesario distinguir entre alcance útil y alcance de interferencia de una estación.

Para una estación base, el alcance útil es un valor de distancia en Km tal que para cualquier distancia menor que el alcance útil, podemos asegurar que el nivel de señal está por encima del valor umbral.

El alcance de interferencia (Km) marca una distancia dentro de la cual no se puede situar otro transmisor cocanal, para proteger la zona de cobertura frente a la interferencia.

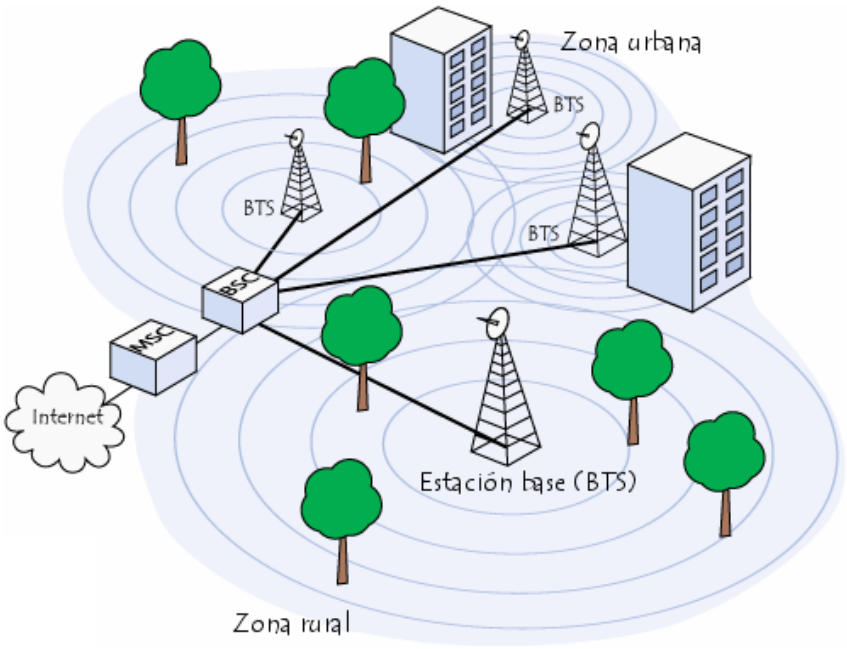


Fig.1.2. Cobertura de estaciones base en diferentes entornos

1.3. Clasificación de entornos

Las características de propagación están influenciadas por las características del terreno (liso, ondulado, montañoso), también depende de la zona donde se desea proporcionar el servicio. Entornos rurales, urbanos, túneles o interior de edificios.

Finalmente la variación de las condiciones de propagación depende tanto de la velocidad de desplazamiento del terminal como de la variación de los objetos que le rodean.

En función de estos parámetros existen varias clasificaciones. Generalmente la primera división que se hace es la diferenciación entre entornos exteriores e interiores de edificios.

En entornos exteriores la distancia entre la antena emisora y la receptora puede variar entre centenares de metros y decenas de kilómetros. Además pueden estar situadas en ciudades, zonas suburbanas o en el campo. Por último la velocidad de los terminales puede superar los cien kilómetros por hora.
En entornos interiores, la distancia entre las antenas es como máximo de un centenar de metros, pero puede haber múltiples obstáculos (paredes, columnas) que se interponen entre las antenas. Además la velocidad de desplazamiento del móvil como de los objetos que le rodean son reducidas.

Debido a las diferentes condiciones que se dan, cada entorno tiene unas características comunes. A continuación se muestra una clasificación de los entornos de propagación:

- Entornos exteriores urbanos y suburbanos.
- Entornos exteriores rurales llanos.
- Entornos exteriores montañosos.
- Entornos interiores.

1.4. Compatibilidad electromagnética.

Es muy frecuente que en un emplazamiento, haya varias estaciones base próximas o que móviles de un sistema, en su desplazamiento, pasen cerca de estaciones base de otros sistemas. Estas situaciones producen efectos de los transmisores sobre los receptores próximos que se designan genéricamente con el nombre de interferencia electromagnética (EMI).

Se define la interferencia electromagnética como el conjunto de señales RF no deseadas captadas por un receptor y que degradan su sensibilidad. La interferencia, en ocasiones, alcanza valores tan elevados que pueden hacer inviable la recepción. Debido a la transcendencia que tiene la EMI sobre la calidad de funcionamiento de los sistemas móviles deben analizarse sus fuentes y controlarse sus efectos, ya que no es posible su total supresión, deberá mantenerse dentro de unos niveles limitados.

Se denomina compatibilidad electromagnética el conjunto de actuaciones técnicas y medidas de protección encaminadas a garantizar el funcionamiento de los receptores.
La interferencia de RF puede clasificarse en:

- Interferencia cocanal.
- Interferencia fuera de canal.

1.4.1. Interferencia cocanal.

Esta interferencia se puede controlar mediante la modulación en frecuencia, así como mediante una planificación y asignación adecuada de frecuencias, como se hace en las redes celulares.
Los tipos más corrientes de interferencia son:

- Ruido artificial.
- Señales cocanal no deseadas.
- Respuestas parásitas del receptor.
- Intermodulación en transmisión.
- Ruido del transmisor.

1.4.2. Interferencia fuera del canal.

La interferencia fuera del canal se controla mediante la selectividad de los receptores, cuando es necesario con ayuda de filtros colocados a la entrada del receptor o a la salida del transmisor.
En este grupo pueden destacarse las siguientes clases de interferencia:

- Señales de canales adyacentes.
- Intermodulación en el receptor.
- Bloqueo/insensibilización del receptor.

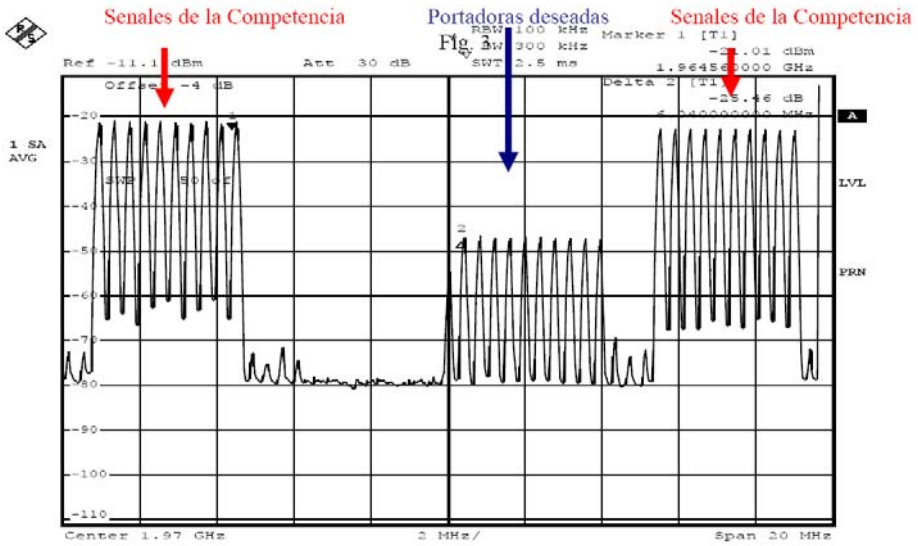


Fig.1.2. Interferencia fuera del canal

Capitulo 2 AMPLIFICADORES

2.1. Clasificación de amplificadores

Existen diferentes clasificaciones de amplificadores, si los clasificamos en función de la tarea que llevará a cabo dentro del circuito, los podemos clasificar en 3 categorías.

- LNA (Low Noise Amplifer)
- HPA (High Power Amplifer)
- FI (Amplificador de frecuencia intermedia)

Los LNA se suelen utilizar como receptores, determinan el factor de ruido final del sistema. Por el contrario en un sistema de transmisión de RF lo que nos interesa, es ofrecer más potencia y ganancia, por eso los amplificadores que se utilizan son los de alta potencia (HPA).
En este estudio nos centraremos en los amplificadores de potencia, que son los que comprometen nuestro diseño en términos de eficiencia, ya que estos elementos son los que determinan el consumo de la instalación.

2.2. Clasificación de amplificadores de potencia

La división de los amplificadores de potencia se hace por clases, atendiendo al punto de polarización (punto de trabajo).
En RF la clase se identifica con una letra mayúscula, podemos encontrar, por ejemplo, la clase A, B, BC, C, D, E o F, que van desde amplificadores muy lineales, con una eficiencia baja a amplificadores no lineales (conmutados), con una alta eficiencia.

2.3. Repetidores

Un repetidor se define como un amplificador de RF bidireccional para su uso en los sistemas de radiocomunicación, con el fin de extender el área de cobertura de la estación base.

El repetidor recibe, amplifica y retransmite las señales, con o sin conversión de frecuencia, procedentes de una estación base (enlace descendente) y señales procedentes de los equipos móviles en la dirección opuesta (enlace ascendente)
Una ventaja de los repetidores es que con un equipo podemos dar la extensión de cobertura necesaria de forma más económica que con un equipo de estación base convencional.

Los repetidores sirven para extender la cobertura de una estación base, pero no pueden sustituirla, por eso deben estar conectadas siempre a una estación

base. Las aplicaciones típicas de los repetidores son para hacer llegar la cobertura a túneles, valles e interior de edificios.

2.3.1. Clasificación de repetidores

Los diferentes tipos de repetidores que nos podemos encontrar en el mercado, básicamente se pueden clasificar en los siguientes grandes grupos:

- Repetidores sobre soporte físico
- Repetidores sobre enlace inalámbrico

2.3.1.1. Repetidores sobre soporte físico

En este caso la estación base se conecta a través del cable o fibra (**Fig.3.4**) correspondiente hasta el repetidor de manera que toda la señal de RF viaja por el soporte físico, convenientemente adaptada para viajar por este medio.
Las principales ventajas de este tipo de repetidores son la baja atenuación entre la estación base y el repetidor, el aislamientos total entre el enlace estación base y repetidor y la comunicación entre el terminal móvil y el repetidor, además no es necesaria una visión directa entre la estación base y el repetidor.

El principal inconveniente es el elevado coste de implementación.

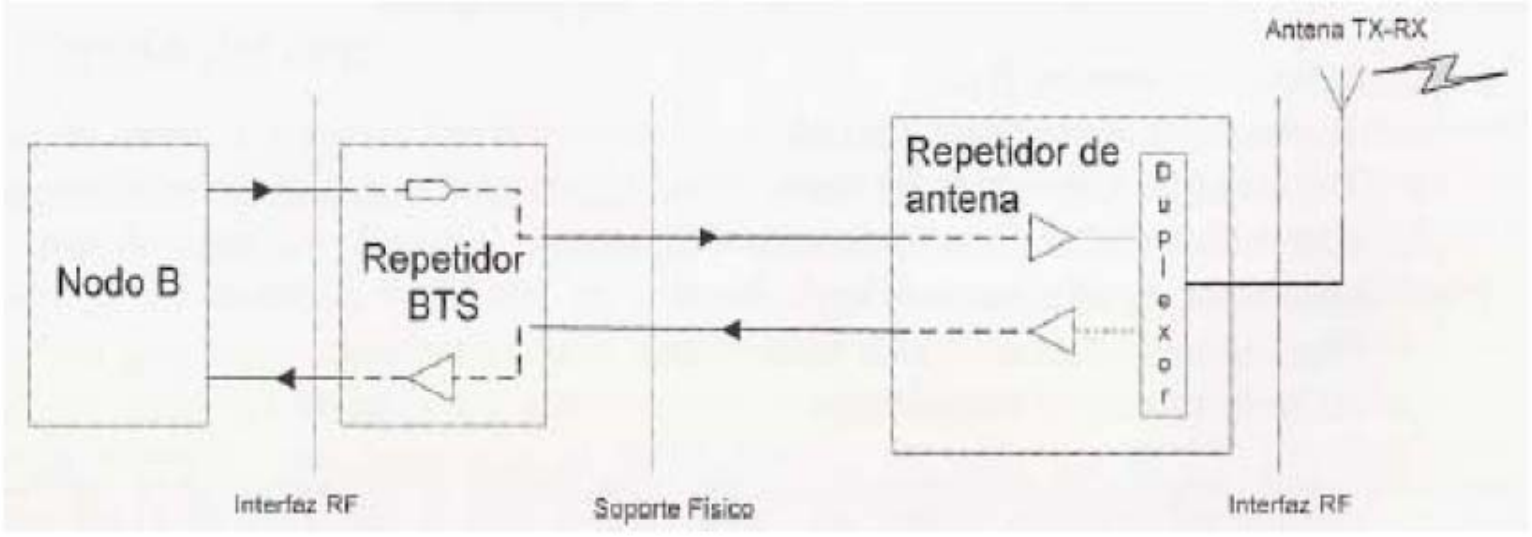


Fig.2.1 Estructura de un repetidor sobre soporte físico

Según el medio físico que se utilice en los repetidores sobre soporte físico pueden ser:

- Repetidor sobre cable coaxial
- Repetidor sobre cables de pares
- Repetidor sobre fibra

2.3.1.2. Repetidores sobre enlace inalámbrico

A diferencia de los anteriores no requiere un soporte físico entre la estación base donante y el repetidor (**Fig.3.5**).
Existen dos grandes tipos de repetidores inalámbricos: los repetidores por radio y los repetidores por infrarrojos.

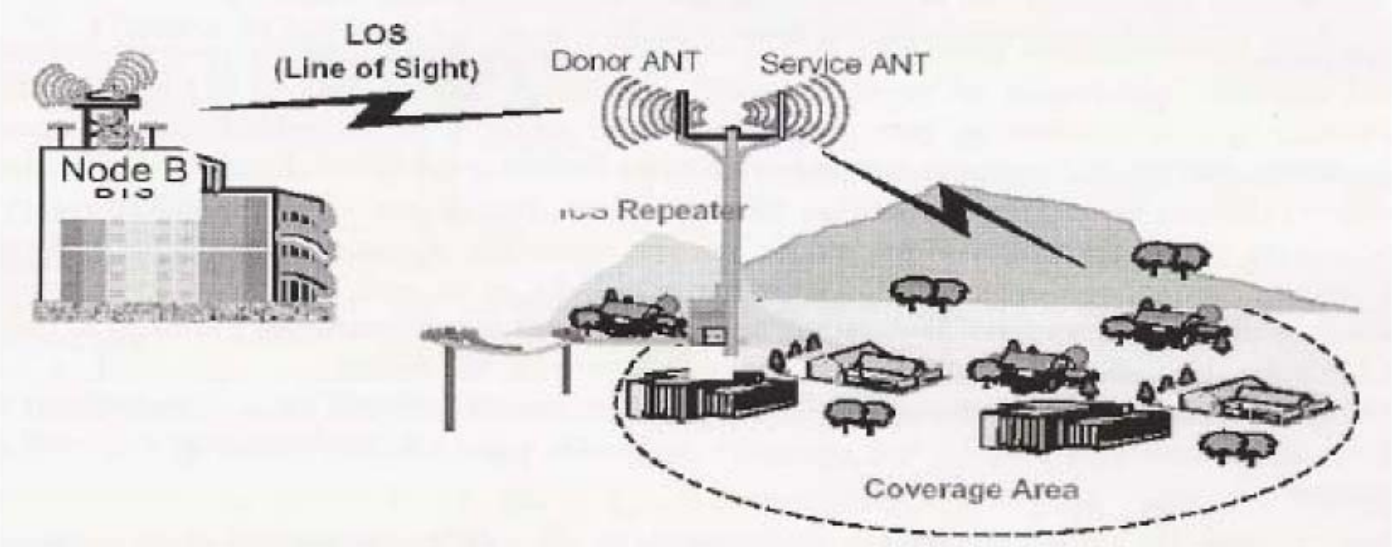


Fig.2.2 Estructura básica de un repetidor sobre enlace inalámbrico

Las principales ventajas en este tipo de repetidores son: la implementación sencilla y rápida, y un menor coste de implementación

Los inconvenientes que nos encontramos con estos repetidores son: una mayor atenuación entre la estación base y el repetidor y la necesidad de que tengan visión directa.

2.3.2. Frecuencias de trabajo de los repetidores

Respecto a las frecuencias de trabajo de los repetidores cabe hacer algunas consideraciones. A un operador que instale el radioenlace, le interesa utilizar

una frecuencia que le pertenezca, para evitarse pagar un canon adicional por el uso del espectro radioeléctrico.

Una opción que reduce la interferencia sobre el sistema es utilizar frecuencias en la banda de microondas, lo que implica un gasto extra por la reserva del espectro.

Por otro lado si se opta por no reservar nuevo espectro, se debe implementar el radioenlace de forma que no interfiera, ni disminuya la capacidad. En este caso hay dos opciones:

1. Utilización simple de frecuencias asignadas. En este caso el operador asigna al radioenlace una pareja de frecuencias de las que tienen asignadas. El principal problema es que se pueden "enganchar" a la red equipos de usuario que pueden confundirlo con una estación base
2. Utilización especial de frecuencias, se trata de enviar las señales de RF invertidas o traspuestas para evitar enganches indeseados de usuarios al radioenlace donante-repetidor.

Existe otra opción únicamente aplicable a repetidores de traslación de frecuencia, que es la utilización de la banda asignada a otros servicios de telefonía móvil del mismo operador. En la zona de cobertura del radioenlace se interfieren los canales, pero el efecto de estas interferencias puede ser tolerable en el caso de UMTS, por dos motivos.

- El ancho de banda de un canal UMTS es unas 22 veces superior al de otro de GSM.
- En UMTS, al menos para servicios de voz, la potencia requerida es 10dB inferior a la de GSM.

Recientemente han aparecido un nuevo tipo de repetidores iso-frecuencia que incluyen una técnica de cancelación de interferencias de cara a poder aumentar la ganancia del repetidor sin necesidad de incrementar el aislamiento entre la antena receptora y la transmisora. Es el sistema llamado ICS (Interference Cancelation System), la idea consiste en digitalizar la señal que se procesa en el repetidor y aplicar técnicas de procesado digital que permiten reducir el nivel de interferencias generadas por la propia antena transmisora, con esta tecnología conseguimos que aumente el valor de la ganancia máxima aplicable en los repetidores.

El aislamiento en el caso de los repetidores iso-frecuencia es importante Para un correcto funcionamiento del repetidor, entre sus antenas (antena orientada a la estación base y las que extienden la cobertura) debe haber un aislamiento de entre 10 y 15 dB mayor que la ganancia del amplificador.
Para conseguir este aislamiento, debemos instalar las antenas de forma que sus lóbulos de radiación no se interfieran, es decir deben estar orientadas en distintas direcciones y además deben estar separadas verticalmente.

Capítulo 3 DEFINICIÓN DEL ESCENARIO

3.1. Descripción del parking

Lo primero que haremos, será describir el parking en el que vamos a diseñar la instalación, para dotarlo de cobertura de telefonía.

El acceso al parking está situado en la plaza Joan Miró s/n de Barcelona (**Fig.3.1**).

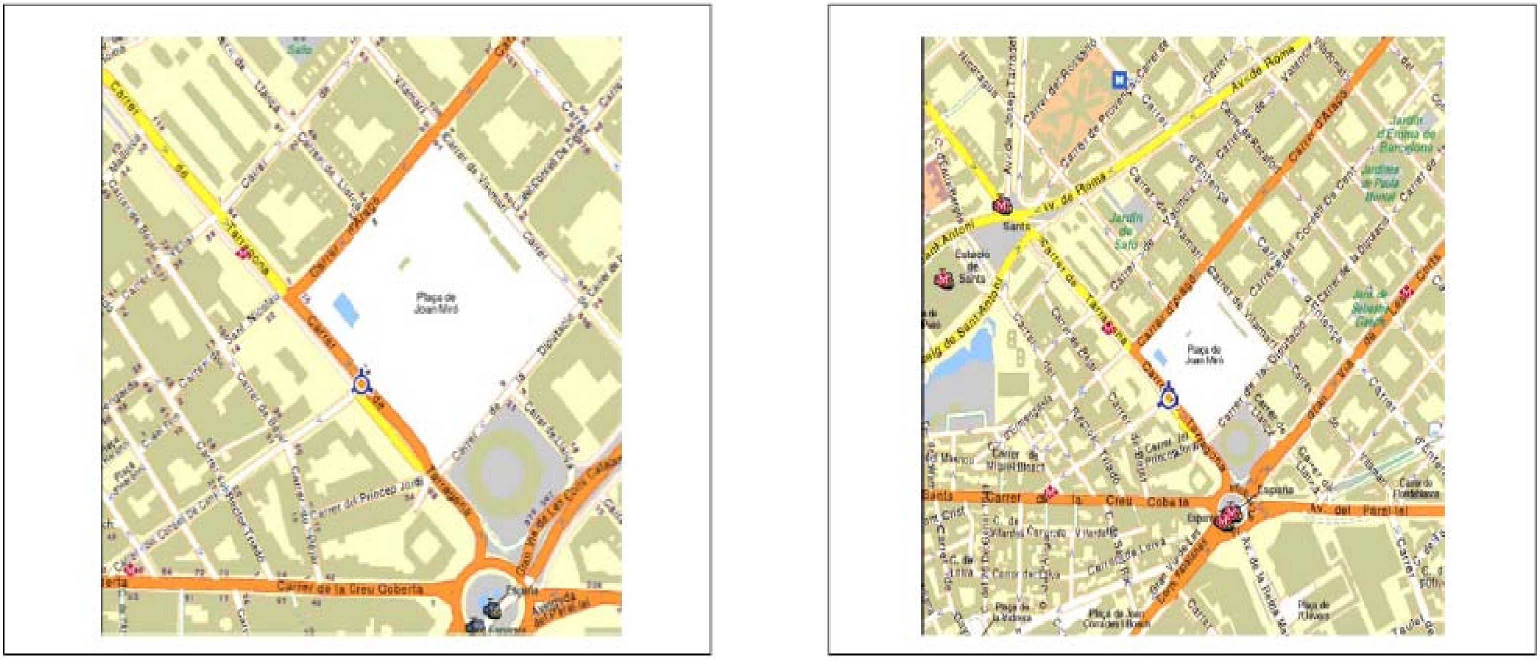


Fig.3.1 Plano de acceso al parking

El parking al estar en el centro de Barcelona, facilita mucho la tarea a la hora de buscar una estación base de los diferentes operadores con los que vamos a trabajar, ya que el más lejano está a 2,5 Kilómetros del parking. De hecho la señal más baja recibida es de -50 dBm que corresponde a la tecnología UMTS y al operador cuya estación base está más lejos (Orange).

El parking consta de 3 plantas subterráneas, a las cuales no llega ninguna señal radioeléctrica, debido a que está aislado del exterior.

En la primera planta (**Fig.3.2**) podemos ver la distribución y las dimensiones de la instalación.

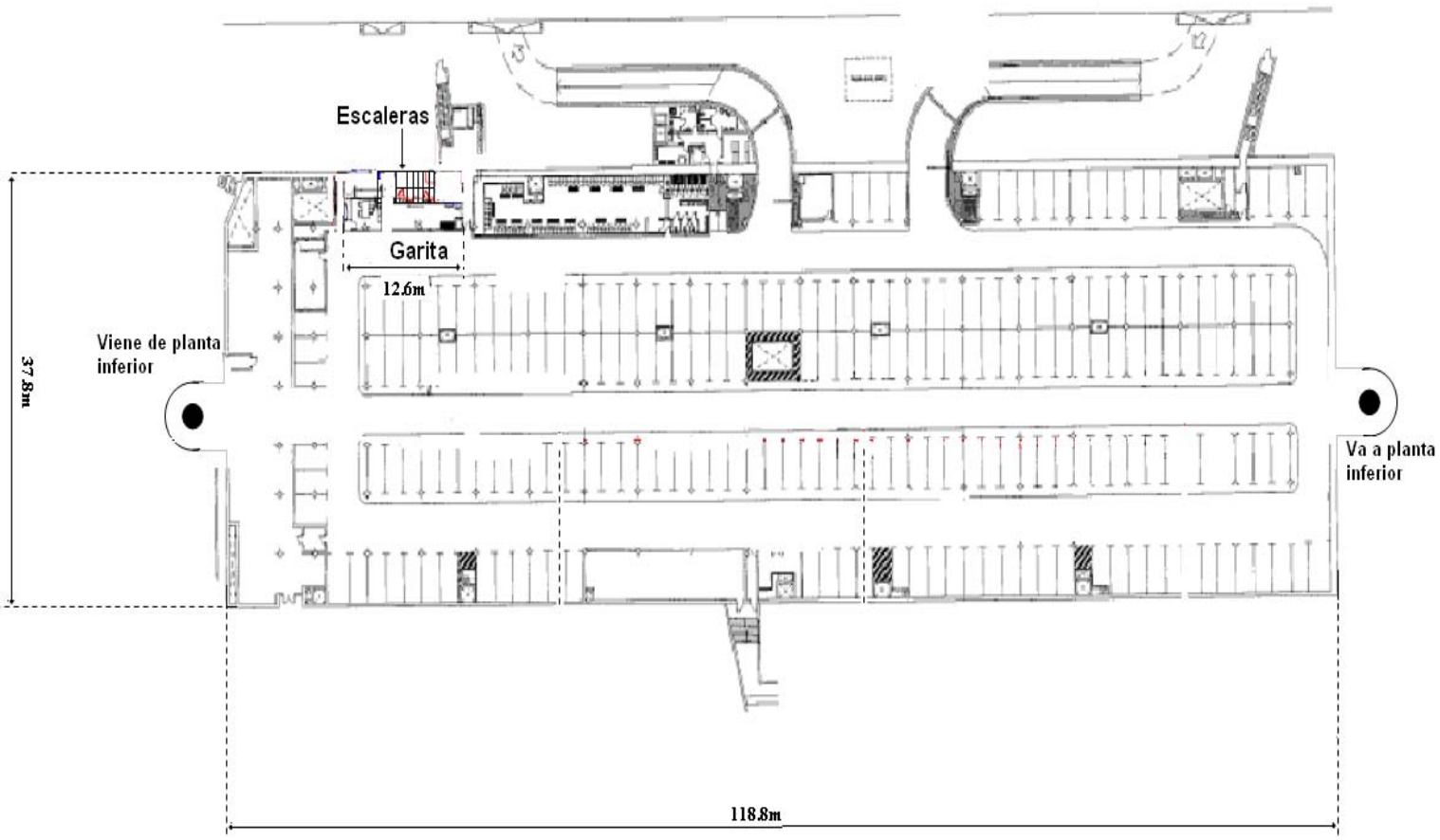


Fig.3.2 Plano de la planta -1

El parking esta construido con diferentes materiales, las columnas son de hormigón, las paredes que delimitan los diferentes habitáculos son de ladrillo y en la garita hay una gran cristalera.

En la segunda planta (**Fig.3.3**) vemos la distribución y dimensiones de esta planta. Los materiales utilizados aquí, son los mismos que en la planta anterior con la diferencia, de que no hay garita, sólo la zona de escaleras.

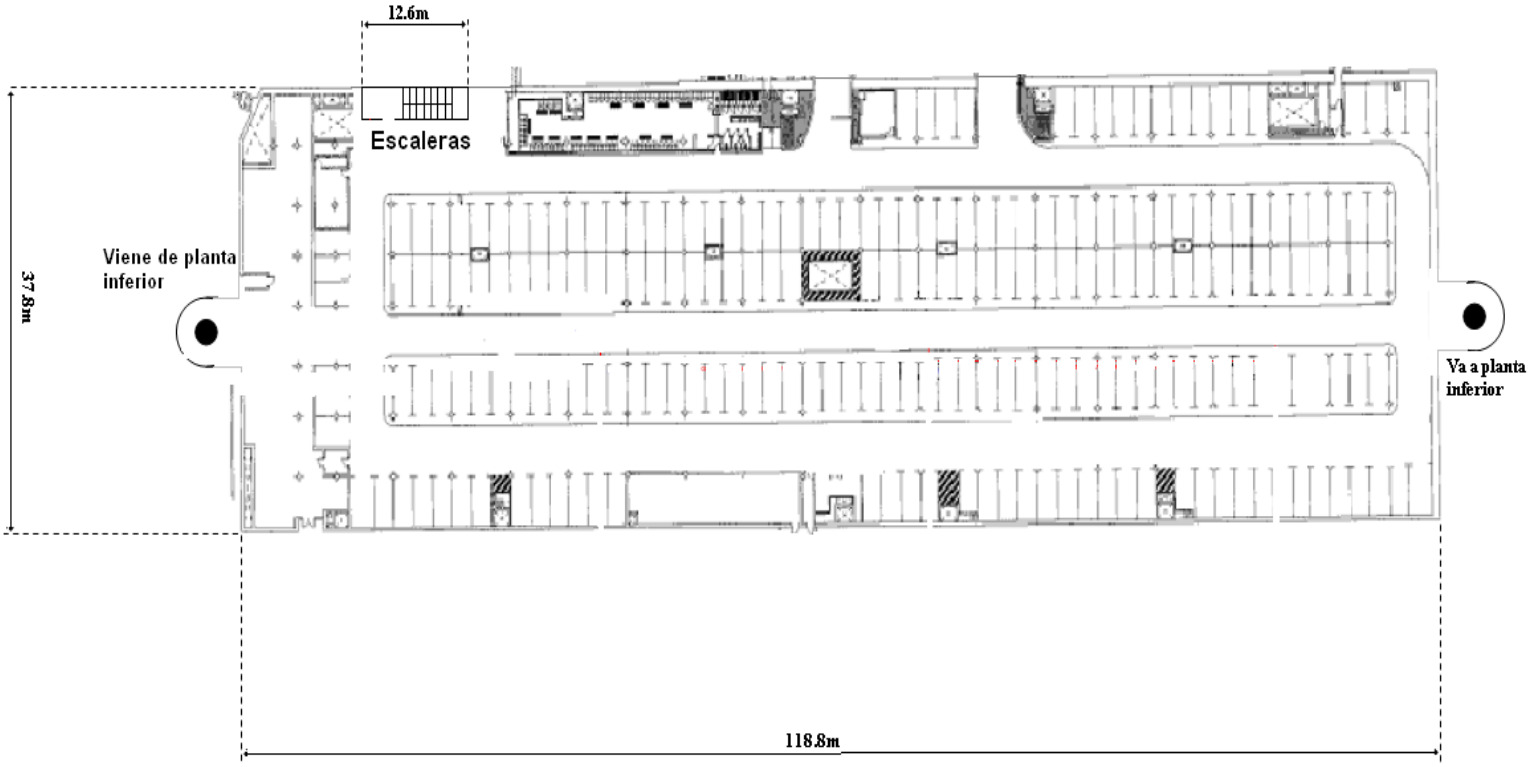


Fig.3.3 Plano planta -2

En la tercera planta (**Fig.3.4**) vemos que es igual a la planta -2 tanto en la distribución y dimensiones como en los materiales utilizados.

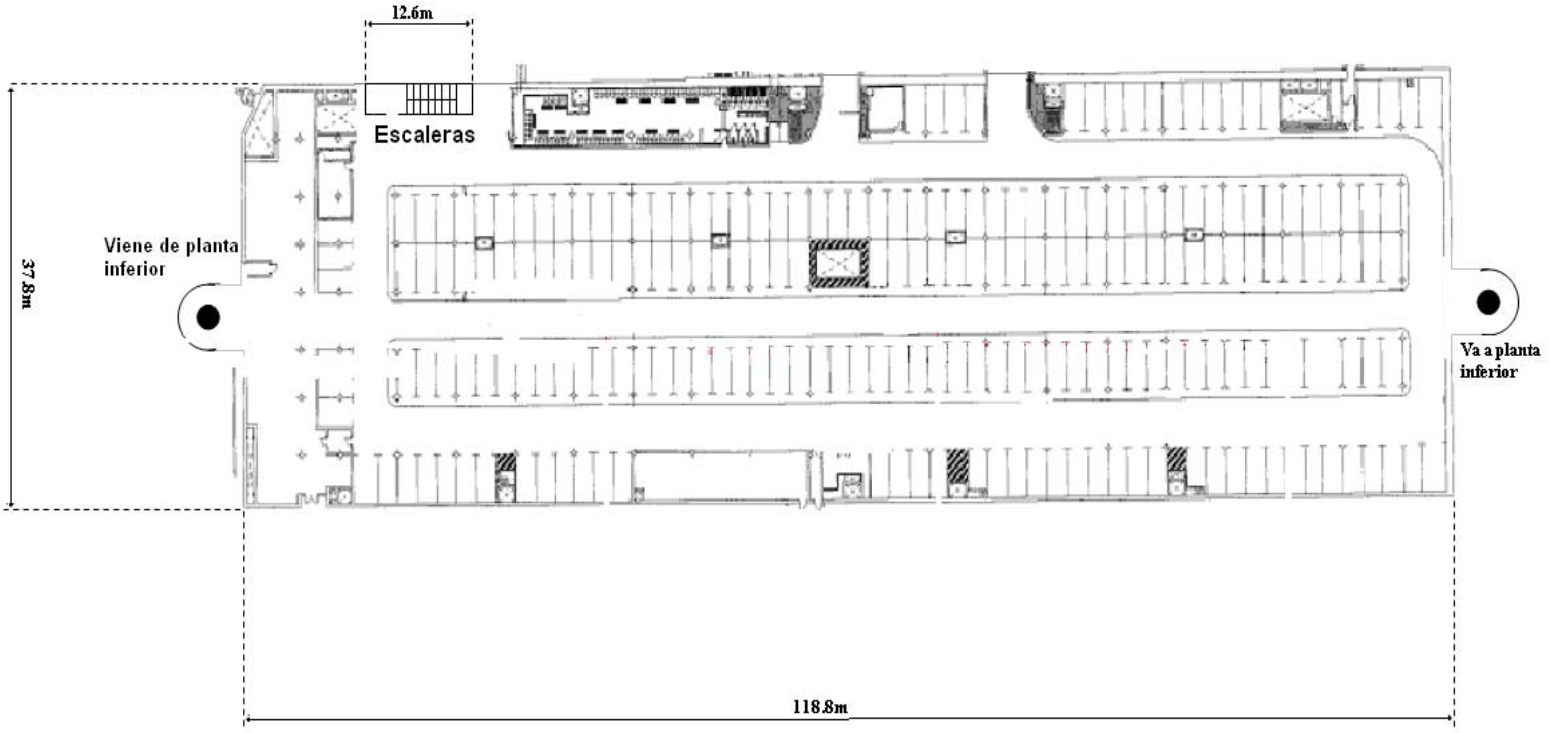


Fig.3.4 Plano planta -3

3.2. Descripción del sistema de comunicaciones.

La red que vamos a diseñar para dotar de cobertura al parking, será común para los 3 operadores mayoritarios en nuestro país (Movistar, Vodafone y Orange), tanto en GSM/1800 (DCS) como para UMTS.

En el exterior del parking, el nivel de señal recibido es óptimo, en el peor caso el nivel de señal está en -50 dBm, pero no llega la señal al interior, debido a que al ser una instalación subterránea, la señal radioeléctrica se atenúa demasiado como para ofrecer servicio a los clientes del parking.

Tabla 3.1. Señal recibida en la banda **UMTS** de los diferentes operadores.

	Señal recibida (dBm)	Distancia parking-estación base (Km)
Movistar	-42	1.7
Vodafone	-45	2
Orange	-50	2.5

Tabla 3.2. Señal recibida en la banda **GSM/1800** de los diferentes operadores.

	Señal recibida (dBm)	Distancia parking-estación base (Km)
Movistar	-40	1.7
Vodafone	-42	2
Orange	-48	2.5

En el caso de UMTS la capacidad depende de la congestión de tráfico de la estación base a la cual estamos conectados.

En general, la relación señal a ruido e interferencias empeora cuando hay más tráfico y esto implica que puede haber menos usuarios conectados en el parking. El tráfico varia en función del número de usuarios conectados y que servicios están utilizando (llamadas de voz, video llamadas o envío de datos).

En el caso de la banda DCS, la capacidad está en función de los canales que se vayan a amplificar por parte del repetidor para extender la cobertura al interior del parking.

En este caso vamos a coger 4 canales de la banda DCS, por lo que un operador dispondrá de dos canales para sus usuarios (Movistar), lo que representa una capacidad de 16 usuarios, y los otros dos operadores (Vodafone y Orange) dispondrán de un solo canal cada uno, lo que implica una capacidad de 8 usuarios por operador.

Tabla 3.3 Frecuencias de la banda **DCS** utilizadas en nuestro diseño.

operador	canal	Uplink Frecuencia (MHz)	Downlink frecuencia (MHz)
Movistar	512 y 513	1710.2 y 1710.4	1805.2 y1805.4
Vodafone	637	1735.2	1830.2
Orange	762	1760.2	1855.2

Tabla 3.4 Frecuencias de la banda **UMTS** utilizadas en nuestro diseño.

operador	canal	Uplink Frecuencia (MHz)	Downlink frecuencia (MHz)
Movistar	10838	1977.6	2167.6
Vodafone	10713	1952.6	2142.6
Orange	10738	1942.6	2132.6

El nivel de cobertura que se va a garantizar en el interior del parking, será superior a -80dBm en un 95% de la superficie del parking. En este porcentaje no se ha tenido en cuenta las zonas no comunes, es decir, las zonas que no utilizan los clientes.

Capítulo 4. SOLUCIÓN PROPUESTA

4.1. Diseño con cable radiante

Hay diferentes alternativas de diseño y en este apartado vamos a trabajar en un diseño utilizando cable radiante.

Esta alternativa tiene una serie de inconvenientes respecto a las antenas indoor, ya que suponen un coste mayor y son más difíciles de instalar, además tienen unas pérdidas de acoplamiento de entre 50 y 80 dB, mientras que las antenas indoor son mas económicas y tienen unas pérdidas de acoplamiento que están entre los 30 y 40 dB.

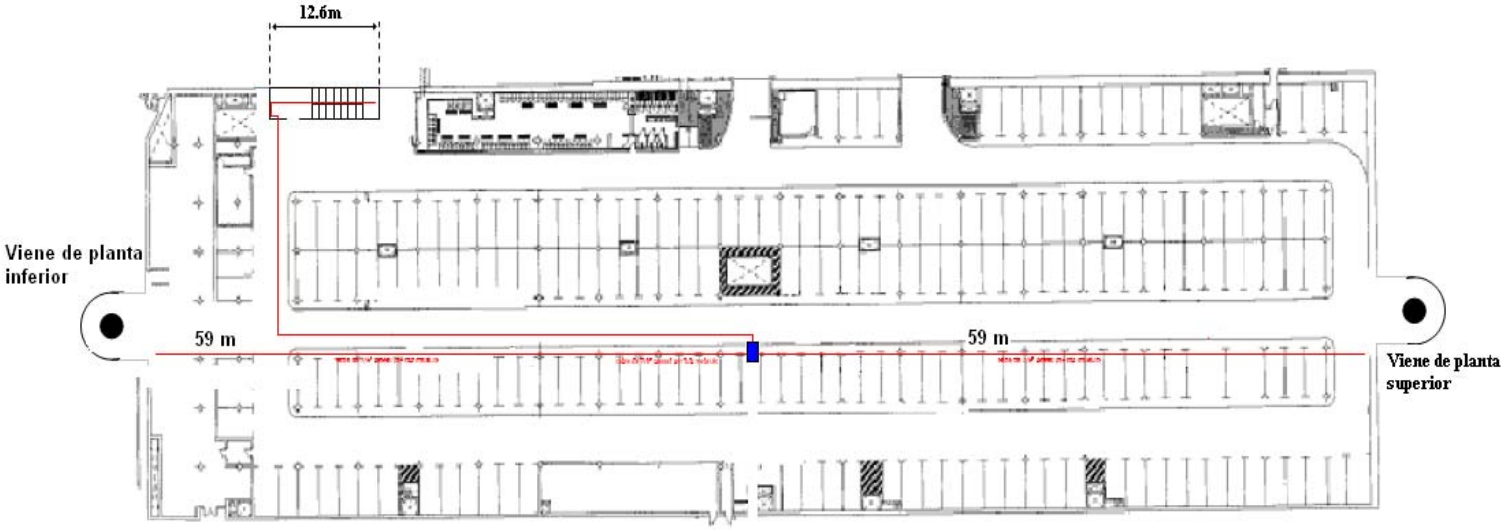


Fig.4.1. Distribución del cable radiante en la planta -3.

En la (**Fig.4.1**), se puede ver la distribución del cable radiante en la planta -3, para conseguir que la cobertura sea lo más uniforme posible.

El cable utilizado es cable radiante de 7/8" (sus especificaciones técnicas están en el anexo12). Hemos utilizado dos tiradas de 59m en la zona donde estacionan los vehículos y en la zona de escaleras se ha hecho una tirada de 12m. Para unir la zona de escaleras con el divisor de 4 puertos, se ha hecho una tirada de 55m de cable coaxial de 7/8" flexible HFC (sus especificaciones técnicas están en el anexo11).

4.1.1. Descripción del cable radiante

El cable radiante es un cable coaxial formado por un conductor central de alambre de cable liso, recubierto por un dieléctrico de polietileno sólido y en el exterior lleva un conductor de cinta de cobre lisa con aberturas longitudinales de radiación (**Fig.4.2**). La cubierta exterior esta formada por polietileno sólido circular. Las especificaciones de este cable se pueden consultar en el anexo12.

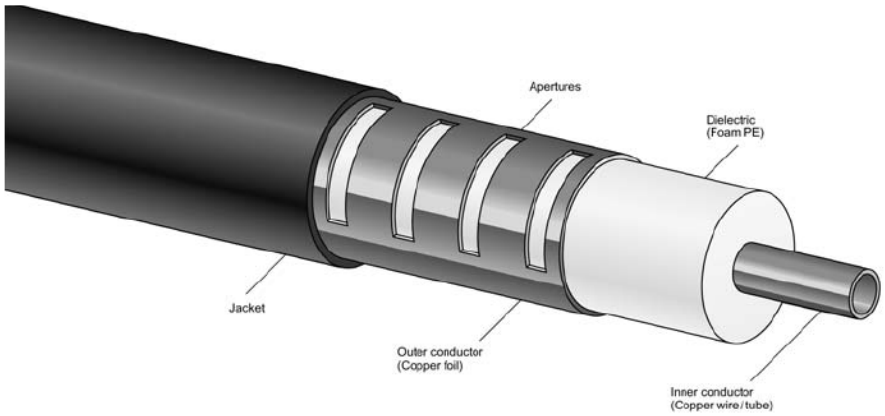


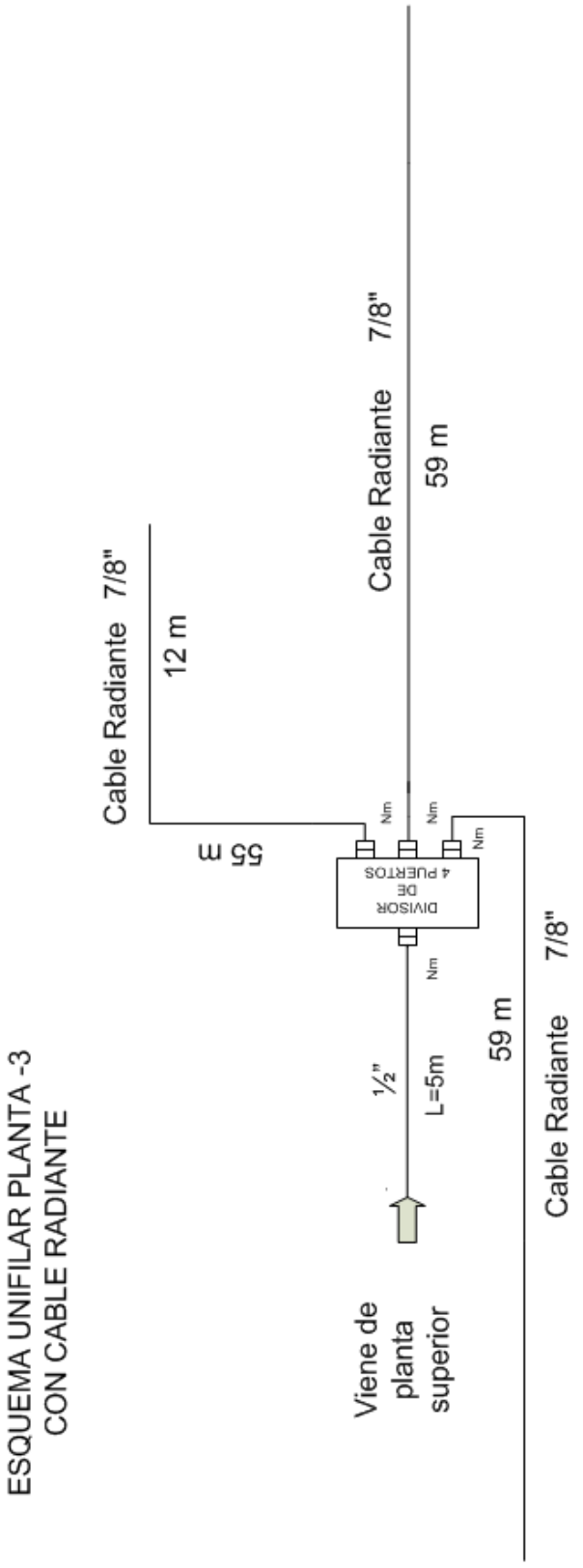
Fig.4.2. Sección del cable radiante Radiaflex RLKU 7/8”

Para una correcta instalación del cable radiante, no puede estar cerca de estructuras metálicas (tuberías, rejibanes, etc.) que interfieran su diagrama de radiación. Es por eso que se utilizan abrazaderas de poliamida o polipropileno, para fijar el cable radiante sin que se interfiera en su diagrama de radiación.

4.1.2. Esquema unifilar Planta -3

Vamos a ver con más detalle el esquema unifilar de la planta -3.

Como se puede ver en el plano de la instalación (**Fig.4.1**), el divisor de 4 puertos esta ubicado en el centro de la zona donde estacionan los vehículos que es por donde la instalación accede a la planta superior.
El motivo por el que el divisor está en el centro es para que las tiradas sean más cortas y poder compensar de esta forma la atenuación tan grande que tiene el cable radiante.


ESQUEMA UNIFILAR PLANTA -3
CON CABLE RADIANTE
Viene de planta superior
½"
L=5m
Nm
DIVISOR DE 4 PUERTOS
59 m
Cable Radiante 7/8"
55 m
12 m
Cable Radiante 7/8"
59 m
Cable Radiante 7/8"

4.1.3. Cálculos de potencia

Una vez tenemos el esquema unifilar de la planta -3, podemos calcular la potencia radiada para ver como quedará la cobertura.

Si suponemos que a la planta -3 llega la misma potencia que en el caso del diseño con antenas indoor, es decir, 25,11 dBm. Entonces teniendo en cuenta la atenuación del cable y del divisor de 4 puertos, tenemos:

25,11dBm-0,825dB -3,5dB=20,78dBm

A la salida del divisor de 4 puertos el nivel de señal seria de 20.78dBm.

Teniendo en cuenta las características del cable radiante, que implican más perdidas de inserción y más atenuación que el cable coaxial utilizado en el diseño con antenas indoor. Tenemos los siguientes valores:

Tabla 4.1 Potencias radiadas en función de la distancia de cable para **UMTS** del operador Orange.

	Perdidas inserción	**Pin (dBm)**	**Prad(10m)**	**Prad(20m)**	**Prad(30m)**	**Prad(40m)**	**Prad(59m)**
Tirada cable 59m	6 dB	14.78	12.15dBm	9.52dBm	6.89dBm	4.26dBm	1.9dBm
Tirada cable 12m	6dB	8.9	6.27dBm				

Como se puede ver en la **Tabla 4.1** las potencias radiadas por el cable radiante decaen mucho en función de la distancia debido a la gran atenuación que tiene este tipo de cable.

Tabla 4.2 Potencias radiadas en función de la distancia de cable para **GSM/1800** del operador Orange.

	Perdidas inserción	**Pin (dBm)**	**Prad(10m)**	**Prad(20m)**	**Prad(30m)**	**Prad(40m)**	**Prad(59m)**
Tirada cable 59m	6 dB	14.78	12.78dBm	10.78dBm	8.78dBm	6.78dBm	4.98dBm
Tirada cable 12m	6dB	9.23	7.23dBm				

4.1.4. Atenuación por propagación radioeléctrica.

Una vez calculadas las potencias radiadas por el cable, vamos a ver como quedará la cobertura en la instalación.

Para ello tenemos en cuenta que la potencia radiada por el cable no es uniforme, es decir, a medida que nos desplazamos la atenuación del cable es mayor y radia menos potencia, por otra parte las pérdidas de inserción están entre los 50 y 80dB.

Utilizando las mismas expresiones que en el apartado anterior, vamos a calcular como se distribuye la señal en la superficie del parking.

Tabla 4.3 Cálculos de distancia en función de la potencia para **UMTS** del operador Orange

Potencia radiada (dBm)	**Potencia radiada (mW)**	**Distancia (m) -50dBm=10nW**	**Distancia (m) -60dBm=1nW**
14.78	30.06	19.03	60.2
10	10	10.98	34.72
5	3.16	6.17	19.52
0	1	3.47	10.98

Tabla 4.4 Cálculos de distancia en función de la potencia para **GSM/1800** del operador Orange

Potencia radiada (dBm)	**Potencia radiada (mW)**	**Distancia (m) -50dBm=10nW**	**Distancia (m) -60dBm=1nW**
14.78	30.06	22.49	71.14
10	10	12.65	40.01
5	3.16	7.11	22.49
0	1	6.2	19.6

Calculamos estos valores para el operador Orange, porque es el que tiene un nivel de señal mas bajo ya que su estación base está más alejada y la potencia recibida por la antena exterior es menor que para los otros operadores.

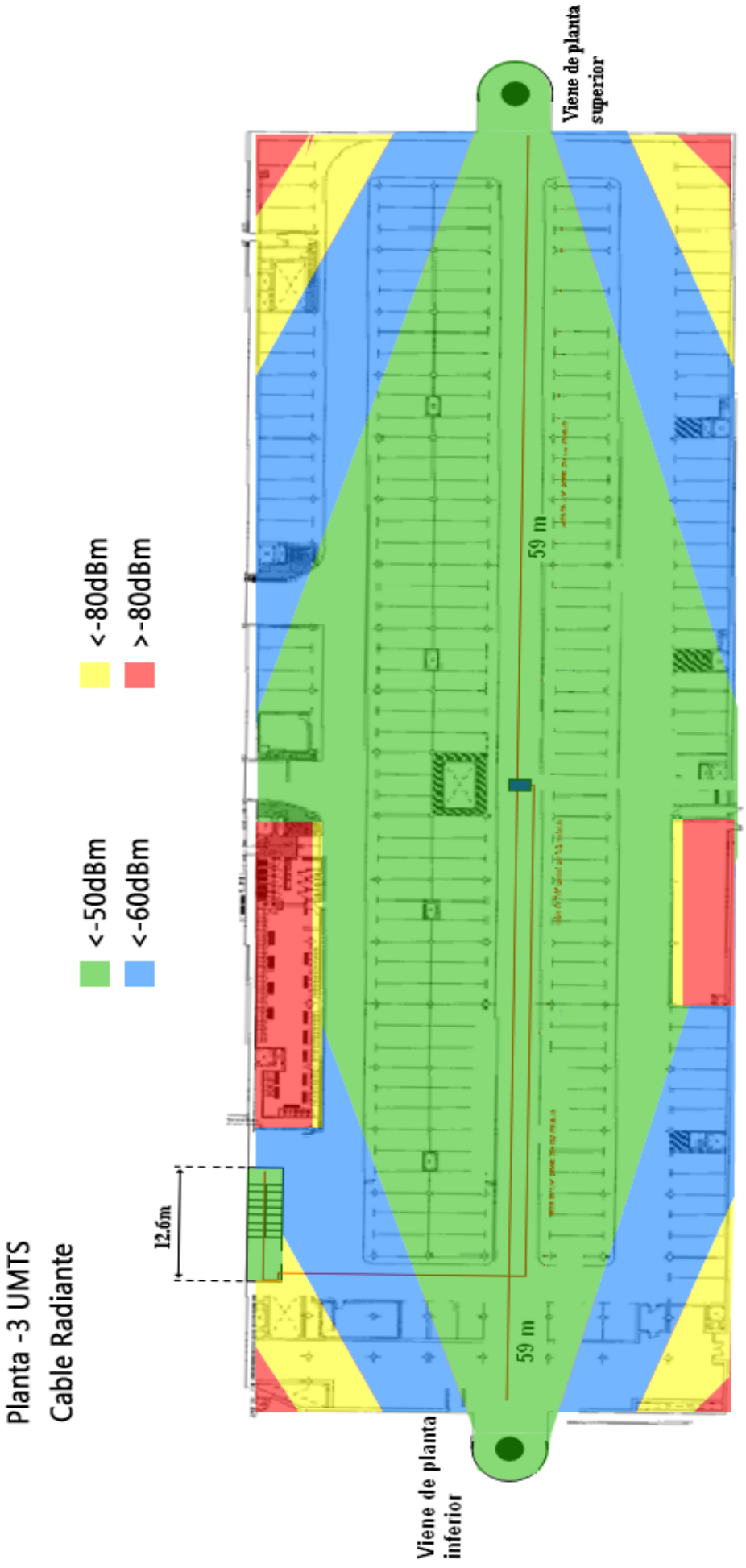
4.1.5. Mapa de cobertura para el diseño con cable radiante.

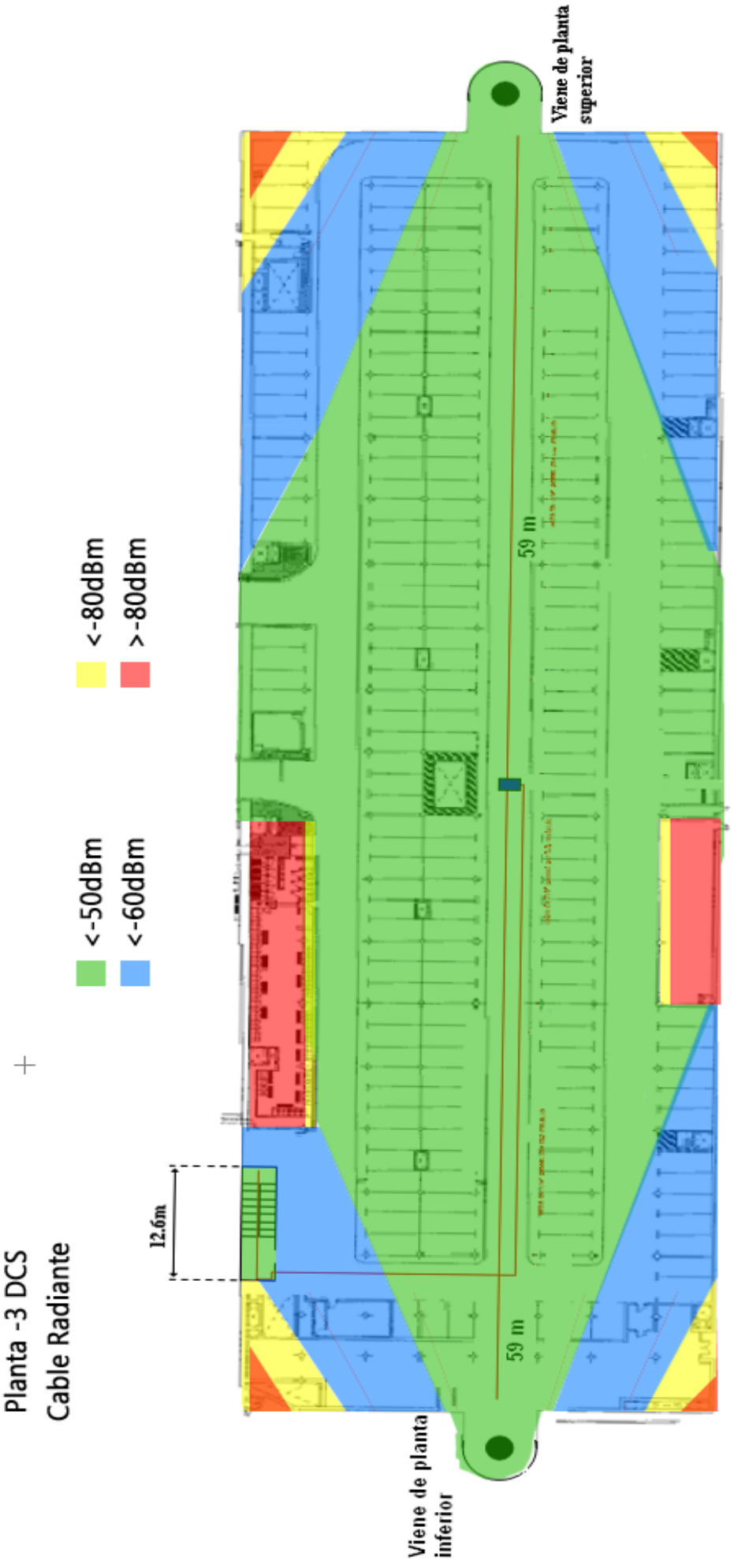
Como se puede observar en los mapas de cobertura tanto en la banda UMTS como en DCS, la cobertura es aceptable, pero no llega a los niveles que se alcanza con el diseño de antenas indoor, como se verá más adelante.

Esto se debe a que el cable radiante se utiliza básicamente para ofrecer cobertura, en túneles ya que en un túnel si colocamos antenas indoor, después del primer recodo, la señal de RF se pierde. Debido a las características de antena distribuida del cable radiante, puede proporcionar una cobertura continua en el interior del túnel, con el uso de amplificadores bidireccionales para compensar las pérdidas de inserción y acople del cable en largas distancias.

Al observar los mapas de cobertura, podemos ver que la distribución de la cobertura no es tan homogénea como en el caso del diseño con antenas indoor.

El hecho de que el cable radiante tenga una atenuación mayor, hace que a medida que nos desplazamos por el cable alejándonos del divisor de 4 puertos, la potencia radiada por el cable disminuye sensiblemente, dejando un diagrama de radiación poco efectivo para la instalación en la que estamos trabajando.


Planta -3 UMTS
Cable Radiante
<-80dBm
>-80dBm
<-50dBm
<-60dBm
12.6m
59 m
59 m
Viene de planta superior
Viene de planta inferior


Planta -3 DCS
Cable Radiante
<-80dBm
>-80dBm
<-50dBm
<-60dBm
12.6m
59 m
59 m
Viene de planta superior
Viene de planta inferior

Para poder comparar las dos alternativas, vamos a estudiar el peor caso, que es la cobertura en la planta -3. Nos centraremos en las dos tecnologías (DCS y UMTS).

Si calculamos la superficie del parking en función de la potencia radiada tenemos que la zona con un nivel de señal menor a -50dBm (verde) corresponde a un 59,83% de la superficie de la planta.

Si calculamos la zona que tiene una peor cobertura, es decir, un nivel de señal inferior a los -80dBm, el resultado es del 8.09% de la superficie de la planta, pero si tenemos en cuenta sólo las zonas comunes, es decir la zona donde tienen acceso los clientes el valor es del 1.86% de la superficie de la planta.

Por lo tanto, a la vista de estos resultados podemos afirmar que este diseño también cumple con las premisas que nos hemos marcado, pero ofrece un nivel de cobertura peor que el diseño con antenas indoor, además de tener un coste mayor.

Una ventaja del diseño con cable radiante respecto al diseño con antenas indoor, es que los obstáculos (paredes, columnas, etc.) no afectan tanto a la señal radiada.

Esto se debe a que las antenas radian la señal como si fuera una fuente puntual, en cambio el cable radiante no es una fuente puntual de radiación sino que radia a lo largo de toda su superficie. Esto hace que los obstáculos afecten menos a la señal radiada.

4.2. Esquema unifilar para el diseño con antenas indor.

En este apartado vamos a explicar como hemos diseñado la instalación y que material hemos utilizado para el diseño con antenas indoor.

En primer lugar hemos diseñado un circuito unifilar para poder distribuir la señal captada por las tres antenas logoperiódicas, procedentes de las estaciones base, hasta cada una de las diferentes antenas indoor distribuidas por el parking.

Las 3 antenas logoperiodicas se han orientado cada una, hacia una estación base de los diferentes operadores para los que vamos a extender la cobertura.

Un parámetro importante a la hora de instalar las antenas, es garantizar el aislamiento entre las antenas que recogen la señal de las diferentes estaciones base y las antenas que extienden la cobertura en el interior del parking.

Este aislamiento debe ser 10 dB mayor que la ganancia de los repetidores, para evitar la saturación de éstos. Como en este caso la máxima ganancia es de 70 dB, el aislamiento debe ser de 80 dB o superior, en este caso al ser una instalación subterránea, se cumple la condición de aislamiento.

Para poder distribuir la señal de los tres operadores (Movistar, Vodafone y Orange) y las dos tecnologías (DCS y UMTS), hemos utilizado un divisor de 4 puertos para unificar la señal de los tres operadores y las dos tecnologías en una única salida. Después hemos utilizado combinadores de 3 puertos para separar la señal de UMTS y DCS, independientemente del operador, para llevarla a su repetidor correspondiente y amplificar así la señal.

Los repetidores utilizados, en el caso de DCS amplifican cuatro canales, por lo que un operador (Movistar) dispondrá de dos canales para sus abonados y los otros dos operadores (Vodafone y Orange) dispondrán de un canal cada uno para los suyos. Por lo que la capacidad en la banda DCS será de 16 usuarios para Movistar y 8 usuarios para cada uno de los otros dos operadores.

En el caso de UMTS, el repetidor, amplifica 3 portadoras para los 3 operadores a los que se va a dar cobertura en el parking. En este caso la capacidad está en función del tráfico que soportan las estaciones base a las que estamos conectados, una de cada operador.

En nuestro diseño hemos utilizado repetidores canalizados, tanto en la banda DCS como en la de UMTS, que suponen un coste mayor que los no canalizados pero eliminan ruido en la instalación, ya que sólo permiten el paso y amplifican las frecuencias de los canales que vamos a utilizar, eliminando señales que están fuera de la banda de interés.

Una vez amplificada la señal, con otro combinador de 3 puertos volvemos a unir las señales de las bandas DCS y UMTS en una única salida, para llevarla hasta las diferentes antenas y poder radiarla. Para ello hemos utilizado divisores y acopladores con diferentes atenuaciones (1/7dB y 0.4/10.4dB), distribuidos convenientemente para hacer llegar la señal lo menos atenuada posible a cada antena.

Para poder alcanzar una cobertura deseable hemos necesitado incluir en el diseño un amplificador de 24dB, tanto para la señal de DCS como para la de UMTS.

En las siguientes figuras podemos ver la distribución de las antenas indoor, para repartir la señal, en las 3 plantas del parking.

En la planta -1, hemos utilizado 5 antenas, 3 omnidireccionales para la zona donde estacionan los vehículos y 2 antenas de panel más directivas para las zonas de escaleras y la garita. En la (**Fig 4.3**) podemos ver como quedan distribuidas las diferentes antenas.

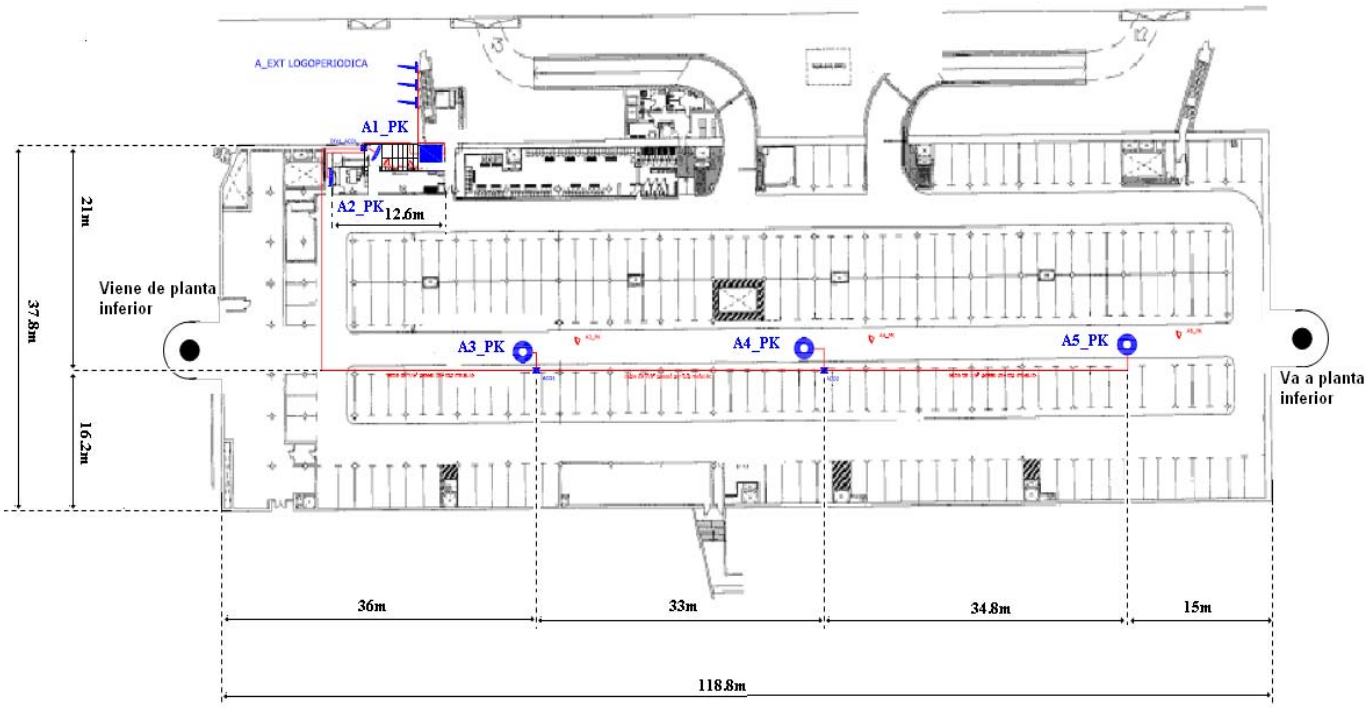


Fig.4.3 Plano de la planta -1

En la planta -2 se han utilizado 4 antenas, 1 antena de panel en la zona de escaleras y 3 antenas omnidireccionales para la zona donde estacionan los vehículos, como se puede ver en la (**Fig.4.4**).

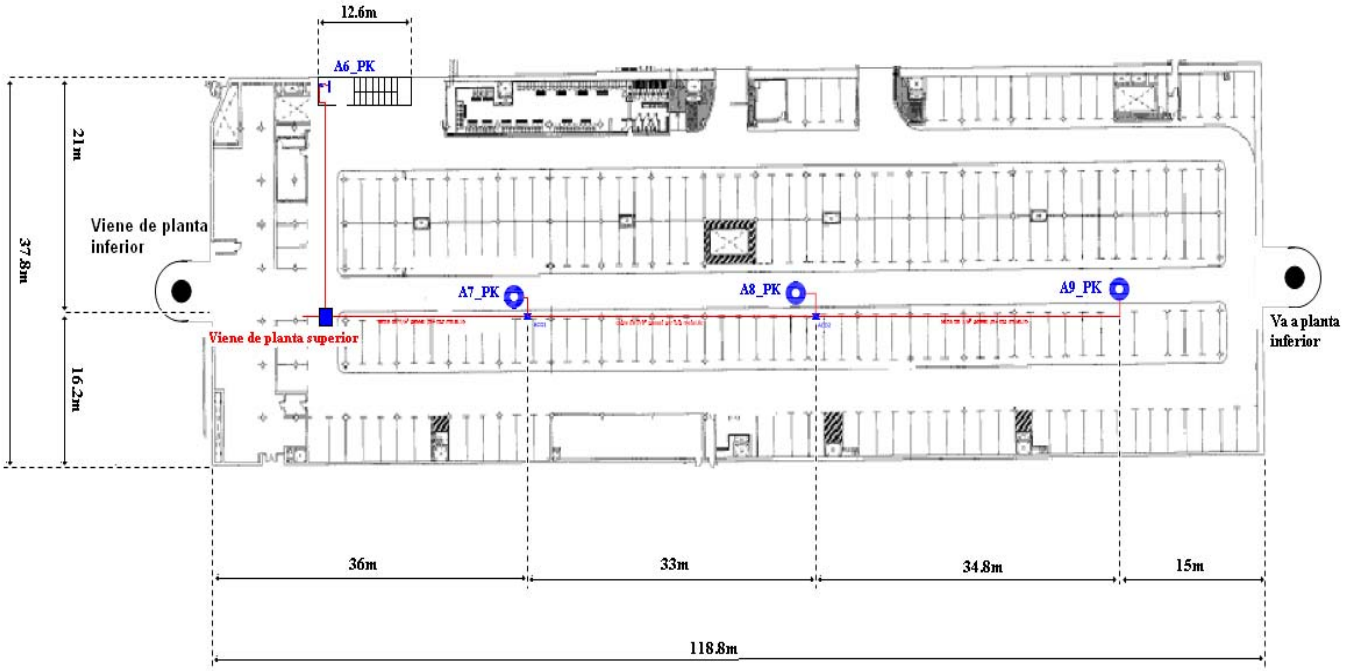


Fig.4.4 Plano de la planta -2

La distribución en la planta -3 es igual a la de la planta -2, con una antena más directiva (antena de panel) para la zona de escaleras y 3 antenas omnidireccionales en la zona de estacionamiento de vehículos. (**Fig.4.5**).

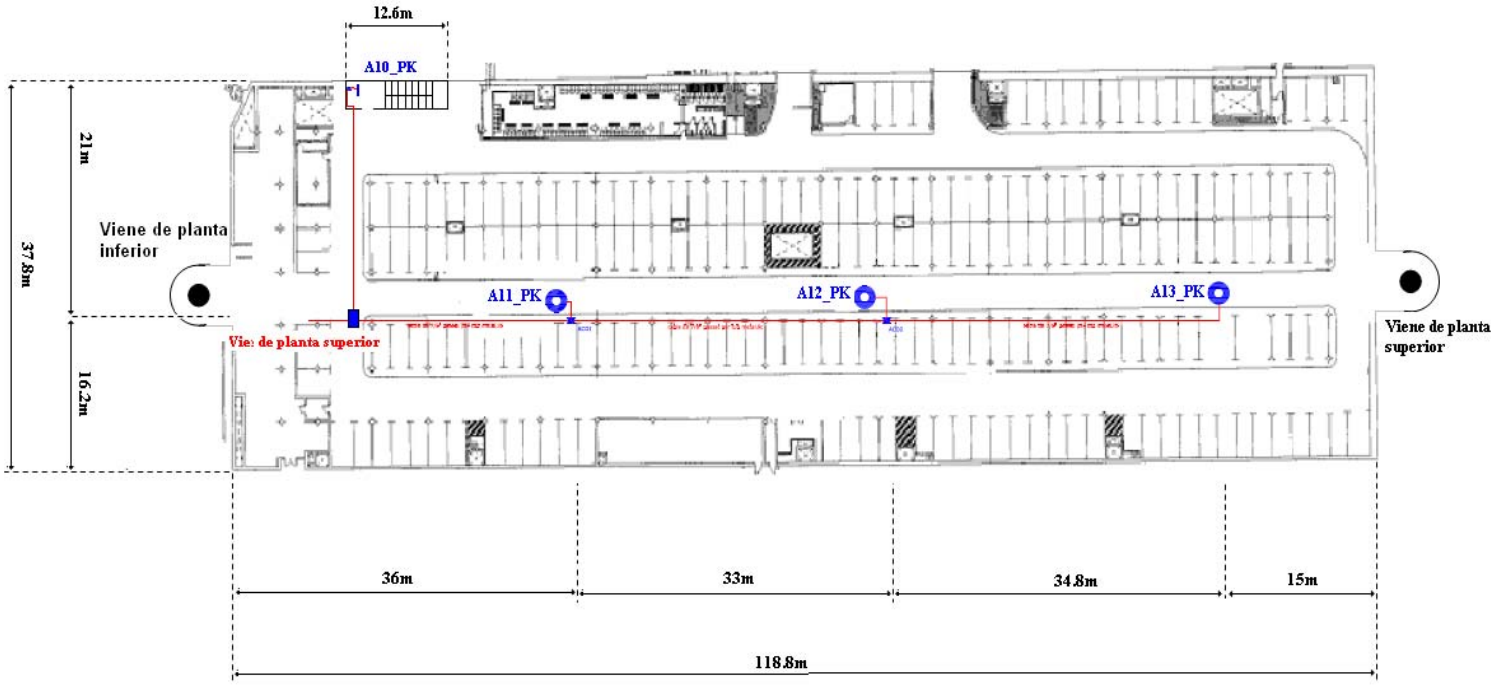


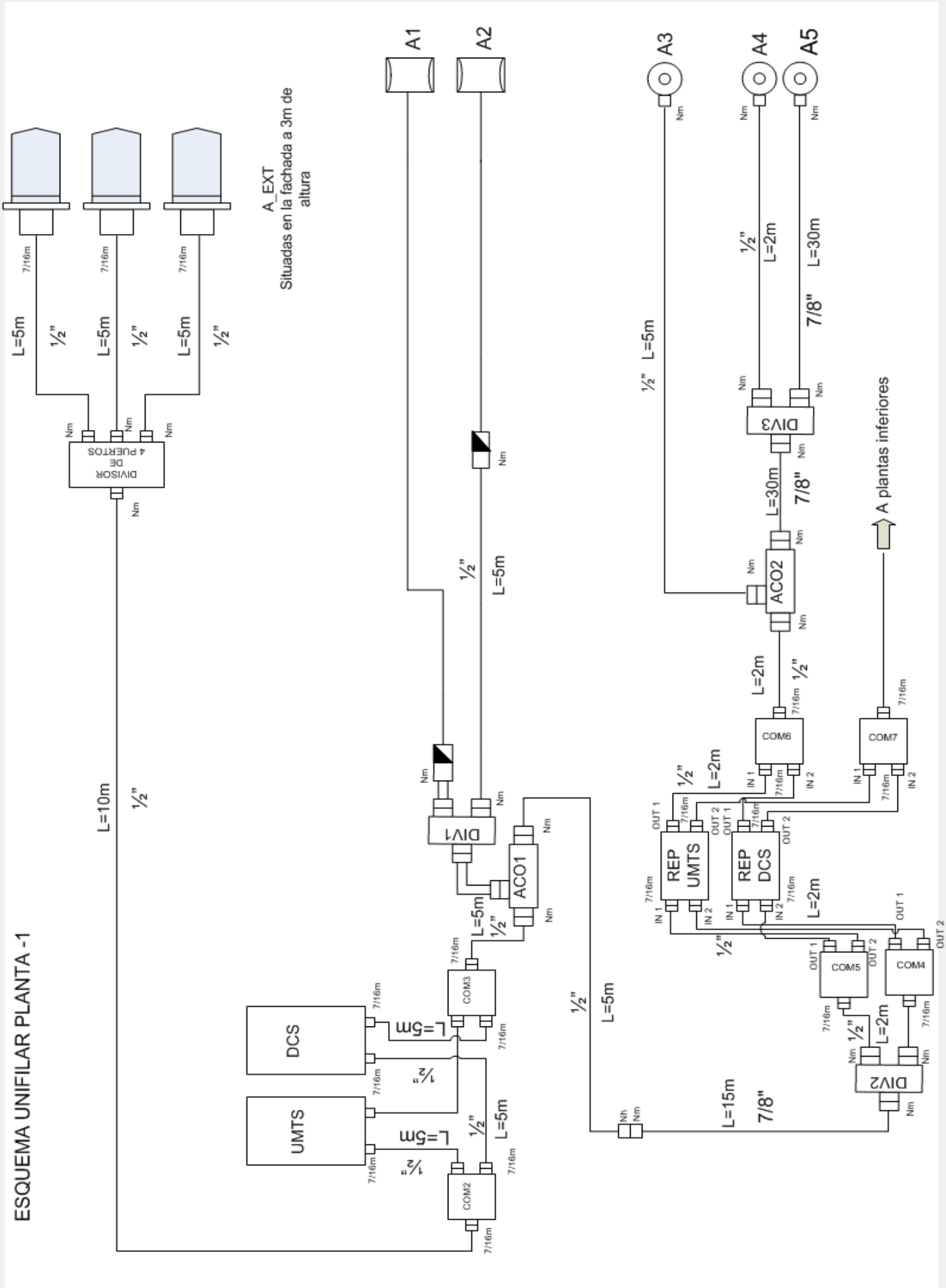
Fig.4.5 Plano de la planta -3

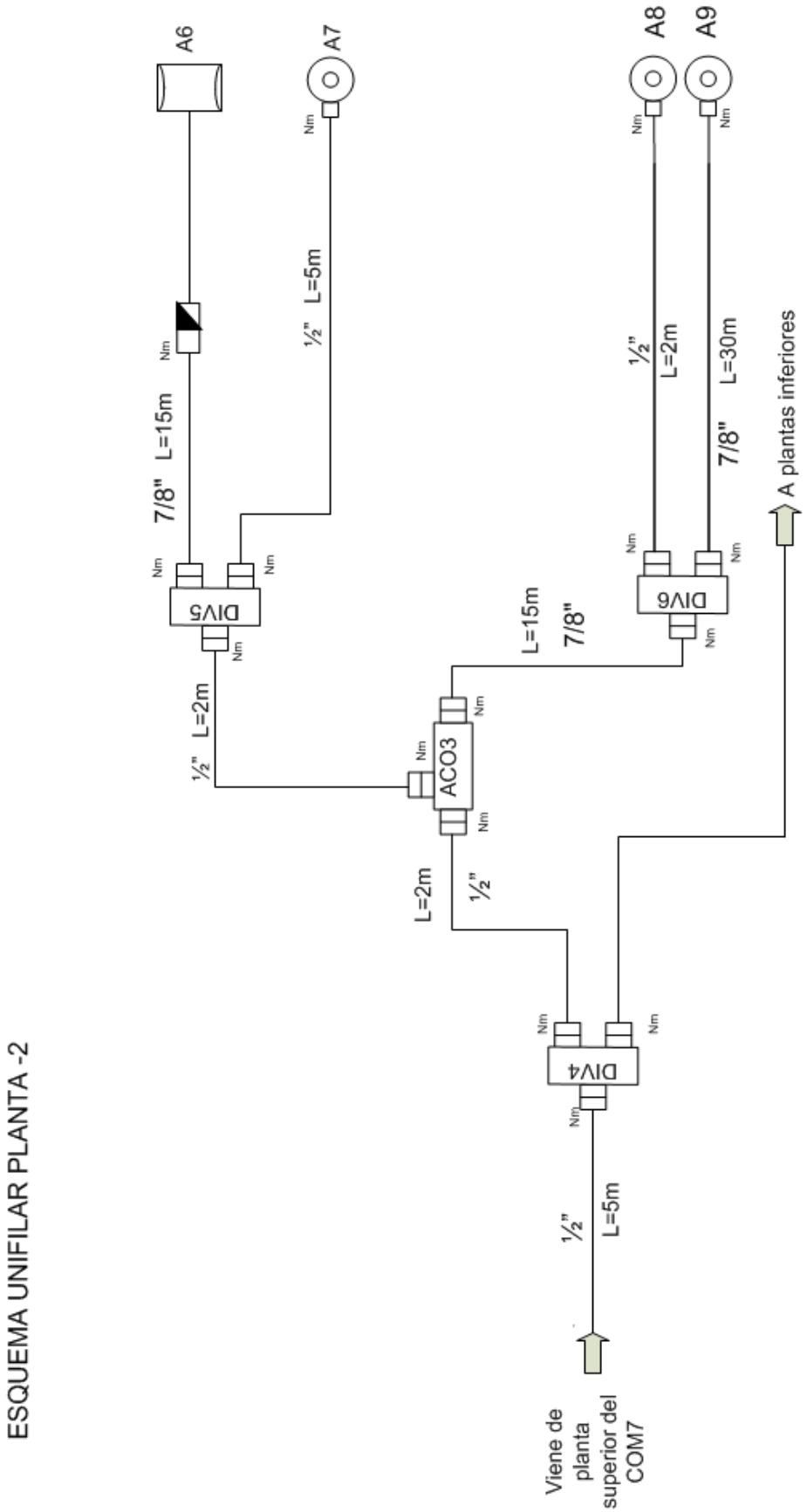
El cable que se ha utilizado, es cable coaxial flexible de ½" y 7/8". El motivo de utilizar dos medidas diferentes, es para compensar el compromiso entre el coste de la instalación y la atenuación de la señal, es decir, hemos utilizado el cable de 7/8" para las tiradas más largas que atenúa menos la señal y en las tiradas más cortas utilizamos el cable de ½" cuyo coste es menor, aunque la atenuación es más grande.

Los datasheet del material utilizado (Acopladores, Repetidores, Amplificadores, Divisores, cables, etc.) se encuentran en los diferentes anexos al final de la memoria.

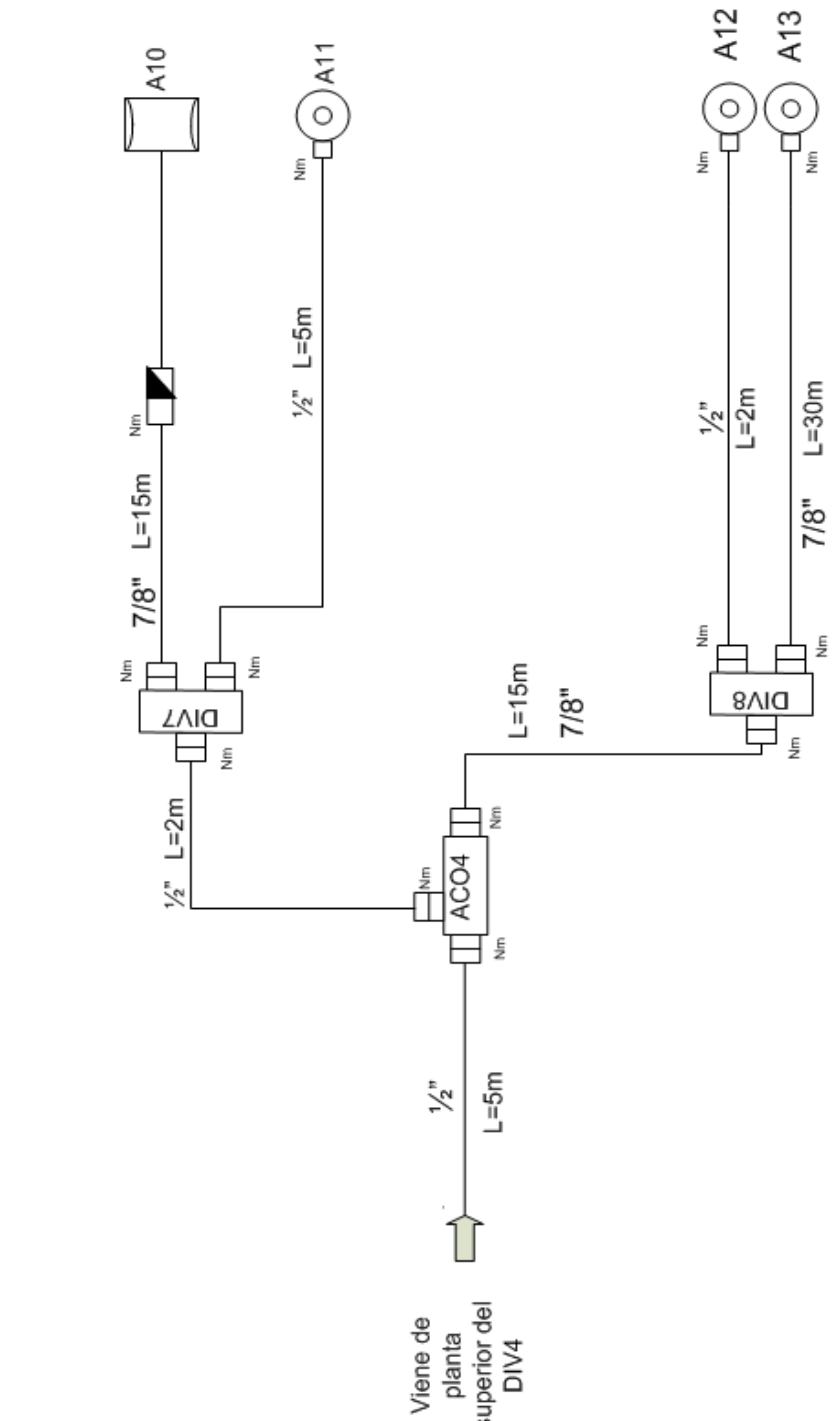
Ahora presentamos los esquemas unifilares de las 3 plantas del parking, donde podemos ver todos los elementos de la instalación.

Para relacionar los planos de las diferentes plantas del parking con los esquemas unifilares, podemos fijarnos en la enumeración de las diferentes antenas, ya que en los planos de las plantas no se aprecian los demás elementos de la instalación.


ESQUEMA UNIFILAR PLANTA -1
A_EXT
Situadas en la fachada a 3m de altura
A1
A2
A3
A4
A5
DIVISOR DE 4 PUERTOS
DIV1
DIV2
DIV3
ACO1
ACO2
COM2
COM3
COM4
COM5
COM6
COM7
REP UMTS
REP DCS
DCS
UMTS
A plantas inferiores
L=10m
L=15m
L=5m
L=2m
L=30m
½"
7/8"
7/16m
Nm
IN 1
IN 2
OUT 1
OUT 2


ESQUEMA UNIFILAR PLANTA -2
A6
A7
A8
A9
7/8" L=15m
½" L=5m
½" L=2m
7/8" L=30m
L=15m
7/8"
½" L=2m
L=2m
½"
½" L=5m
DIV5
DIV6
ACO3
DIV4
Nm
A plantas inferiores
Viene de planta superior del COM7

ESQUEMA UNIFILAR PLANTA -3



4.3. Cálculo de potencia y atenuaciones

Una vez tenemos diseñado el esquema unifilar de las 3 plantas, para ver como distribuimos la señal hacia las diferentes antenas, pasamos al cálculo de potencias y atenuaciones.

En este caso no hemos tenido en cuenta las atenuaciones debido a los conectores, que son de 0.2dB, ni la de los combinadores que son de 0.3dB, tanto en la banda DCS como en la banda de UMTS

4.3.1. Cálculos de atenuaciones para UMTS

Para realizar estos cálculos hemos tenido en cuenta la señal recibida en la antena exterior correspondiente al operador que nos ofrece una señal más baja, es decir, en este caso el operador en cuestión es Orange ya que recibimos una señal de -50 dBm, por ser la estación más alejada del parking.

4.3.1.1. Atenuación de los cables

Tabla 4.5 Atenuación Cable ½" **UMTS**

Distancia en m	Atenuación en dB
100	16.5
2	0.33
5	0.825
10	1.65

Tabla 4.6 Atenuación Cable 7/8" **UMTS**

Distancia en m	Atenuación en dB
100	10.7
10	1.07
15	1.6
30	3.21

4.3.1.2. Cálculos de atenuación planta -1

El repetidor de UMTS tiene una ganancia máxima de 70dB, pero su salida como máximo alcanza los 14 dBm para amplificar 3 portadoras. Por lo tanto a la salida del repetidor de UMTS obtenemos el máximo valor que nos puede proporcionar el repetidor, es decir los 14 dBm, puesto que a la entrada del

repetidor tenemos una señal de -45.3dBm que sumados a la máxima ganancia supondría una señal de 24.7 dBm que es superior a los 14 dBm que es la salida máxima de este repetidor.

Tabla 4.7 Cálculos de potencia en la planta -1 de la banda **UMTS** para el operador Orange.

Potencia recibida antena logoperiódica	-50 dBm
Potencia entrada repetidor	-45.3 dBm
Potencia salida repetidor	14 dBm
Potencia entrada amplificador	5.26 dBm
Potencia salida amplificador	29.265 dBm
Potencia radiada A1(panel)	9.35 dBm
Potencia radiada A2(panel)	8.25 dBm
Potencia radiada A3(omni)	19.38 dBm
Potencia radiada A4(omni)	23.665 dBm
Potencia radiada A5(omni)	20.785 dBm

4.3.1.3. Cálculos de atenuación planta -2

La potencia que llega a la planta -2 sale del combinador 7, que es igual a la del combinador 6.

Tabla 4.8 Cálculos de potencia en la planta -2 de la banda **UMTS** para el operador Orange.
.

Potencia salida combinador 7	28.935 dBm
Potencia radiada A6(panel)	19.85 dBm
Potencia radiada A7(omni)	15.625 dBm
Potencia radiada A8(omni)	20.85 dBm
Potencia radiada A9(omni)	17.97 dBm

4.3.1.4. Cálculos de atenuación planta -3

La potencia que llega a la planta -3 sale del divisor 4

Tabla 4.9. Cálculos de potencia en la planta -3 de la banda **UMTS** para el operador Orange.

Potencia de salida DIV4	25.11 dBm
Potencia radiada A10(panel)	19.355 dBm
Potencia radiada A11(omni)	15.13 dBm
Potencia radiada A12(omni)	20.355 dBm
Potencia radiada A13(omni)	17.475 dBm

Los divisores utilizados tienen una atenuación de 3dB a la salida.
En cambio los acopladores tienen todos una atenuación de 1dB en **P1** y 7 dB en **P2**, excepto el **ACO2** que en **P1** tiene 0.4dB y en **P2** 10.4dB de atenuación.
Los datasheet de todos los elementos utilizados en el diseño, están en los anexos al final de la memoria.

4.3.2. Cálculo de atenuaciones para DCS

Para realizar estos cálculos hemos tenido en cuenta la señal recibida en la antena exterior correspondiente al operador que nos ofrece una señal más baja, es decir, en este caso el operador en cuestión es Orange ya que recibimos una señal de -48 dBm, por ser la estación más alejada del parking.

4.3.2.1. Atenuación de los cables

Tabla.4.10. Atenuación cable ½" **DCS**

Distancia en m	Atenuación en dB
100	15.6
2	0.31
5	0.78
10	1.56

Tabla.4.11. Atenuación cable 7/8" **DCS**

Distancia en m	Atenuación en dB
100	10.10
10	1.01
15	1.51
30	3.03

4.3.2.2. Cálculos de atenuación planta -1

El repetidor de DCS tiene una ganancia máxima de 70dB, pero su salida como máximo alcanza los 34 dBm para amplificar 4 canales. Por lo tanto a la salida del repetidor de DCS obtenemos una salida de 24.7dBm, no alcanzamos el máximo a la salida del repetidor (34dBm), puesto que la entrada debería ser mayor para que sumado a los 70dB llegue a los 34dBm.

Tabla 4.12. Cálculos de potencia en la planta -1 de la banda **DCS** para el operador Orange.

Potencia recibida antena logoperiódica	-48 dBm
Potencia entrada repetidor	-43.3 dBm
Potencia salida repetidor	26.7 dBm
Potencia entrada amplificador	16.23 dBm
Potencia salida amplificador	40.23dBm
Potencia radiada A1(panel)	20.14 dBm
Potencia radiada A2(panel)	19.36 dBm
Potencia radiada A3(omni)	30.43 dBm
Potencia radiada A4(omni)	34.87 dBm
Potencia radiada A5(omni)	32.15 dBm

4.3.2.3. Cálculos de atenuación planta -2

La potencia que llega a la planta -2 sale del combinador 7, que es igual a la del combinador 6.

Tabla 4.13. Cálculos de potencia en la planta -2 de la banda DCS para el operador Orange.

Potencia salida combinador 7	39.92 dBm
Potencia radiada A6(panel)	31.01 dBm
Potencia radiada A7(omni)	26.74 dBm
Potencia radiada A8(omni)	32.01 dBm
Potencia radiada A9(omni)	29.29 dBm

4.3.2.4. Cálculos de atenuación planta -3

La potencia que llega a la planta -3 sale del divisor 4

Tabla 4.14. Cálculos de potencia en la planta -3 de la banda DCS para el operador Orange.

Potencia de salida DIV4	39.14 dBm
Potencia radiada A10(panel)	30.54 dBm
Potencia radiada A11(omni)	26.27 dBm
Potencia radiada A12(omni)	31.54 dBm
Potencia radiada A13(omni)	28.82 dBm

4.4. Atenuación por propagación radioeléctrica

Una vez hecho el cálculo de atenuaciones, sabemos qué potencia radia cada una de las antenas que hay en el parking. Por lo que podemos hacer un estudio de cómo se atenúa la señal en su propagación radioeléctrica, teniendo en cuenta los diferentes obstáculos que se interponen (columnas, paredes, etc.).

Por simplicidad, se ha asumido el modelo de propagación en espacio libre. Por tanto Utilizamos la expresión:

$$P_{REC} = PIRE\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_{RX} \quad \textbf{(4.1)}$$

Donde

$$PIRE - P_{RAD} D_{TX} \quad \textbf{(4.2)}$$

Hemos tenido en cuenta el peor caso posible, que es una ganancia de la antena receptora de 0dBi, es decir, una antena isotrópica que radia por igual en todas las direcciones. Como los móviles en ocasiones poseen antenas no completamente isotrópicas, la potencia recibida por un usuario, en general será superior a lo que hemos calculado aquí.

Por lo tanto la expresión para el cálculo de la potencia recibida queda de la forma siguiente:

$$P_{REC} = PIRE\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad \textbf{(4.3)}$$

A partir de esta expresión para calcular la potencia recibida, hemos aislado la distancia, para poder calcularla en función de la potencia recibida y así poder

elaborar un mapa de cobertura para ver como quedaría ésta sobre el plano del parking, sin tener en cuenta, de momento, las atenuaciones de los diferentes obstáculos.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{\frac{P_{RE}}{P_{REC}}} \qquad \textbf{(4.4)}$$

Tabla 4.15. Cálculos de distancia en función de la potencia para **UMTS** del operador Orange.

Antena	P. radiada (mW)	P.radiada (dBm)	Distancia (m) -50dBm=10nW	Distancia(m) -60dBm=1nW
A1(panel)	8.6	9.35	10.18	32.20
A2(panel)	6.68	8.25	8.97	28.38
A3(omni)	86.69	19.38	32.33	102.24
A4(omni)	232.54	23.665	52.95	167.46
A5(omni)	119.81	20.785	38.01	120.2
A6(panel)	96.6	19.85	34.13	107.93
A7(omni)	36.51	15.625	20.98	66.35
A8(omni)	121.61	20.85	38.29	121.12
A9(omni)	62.66	17.97	27.48	86.92
A10(panel)	86.19	19.355	32.24	101.95
A11(omni)	32.58	15.13	19.82	62.68
A12(omni)	108.51	20.355	36.17	114.39
A13(omni)	55.91	17.475	25.96	82.11

Hemos marcado en rojo la antena que radia menos potencia, de las instaladas en el parking, para la tecnología UMTS.

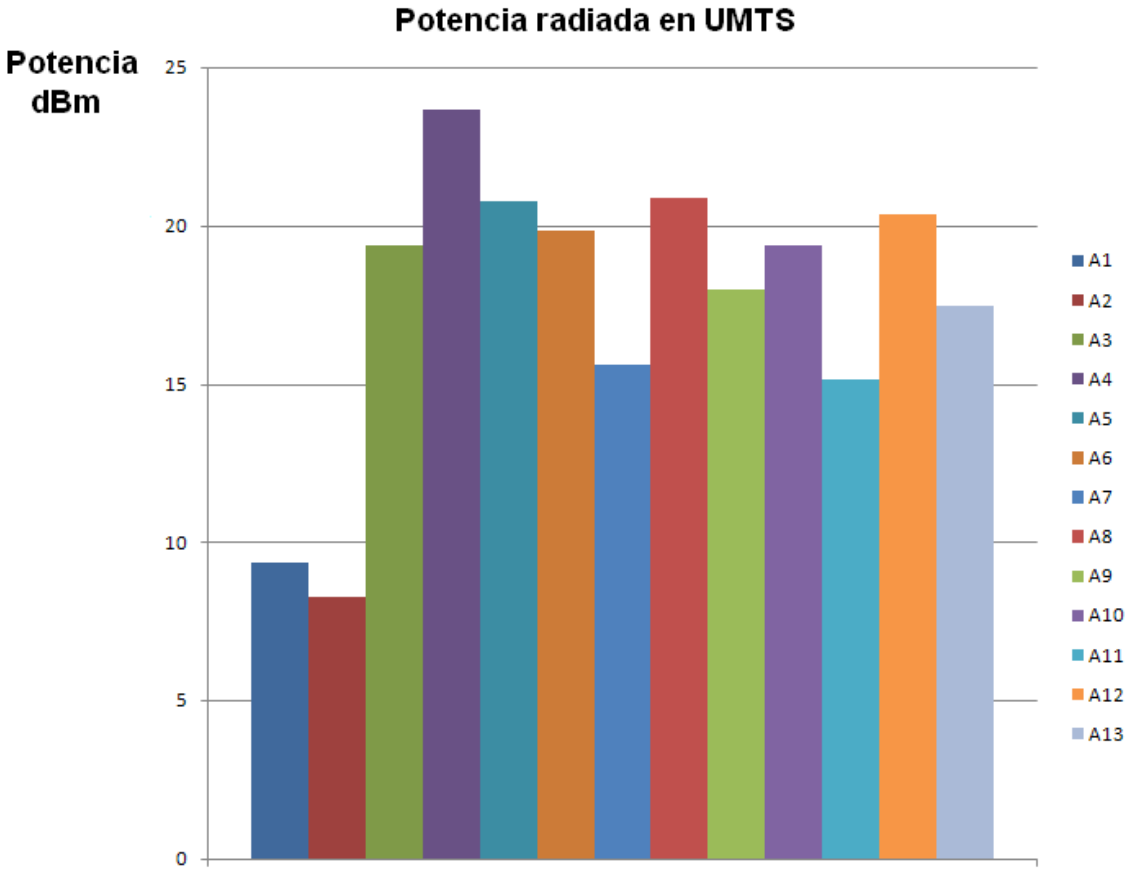


Fig.4.6. Gráfico de las potencias radiadas por las antenas indoor para **UMTS**.

Tabla 4.16. Cálculos de distancia en función de la potencia para **DCS** del operador Orange.

Antena	P. radiada (W)	P.radiada (dBm)	Distancia (m) -50dBm=10nW	Distancia(m) -60dBm=1nW
A1(panel)	0.10324	20.14	40.66	128.58
A2(panel)	0.08629	19.36	37.16	117.53
A3(omni)	1.104	30.43	132.94	420.4
A4(omni)	3.069	34.87	221.65	700.94
A5(omni)	1.64	32.15	162.03	512.4
A6(panel)	1.261	31.01	142.08	449.3
A7(omni)	0.472	26.74	86.93	274.9
A8(omni)	1.588	32.01	159.44	504.21
A9(omni)	0.849	29.29	116.59	368.71
A10(panel)	1.132	30.54	134.62	425.7
A11(omni)	0.423	26.27	82.35	260.42
A12(omni)	1.425	31.54	151.04	477.63
A13(omni)	0.762	28.82	110.45	349.28

Hemos marcado en rojo la antena que radia menos potencia, de las instaladas en el parking, para la tecnología UMTS.

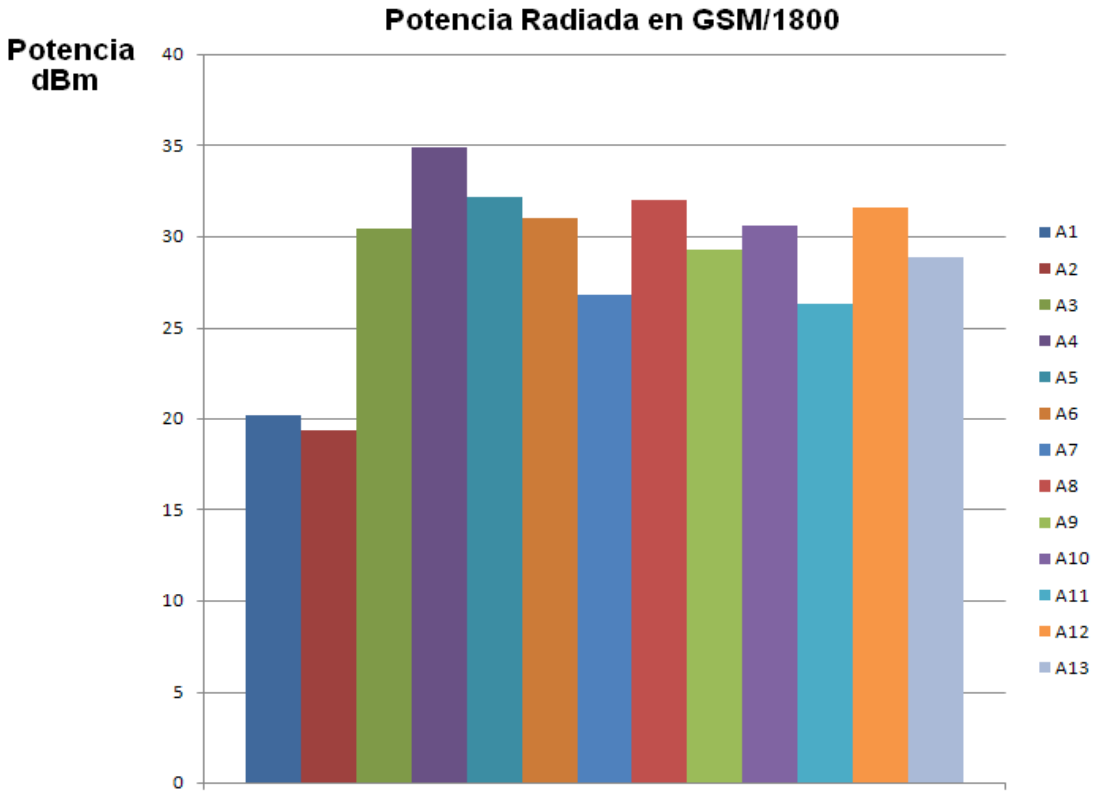


Fig.4.7. Gráfico de las potencias radiadas por las antenas indoor para **DCS**.

Hemos pasado la potencia de dBm a Vatios, para poder calcular a que distancia recibiremos las diferentes potencias como, por ejemplo, -50dBm o lo que es lo mismo 10nW.

4.4.1. Atenuación de los materiales

Para realizar el mapa de cobertura hemos tenido en cuenta la atenuación de los diferentes obstáculos. Para estimar la atenuación de los diferentes materiales, hemos utilizado un software de medida (Netstumbler) (**Fig.4.4**), el hardware que se ha utilizado ha sido un portátil, un Pc de sobremesa y un Access Point.

El procedimiento para estimar empíricamente la atenuación de los diferentes materiales ha sido la siguiente.

Una vez cargado el software en un portátil y con un Access point, que radia una señal wifi, conectado a otro Pc. Nos hemos colocado con el portátil a unos 6m

de distancia del Access point y hemos anotado el valor de la señal recibida. Después de esto hemos vuelto a repetir la misma operación pero interponiendo una pared de ladrillo, la diferencia en el valor de la señal recibida, es el valor de la atenuación del ladrillo, en este caso. Este mismo procedimiento lo hemos hecho para diferentes materiales.

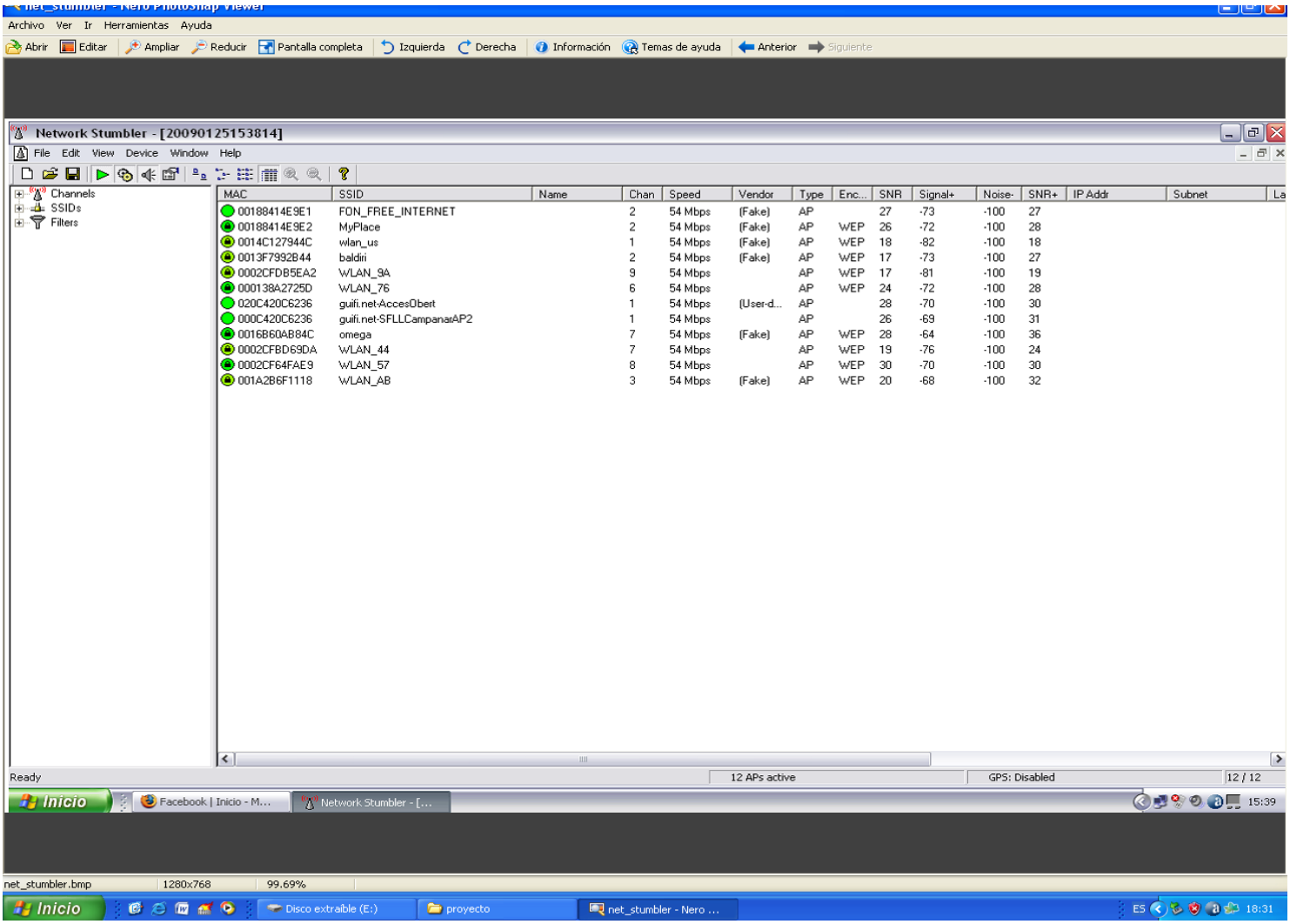


Fig.4.8 Vista del software Netstumbler

Hemos elaborado una tabla en la que están las atenuaciones de los diferentes materiales que nos encontramos en el parking.

Tabla 4.17. Atenuación estimada de los materiales.

MATERIAL	ATENUACIÓN
Puerta de madera	3dB
Pared de ladrillo	6dB
Columna de hormigón	15dB

Los valores de atenuación se han calculado con una señal wifi (2.4 GHz) que no es exactamente la frecuencia con la que trabajamos, pero es muy parecida por lo que asumiremos esta atenuación como una estimación aproximada válida.

$$f = 2.4\ GHz \Rightarrow \ \lambda = 0.125m\ (señal\ wifi)$$
$$f = 2.17\ GHz \Rightarrow \lambda = 0.138m\ (señal\ UMTS)$$
$$f = 1.88\ GHz \Rightarrow \lambda = 0.159m\ (señal\ DCS)$$

Una vez calculado como varia la potencia en función de la distancia y sabiendo las atenuaciones de los materiales que se interponen a la señal. Podemos elaborar un mapa de cobertura.

4.5. Mapas de cobertura.

Con todos los datos recogidos de las secciones anteriores, estamos en disposición de elaborar un mapa de cobertura, es decir, por una parte tenemos la potencia que radia cada una de las antenas que hay en el parking, también se ha calculado la atenuación por propagación radioeléctrica y la atenuación producida por los diferentes obstáculos que la señal radiada se encuentra en su camino.

Para realizar el mapa de cobertura Hemos tenido en cuenta la escala del plano del parking (1 cm = 6m) y así poder calcular a que distancia están los diferentes obstáculos, para saber como afecta al nivel de señal cada uno de estos obstáculos.

Este mapa nos permite tener una visión más gráfica de cómo quedará la cobertura en el interior del parking.

Debemos tener en cuenta que los mapas que se presentan a continuación están basados en cálculos teóricos. La propagación en entornos de interiores es un fenómeno muy complejo. Ya que muchas veces el rayo directo está bloqueado por diferentes obstáculos (paredes, columnas, etc.), lo que supone que en muchos casos la señal llegue al receptor a través de multitrayectos, con dispersión, difracción y reflexión.

Debido a la complejidad que entraña un modelo clásico en términos de rayos, prácticamente todos los modelos de interiores presentados se han obtenido a partir de mediciones experimentales.

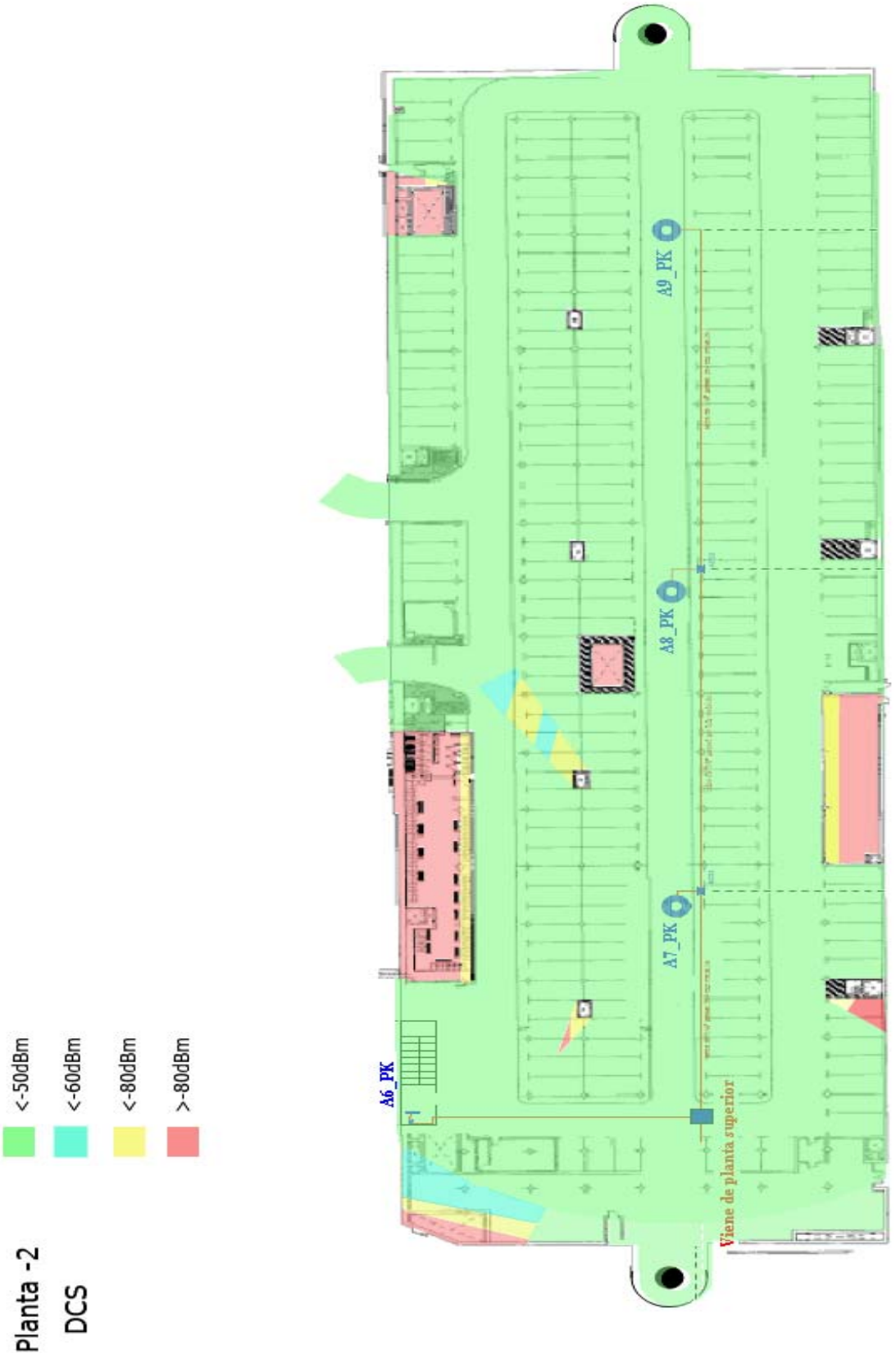
Por lo que idealmente una vez terminada la instalación es necesario hacer medidas de campo para comprobar como ha quedado realmente la cobertura en el interior del parking.

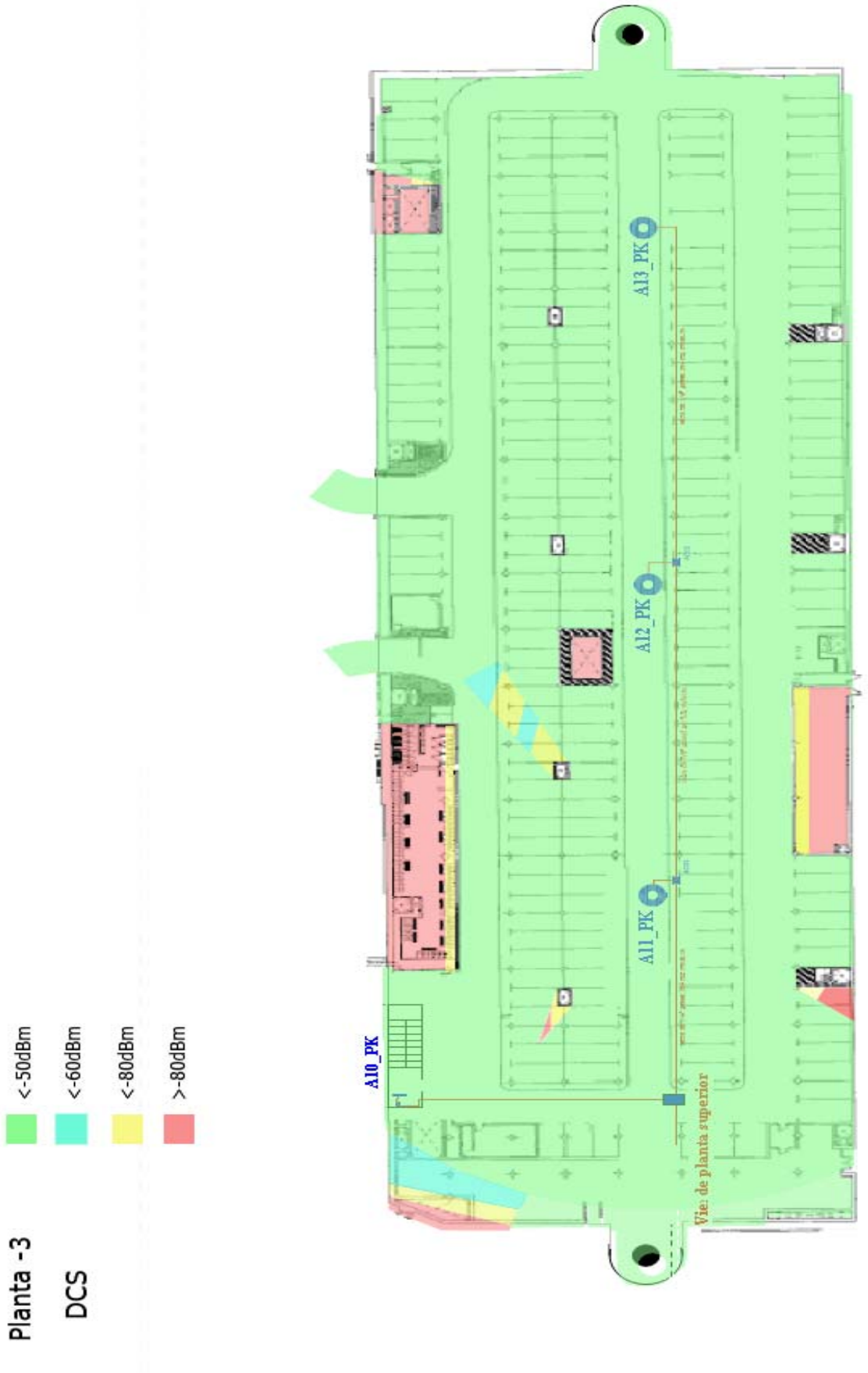
Planta -1
UMTS
<-50dBm
<-60dBm
<-80dBm
>-80dBm
A5_PK
A4_PK
A3_PK
A2_PK
12.6m
A1_PK
A_EXT LOGOPERIODICA

Planta -2
UMTS
<-50dBm
<-60dBm
<-80dBm
>-80dBm
A8_PK
A7_PK
A6_PK
Viene de planta superior

Planta -3
UMTS
<-50dBm
<-60dBm
<-80dBm
>-80dBm
A10_PK
A11_PK
A12_PK
A13_PK
Vie: de planta superior

Planta -1
DCS
<-50dBm
<-60dBm
<-80dBm
>-80dBm
A5_PK
A4_PK
A3_PK
A2_PK
12.6m
A1_PK
A_EXT LOGOPERIODICA


Planta -2
DCS
<-50dBm
<-60dBm
<-80dBm
>-80dBm
A9_PK
A8_PK
A7_PK
A6_PK
Viene de planta superior


Planta -3
DCS
<-50dBm
<-60dBm
<-80dBm
>-80dBm
A10_PK
A11_PK
A12_PK
A13_PK
Vie: de planta superior

Una vez vistos los mapas de cobertura, vamos a estudiar el peor caso, es decir, la planta que ofrece menos cobertura. Por lo que nos centraremos en la planta -3 de la tecnología UMTS.

Como se puede observar en los mapas de cobertura, hemos coloreado las zonas del parking en función de la señal recibida. Calculando la superficie en color verde, que representa un nivel de señal superior a los -50dBm, obtenemos un valor del 76.58% de la superficie de la planta.

Si calculamos la zona que tiene una peor cobertura, es decir, un nivel de señal inferior a los -80dBm, el resultado es del 6.14% de la superficie de la planta, pero si tenemos en cuenta sólo las zonas comunes, es decir la zona donde tienen acceso los clientes el valor es del 0.96% de la superficie de la planta.

Por lo tanto estamos en disposición de asegurar que se cumple uno de los objetivos marcados en nuestro diseño, que es lograr una cobertura con un nivel de señal mayor a -80 dBm en un 95 % de la superficie del parking.

4.6. Software de medida

Existen diferentes softwares para realizar las medidas de cobertura una vez terminada la instalación.

Para la tecnología GSM se utiliza el TEMPS. Este software puede hacer un escaneo de toda la banda GSM/900 y GSM/1800, para saber que niveles de señal tiene a cada frecuencia. También puede valorar los diferentes parámetros de comunicación como los handover cuando se pasa de una estación base a otra, la relación señal/ruido, relación señal/señal interferente, etc.

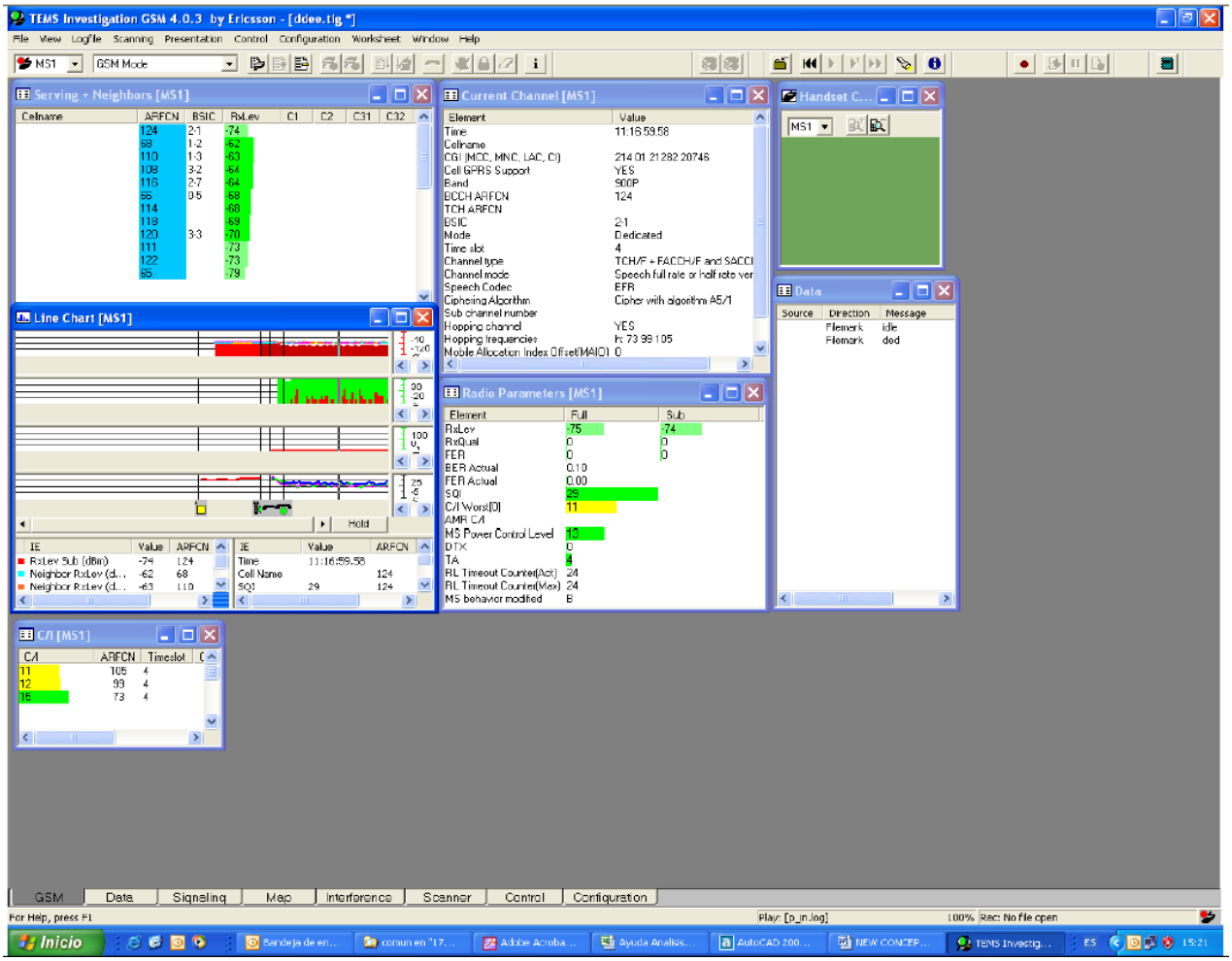


Fig.4.9. Vista del software TEMPS

Para la tecnología UMTS se utiliza el XCAL, que realiza medidas de calidad de servicio como por ejemplo el retardo en el establecimiento de la conexión, etc.

En este caso para hacer las medidas se utilizan dos teléfonos uno hace llamadas de voz y otro hace video llamadas para comprobar que los dos servicios funcionan correctamente.

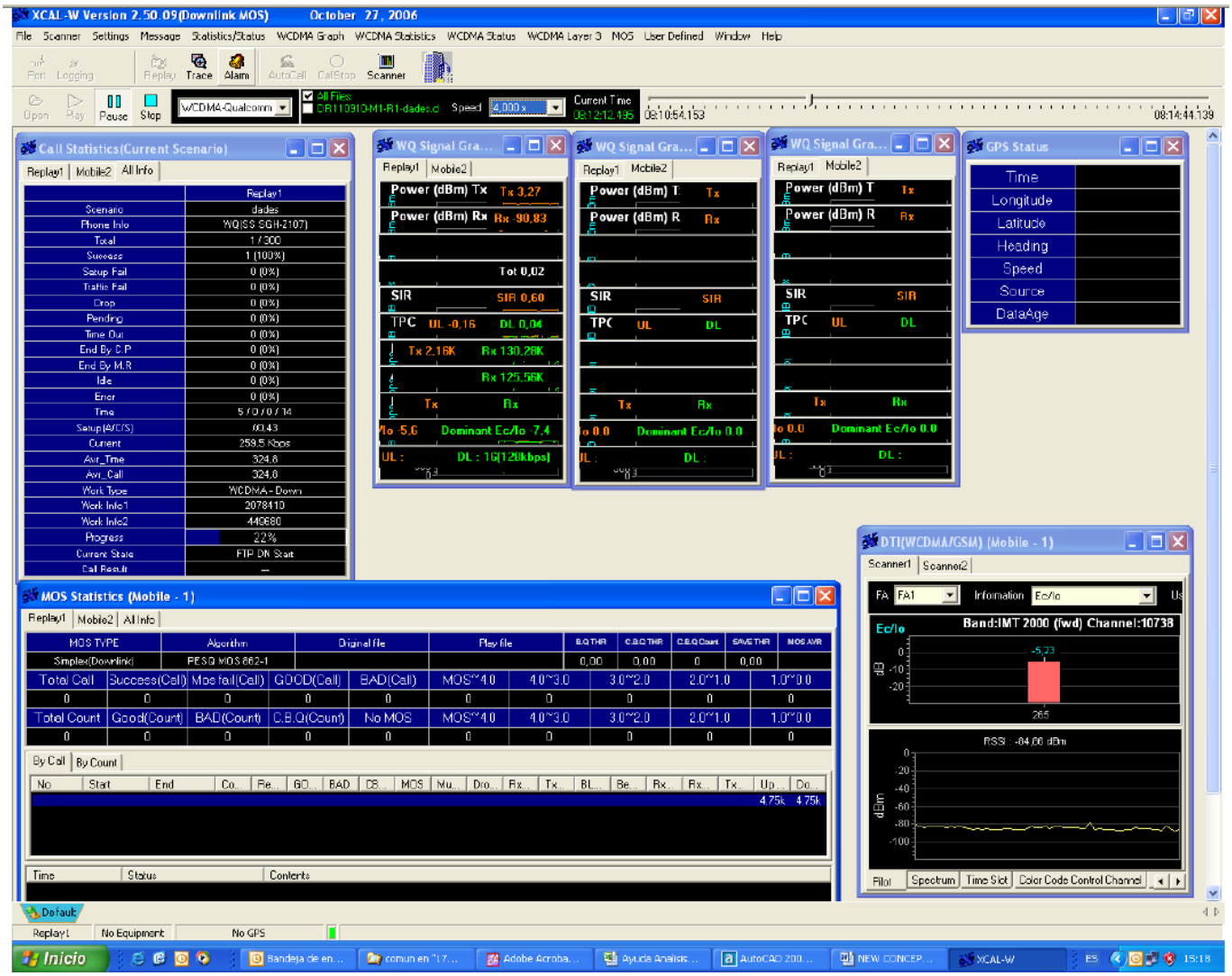


Fig.4.10. Vista del software XCAL

El material necesario para realizar las medidas para cada una de las tecnologías son:

- Un portátil
- Dos teléfonos móviles para cada tecnología (2G, para GSM y 3G para UMTS)
- El software de medida
- GPS

El procedimiento para realizar las medidas consiste en:

1. Instalar el software de medida en el portátil.
2. Conectar vía USB los 2 teléfonos al portátil. En el caso GSM, uno para escanear toda la banda de interés y otro para medir los diferentes parámetros de comunicación. En el caso UMTS uno para llamada de voz y otro para video llamada.

3. Conectar el GPS al portátil, para tener una referencia espacial de las medidas que estamos realizando.
4. El software ira recogiendo los valores mientras nosotros nos movemos por la instalación, a medida que uno de los teléfonos hace llamadas continuamente.

En el caso de hacer las medidas en un lugar como un parking subterráneo que no tiene cobertura GPS, debemos hacer un plano de la instalación e ir marcando el trayecto que hemos seguido a la hora de medir, para tener una referencia de donde estamos y poder relacionar los valores medidos con una ubicación dentro de la instalación.

4.7. Presupuesto de la instalación

En el presupuesto, sólo hemos tenido en cuenta los costes del material utilizado para la instalación. No hemos incluido la mano de obra necesaria para el montaje de la instalación y los permisos necesarios por parte de la administración competente.

4.7.1. Presupuesto para el diseño con cable radiante

Para el diseño con cable radiante el presupuesto es más elevado debido a que el coste de este tipo de cable es mayor (6,08 €/m) y para la implementación de este diseño necesitamos un total de 390 m. Lo que supone un coste de 2.371,2 €.

Respecto al diseño con antenas indoor nos ahorramos 3 acopladores y 5 divisores que tienen un coste total de 551.04 €, pero necesitamos 3 divisores de 4 puertos que tienen un coste de 489.81 €. Por lo que nos ahorramos la diferencia que son 61.23 €.

En total el coste de la instalación con cable radiante será de **63.415,35 €**.

El coste de la instalación es superior y como ya hemos visto el diagrama teórico de radiación es peor que con el diseño de antenas indoor

4.7.2. Presupuesto para el diseño con antenas indoor.

Tabla 4.18 Material utilizado en el diseño de la instalación con antenas indoor.

Elemento	Cantidad	Precio/unidad	Precio total
Cable flexible 7/8”	195 m	3.95 €/m	770,25 €
Cable flexible 1/2”	122 m	2.55 €/m	311,1 €
Conectores N macho ½”	36	8.12 €	292,32 €
Conectores 7/16 macho 1/2”	32	8.07 €	258,24 €
Conectores N macho 7/8”	18	12,13 €	218,34 €
Transición	1	21,38 €	21,38 €
Transición acodada	1	24,27 €	24,27 €
Transición ½” a 7/8”	1	18,23 €	18,23 €
Antena logoperiódica	3	54,.31 €	1641,93 €
Repetidor UMTS	1	15.123,55 €	15.123,55 €
Repetidor DCS	1	15.110,34 €	15.110,34 €
Amplificador UMTS	1	12.308,23 €	12.308,23 €
Amplificador DCS	1	12.246,28 €	12.246.28 €
Divisor 4 puertos	1	163,27 €	163,27 €
Combinadores banda DCS y UMTS	6	240,71 €	1444,26 €
Acopladores	4	69,43 €	277,72 €
Divisores 3 puertos	8	68,55 €	548,4 €
Antenas panel	4	28,43 €	113,72 €
Antenas omnidireccionales	9	25,72 €	231,78 €
		Total	**61.105,38 €**

Una vez estudiados los diferentes diseños y teniendo en cuenta los presupuestos, llegamos a la conclusión que el diseño que ofrece una mayor cobertura y un coste menor, es el diseño con antenas indoor.

Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto ha consistido en diseñar la instalación necesaria para dotar de cobertura de telefonía a un parking.

La instalación pretende cumplir unos mínimos requisitos.

En primer lugar se pretende dotar de cobertura para los 3 principales operadores presentes en nuestro país (Movistar, Vodafone y Orange), tanto en la banda GSM/1800 (DCS) como en UMTS.

El nivel de cobertura mínimo que se pretende garantizar en el interior del parking, debe ser superior a los -80dBm en un 95% de la superficie de la instalación.

Observando los mapas de cobertura, elaborados para poder valorar el nivel de cobertura en toda la instalación, cabe concluir que se han cumplido los objetivos inicialmente propuestos.

Se ha considerado que el impacto medioambiental, en este proyecto, es mínimo ya que la radiación emitida por la instalación diseñada, no sale al exterior, debido a que el emplazamiento es un parking subterráneo, por lo que no se ha hecho un estudio más exhaustivo del mismo.

Anexo 1. EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA

Los sistemas de telefonía móvil se pueden clasificar en distintas generaciones dependiendo del grado de evolución técnica de los mismos. Las características fundamentales de cada una de estas generaciones se resumen a continuación:

1.1. Primera generación (G1)

La primera generación de telefonía móvil funcionaba por medio de comunicaciones analógicas y dispositivos portátiles que eran relativamente grandes. Esta generación utilizaba principalmente los siguientes estándares:

1.1.1. AMPS (Sistema telefónico avanzado)

Se presentó en 1976 en Estados Unidos y fue el primer estándar de redes celulares. Utilizada principalmente en el continente americano, Rusia y Asia. La primera generación de redes analógicas tenía el problema de la seguridad, que permitían hackear las líneas telefónicas.

1.1.2. TACS (Sistema de comunicaciones de acceso total)

Es la versión europea del modelo AMPS. Este sistema fue muy usado en Inglaterra y luego en Asia (Hong-kong y Japón) y utilizaba la banda de frecuencia de 900MHz.

1.1.3. ETACS (Sistema de comunicaciones de acceso total extendido)

Es una versión mejorada del estándar TACS desarrollado en el reino unido que utiliza una gran cantidad de canales de comunicación.

Con la aparición de una segunda generación totalmente digital, la primera generación de redes celulares quedó obsoleta.

1.2. Segunda generación (2G)

Pasa de la tecnología analógica a la tecnología digital.
Los principales estándares de telefonía móvil de 2G son:

1.2.1. GSM (Global System for Mobile Communications)

El estándar mas usado en Europa a fines de siglo XX y también se admite en Estados Unidos. Este estándar utiliza las bandas de frecuencia de 900 MHz y de 1800MHz DCS (Digital Cellular System) que surgió para dar mas capacidad a las zonas urbanas. Estas dos bandas de frecuencias son las que se utilizan en Europa. En Estados Unidos la banda de frecuencia utilizada es la de 1900MHz. Por lo tanto, los teléfonos móviles que pueden funcionar tanto en Europa como en Estados Unidos se denominan teléfonos tribanda.
Esta tecnología (2G) permite transmitir voz y datos digitales de volúmenes bajos, por ejemplo, SMS o MMS. El estándar GSM permite una velocidad de datos máxima de 9.6Kbps.

1.2.2. GPRS (General Packet Radio System)

Es una ampliación del estándar GSM para mejorar el rendimiento, permitiendo velocidades teóricas de 114Kbits/s pero con un rendimiento cercano a los 40Kbits/s de bajada y 9.6Kbits/s de subida. En Japón esta generación no existió ya que dio el salto directo de 2G a 3G.
Las principales ventajas que aporta GPRS respecto a GSM son, además de una mayor velocidad de transmisión, la conexión permanente y la tarificación por tráfico, convirtiéndolo en el portador ideal para los servicios WAP, el acceso a Internet y el acceso a intranets de empresas.

1.2.3. EDGE (Enhanced data rates for global evolution)

Conocido como G 2.75. Es otro de los desarrollos de las redes GSM, permitiendo velocidades teóricas de 384 Kbit/s. En realidad, el estándar EDGE permite velocidades de datos teóricas de 473 Kbits/s pero ha sido limitado para cumplir con las especificaciones IMT-2000 (Telecomunicaciones móviles internacionales-2000) de la ITU (Unión internacional de telecomunicaciones). Esta tecnología mejora el ancho de banda de la transmisión de los datos en GSM y GPRS, se puede considerar como precursora de UMTS. En realidad, EDGE y UMTS son tecnologías complementarias que de forma conjunta pueden dar apoyo a las necesidades de los operadores para lograr la cobertura y capacidad global de las redes de tercera generación.

1.3. Tercera generación (3G)

Esta tecnología permite un mayor número de usuarios en le red global del sistema. La velocidad de acceso se incrementa hasta los 2 Mbps por usuario móvil si su velocidad de movimiento es baja.

La tecnología UMTS esta siendo desarrollada por el 3GPP, es un proyecto común entre distintos organismos de diferentes países, con este proyecto se

pretende la globalización de los sistemas de telecomunicaciones, por eso nace la tecnología UMTS.

1.3.1. UMTS

UMTS es un estándar Europeo desarrollado para redes 3G. Este estándar surge como respuesta a la incapacidad de los sistemas 2.5G , que aunque suponen una mejora respecto a los sistemas 2G son insuficientes para satisfacer la demanda creciente de mayores anchos de banda, para soportar servicios avanzados, como los servicios multimedia (audio, video y datos).
Algunos de los objetivos de UMTS son:

- Equipos de usuario pequeño y económico.
- Servicio todo el tiempo y en cualquier lugar.
- Interoperabilidad con un sistema satelital.
- Roaming global
- Alta calidad de voz.
- Velocidad alta de transmisión de datos.
- Múltiples servicios multimedia.

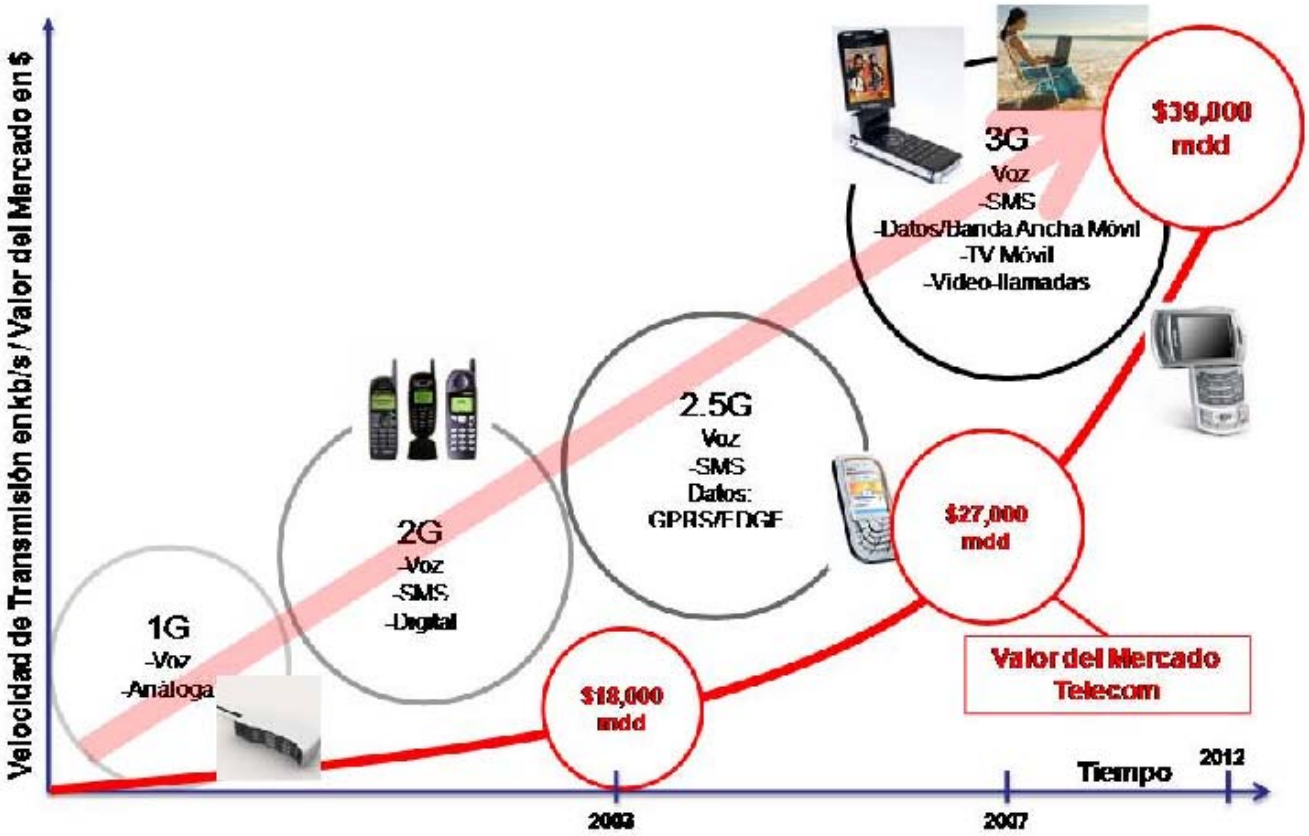


Fig.1.1 Evolución de la telefonía

Anexo 2. ARQUITECTURA

2.1. Arquitectura de la red GSM

En esta sección vamos a describir la arquitectura de la red GSM (**Fig.2.2**), de forma resumida, en la que intentaremos explicar de que partes se compone y que función realiza, cada uno de los elementos de dicha red.
Básicamente, la arquitectura GSM está formada por 3 grandes subsistemas diferentes:

2.1.1. MS (Mobile Station o estación móvil)

Se divide en dos módulos el ME (mobil Equipment), que es el terminal en sí, identificado por el IMEI número de 15 cifras utilizado por el EIR, para verificar si está autorizado para acceder al sistema. Y el SIM (Subcriber Identity Module) que es el identificador de usuario y se puede intercambiar de terminal.

2.1.2. BSS (Base Station Subsystem o subsistema de estación base)

La estación base controla la interfaz radio, conecta la estación móvil con el MSC del NSS y esta formada por:

- BTS (Base Transceiver Station o estación base transmisora)
- BSC (Base Station Controler o controlador de estaciones base). (**Fig.2.1**).

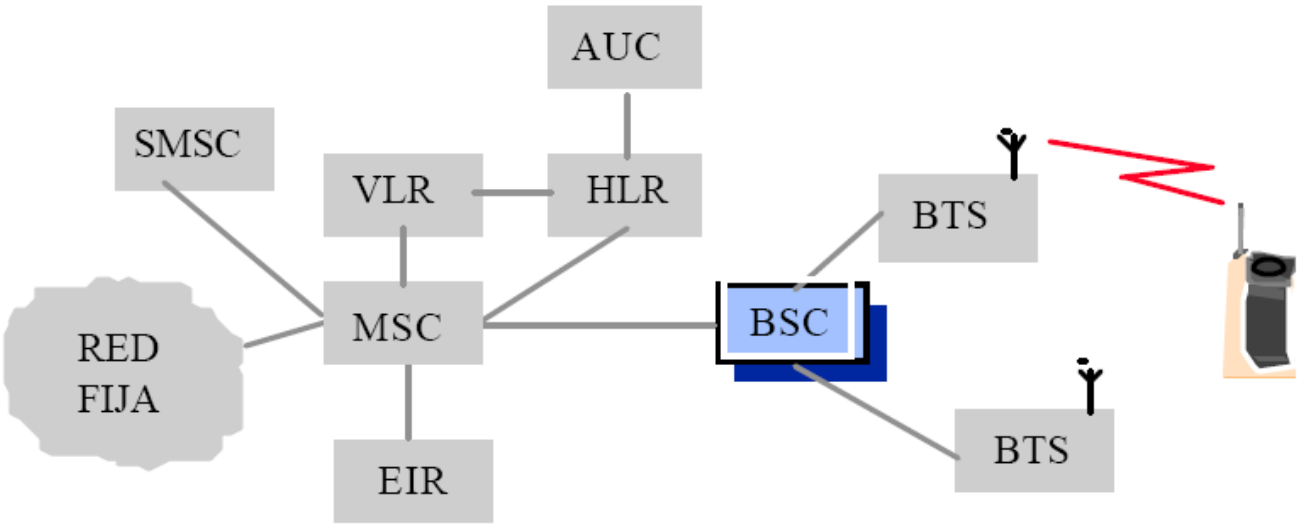


Fig.2.1 Controlador de estaciones base.

2.1.3. NSS (Network and Switching System o subsistema de red y conmutación)

También llamado núcleo de red (Core Network). Permite la interconexión entre la BSS y otras redes públicas (PSTN, ISDN, PSPDN, CSPDN). Contiene las bases de datos necesarias para identificar usuarios y terminales, facturación, localización de los terminales, etc.
Este Subsistema se compone de los siguientes elementos:

- MSC (Mobile Switching Center o central de conmutación móvil)
- HLR (Home Location Register o registro de ubicación base)
- VLR (Visitor Location Register o registro de ubicación de visitante)
- AuC (Autentication Center o centro de autentificación)
- EIR (Equipment Identity Register o registro de identificación de equipo)
- OMC (Operation and Maintenance center o centro de mantenimiento y operación)

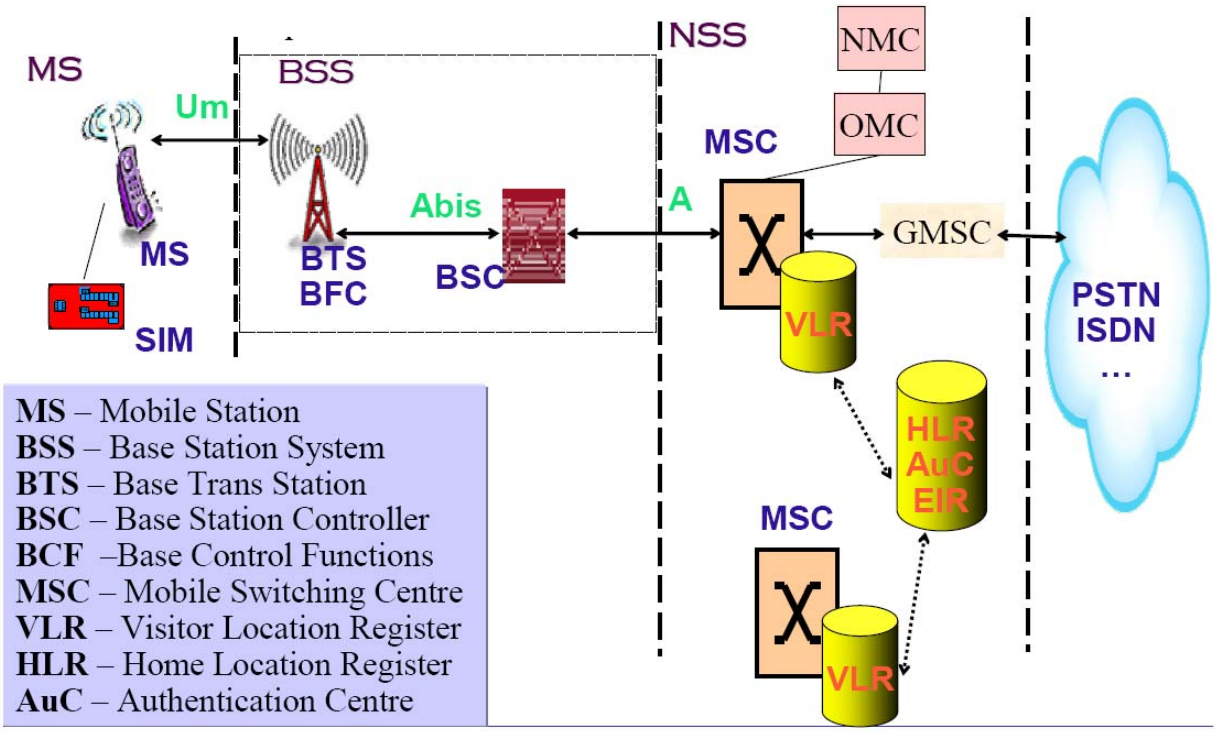


Fig.2.2 Arquitectura red GSM

2.2. Arquitectura de la red UMTS

En esta sección damos un repaso a la arquitectura de la red UMTS (**Fig.2.3**), de forma resumida, en la que mostramos los diferentes elementos que forman la red y la función que desempeñan, en el sistema de comunicaciones móviles.

El sistema se compone de tres grandes bloques:

- Núcleo de la red (CN, Core Network).
- Red de acceso de radio (UTRAN, UMTS Terrestrial Radio Acces Network).
- Terminales móviles (UE, User Equipment).

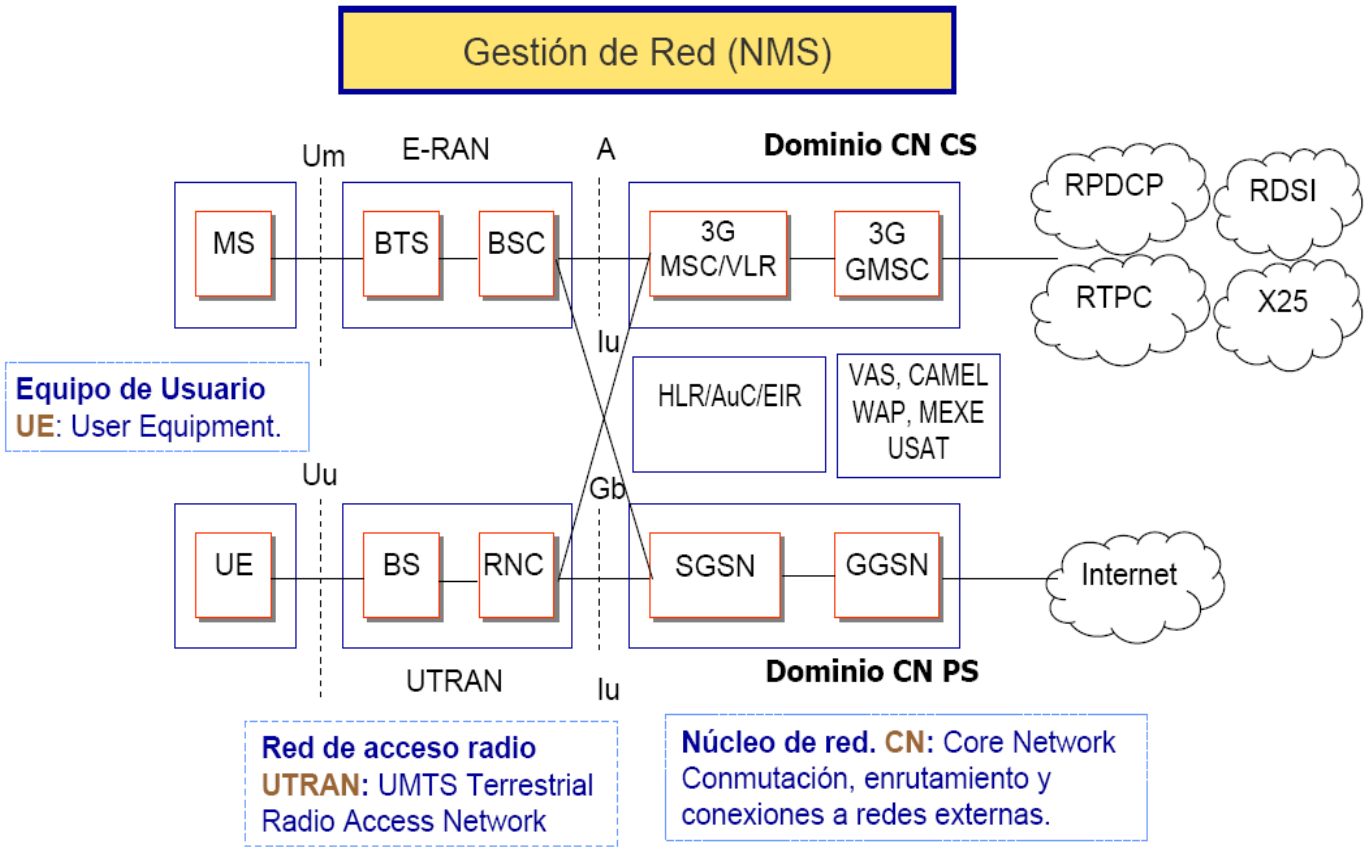


Fig.2.3 Arquitectura UMTS

2.2.1. Núcleo de la red (CN)

Esta formado por varios elementos como el MSC (Mobile Switching Center) pieza central en una red basada en conmutación de circuitos, por lo que puede ser usado tanto por el sistema GSM como por UMTS.

Otro elemento importante en el CN es el SGSN (Serving GPRS Support Node) que es la pieza clave en una red basada en conmutación de paquetes.
El SGSN se conecta con UTRAN mediante la interfaz Iu-Ps y con el GSM-BSS mediante la interfaz Gb.

2.2.2. UTRAN (Red de acceso radio)

El equivalente a la BTS de GSM se denomina nodo B y el equivalente a la BSC se denomina RNC (**Fig.2.4**).

El nodo B se conecta con el equipo del usuario a través de la interfaz Uu. El RNC es el elemento encargado de regular la potencia de transmisión que emite el equipo del usuario, en función de la distancia a la que se encuentre el usuario de la estación base.

El RNC (Radio Network Controler) controla uno o varios nodos B y controla el intercambio de protocolos entre las interfaces Iu,Iur,Iub,Iu-Cs,Iu-Ps para conectarse con los diferentes elementos de la red como el MSC, SGSN o con los Nodos B entre otros.

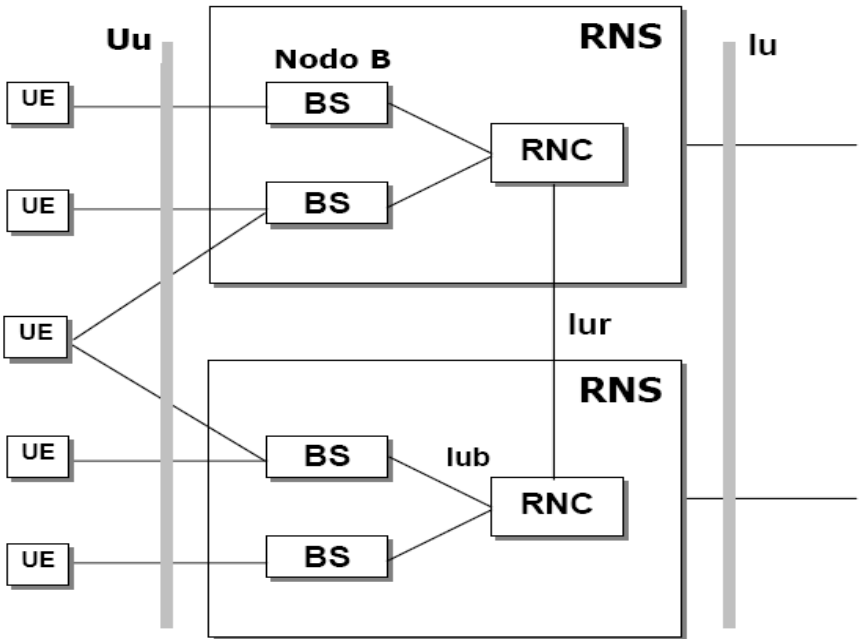


Fig.2.4 Red de acceso radio de UMTS (UTRAN)

2.2.3. Equipo de usuario (UE)

Incluye una tarjeta inteligente extraíble que se puede usar en diferentes terminales, por lo tanto el equipo de usuario se divide en el equipo móvil (ME, Mobile Equipment) y el módulo de identidad de servicios de usuario (USIM, User Services Identity Module). El USIM contiene datos y procedimientos que

la identifican de forma segura y sin ambigüedad. Dicha tarjeta está asociada a un usuario que se puede identificar independientemente del ME utilizado, por lo tanto UMTS es como GSM, soporta la movilidad personal porque las llamadas van dirigidas a la identidad de un usuario y no de un terminal.

2.3. Modulación

2.3.1. Modulación para GSM

En GSM se utiliza una modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).
Es una modulación en frecuencia que opera con señales digitales. En realidad es una modulación MSK en el que se reduce el espectro de la señal pasándola por un filtro gausiano, antes de atacar al modulador MSK.

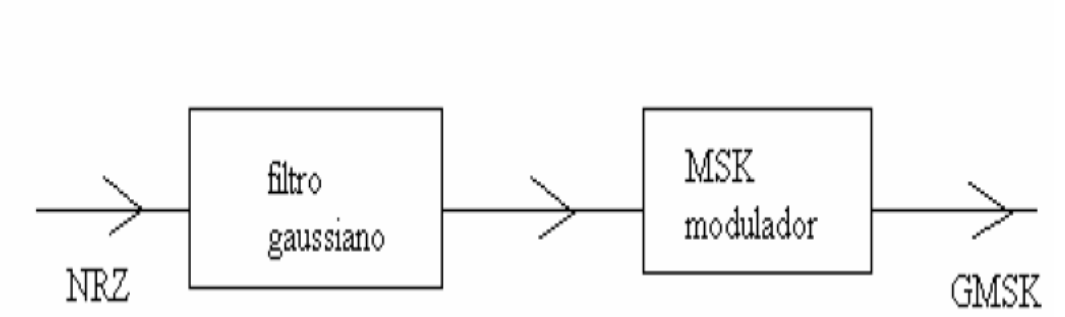


Fig.2.5 Modulación GMSK

La GMSK (**Fig.2.5**) se obtiene modulando en frecuencia la secuencia de bits codificados en BPSK.
Este tipo de modulación es fácil de demodular y sincronizar por eso se utiliza tanto en GSM como en DCS. Además tiene una buena eficiencia espectral 1.4bits/Hz y es resistente a la interferencia de canales y co-canal.

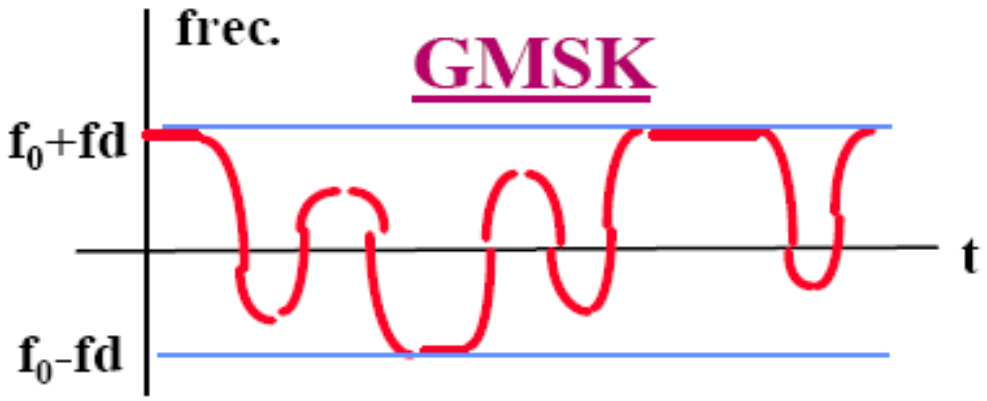


Fig.2.6 Modulación en frecuencia

2.3.2. Modulación para UMTS

En el modo de transmisión FDD, para evitar interferencias en el UL se utiliza una modulación BPSK, mientras en el DL la modulación es QPSK

En el caso de una transmisión TDD la modulación es QPSK, tanto en el UL como el DL, ya que no hay interferencia porque emiten a la misma frecuencia, pero en intervalos de tiempo diferentes.

2.4. Organismos de estandarización

2.4.1. 3GPP

1 **El 3GPP (Third Generation Partneship Project)**

Para acordar las propuestas Europeas y Asiáticas. Este proyecto estaba basado en la evolución de los sistemas GSM.

2 **El 3GPP2 (Third Generation Partneship Project 2)**

Para acordar las propuestas Americanas y Coreanas, basadas en la evolución de los sistemas CDMA2000.

El 3GPP es un grupo compuesto por un núcleo de organismos de normalización, este grupo tiene representación pero no puede decidir, es decir

no puede aprobar estándares, esto es trabajo de los organismos nacionales o internacionales, como el **ETSI** en Europa o **ARIB** en Japón.

2.4.2. Espectro IMT-2000 (International Mobile Telecommunication)

En la conferencia WRC-1992 de la ITU (International Mobile Telecommunication) se recomendó la reserva de 230MHz de espectro para IMT-2000 en las bandas 1885-2200MHz y 2110-2200MHz, que incluyen 1980-2010MHz y 2170-2200MHz para la componentes de satélite.
Esta banda ha sido utilizada ampliamente en la concesión de licencias de tercera generación en Europa.

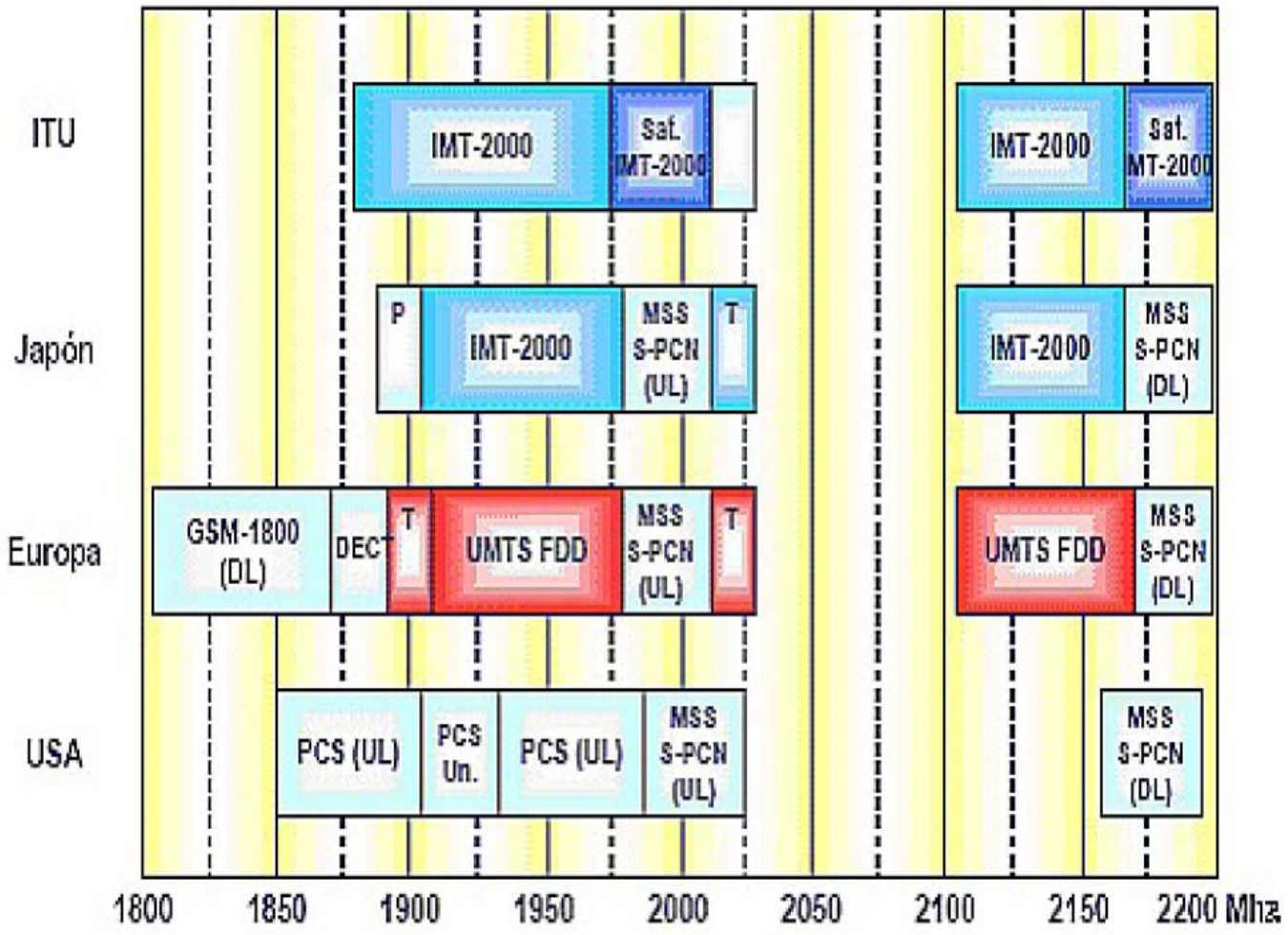


Fig2.7 Espectro IMT-2000

Anexo 3. Consideraciones generales sobre amplificadores

3.1. Caracterización y parámetros de un amplificador de potencia

Un amplificador de potencia o PA (Power Amplifier) es un dispositivo activo que permite aumentar el nivel de potencia de una señal de entrada. Mediante corrientes de polarización que alimentan el transistor, la potencia DC se convierte en potencia RF.

3.2. Curvas AM-AM y AM-PM

Las funciones de conversión AM-AM y AM-PM sirven para modelar las no-linealidades en los amplificadores. La función AM-AM, muestra la amplitud de salida del amplificador en función de la amplitud de entrada.
Las no-linealidades también afectan a la fase. Para modelar este efecto se utiliza la función AM-PM que muestra el desfase entre la entrada y salida en función de la amplitud de la señal de entrada.
Estas funciones de conversión dependen de la tecnología utilizada. Las relaciones se obtienen mediante mediciones experimentales y los fabricantes las presentan en forma de curvas como las que se muestran en la (**Fig.3.1**).

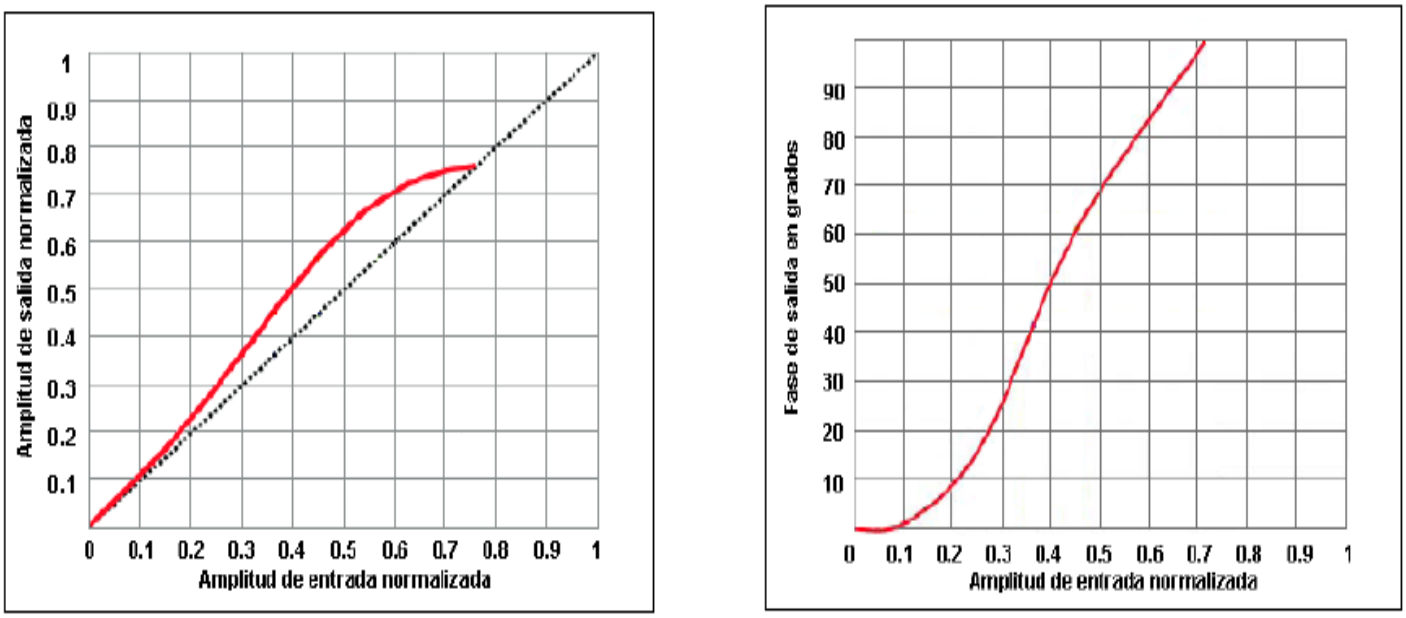


Fig.3.1 Curvas AM-AM_ y AM-PM

3.3. PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)

La medida PAPR es un ratio entre la potencia pico de la envolvente de la señal modulada y la potencia media.
Para obtener una amplificación lineal, el nivel de pico de potencia debe mantenerse dentro de la región lineal del amplificador para evitar efectos no deseados (productos de intermodulación). Por lo que si pretendemos una amplificación lineal, debemos trabajar lejos del punto de compresión, lo que implica que la eficiencia del amplificador de potencia disminuye.

3.4. Punto de compresión a -1 dB

A medida que la potencia de la señal de entrada aumenta, la salida ya no sigue una respuesta ideal lineal, sino que se produce un efecto de saturación o compresión.
Cuando la potencia de la señal de salida es 1 dB inferior a la entrada, a este punto se le llama punto de compresión a -1dB.

3.5. IBO/OBO (Input Back-off/ Output Back-off)

La relación entre la potencia de entrada de saturación y la potencia deseada, es lo que se denomina IBO (Back-off de entrada del PA). Si se aumenta el IBO, se disminuye la potencia de entrada, por lo que la potencia de salida también será menor, pero aumenta la linealidad.
El Back-off de salida (OBO) es la relación entre la potencia máxima de saturación a la salida y la potencia real a la salida.

3.6. Eficiencia

Es un parámetro crítico del amplificador de potencia, mide el grado de efectividad con que la potencia DC es convertida a potencia RF. Puede expresarse como la ecuación **3.1**.

$$\eta = \frac{P_{RF\ OUT}}{P_{DC}}(\%) \qquad \textbf{(3.1)}$$

3.7. Efectos de las no-linealidades

3.7.1. Distorsión dentro de la banda (productos de intermodulación)

Una vez que la señal a transmitir se modula, se generan una serie de símbolos que contienen la información. Los símbolos de entrada están asociados al binomio (a,φ), como se muestra en la ecuación **3.2**.

$$v_i(t) = a(t)\cos\left(w_p + \varphi(t)\right) \qquad \textbf{(3.2)}$$

Pero en la ecuación a la salida **3.3**, los símbolos una vez que pasan por el PA, quedan asociados al binomio (A,φ+Φ).

$$v_0(t) = A(a(t))\cos\left(w_p + \varphi(t) + \Phi(a(t))\right) \qquad \textbf{(3.3)}$$

Puede que los símbolos de entrada no coincidan con los símbolos de salida, lo que provocaría que el receptor no sea capaz de demodular correctamente la señal. Este fenómeno puede causar la degradación total de la información.

3.7.2. Distorsión fuera de la banda

Las no linealidades además de provocar distorsión dentro de la banda, también provocan el ensanchamiento del espectro. Este efecto puede ser problemático ya que el ensanchamiento produce interferencia en los canales adyacentes.

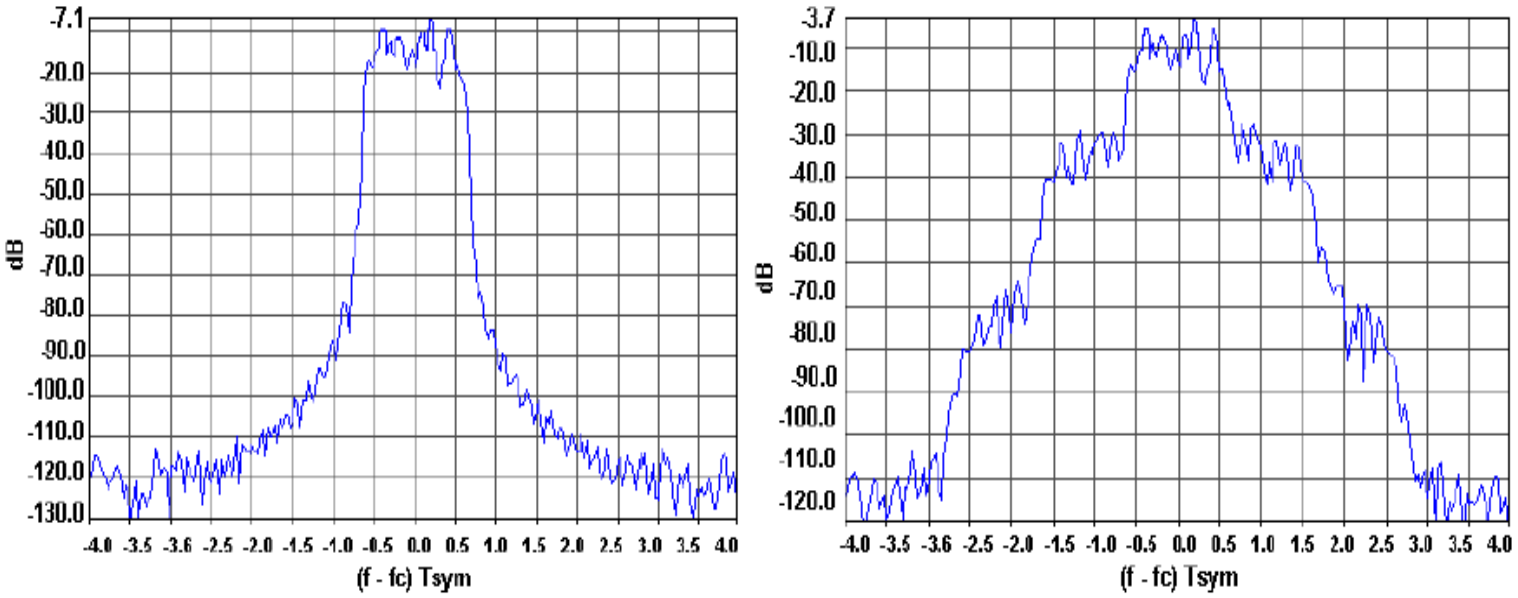


Fig.3.2 Espectro QPSK a la entrada y la salida del amplificador

En la (**Fig.3.2)** se observa el ensanchamiento del espectro producido a la salida del PA, sobre la señal de entrada.

3.8. Compromiso entre eficiencia y linealidad

Los amplificadores de potencia son elementos que consumen mucha potencia en los sistemas de RF (alrededor del 70% del consumo total del sistema de RF). Por eso la eficiencia es un punto muy importante en la vida de las baterías.
Una posible solución, para evitar distorsiones, seria utilizar amplificadores de clase A, trabajando por debajo del punto de saturación, pero esta solución no seria eficiente en cuanto a potencia, debido al bajo rendimiento de la clase A.
Para obtener una buena eficiencia es necesario utilizar amplificadores de las clases: B, AB o C. Pero estos amplificadores tienen un comportamiento menos lineal, lo que produce más distorsión a la salida del amplificador

3.9. Técnicas de linealización

La tendencia actual en comunicaciones consiste en utilizar modulaciones multinivel (M-QAM) o multiportadora (OFDM), para conseguir la máxima eficiencia espectral (recursos radio son finitos).
Estos tipos de modulación requieren altos niveles de linealidad en la amplificación, obligando a trabajar en zonas lineales donde la eficiencia del amplificador de potencia es muy baja.

La mejor solución para que el funcionamiento de los amplificadores sea eficiente, es el uso de alguna técnica de linealización que minimice las no-linealidades de los PA.

Los métodos de linealización se dividen en 2 grandes clases.

3.9.1. Métodos que reducen la distorsión

En este caso, los efectos no lineales aparecen a la salida del amplificador de potencia y el objetivo es minimizarlos a partir de las medidas de distorsión en ese momento.

En estos métodos destacan las siguientes técnicas:

- Feedback
- Feedforward
- Predistorsión

3.9.2. Métodos que eliminan la distorsión

Este grupo de linealizadores tiene como objetivo que no aparezcan las distorsiones a la salida del PA mediante el ajuste del punto de trabajo o a partir del procesado de las señales. En esta familia de linealizadores destacan los siguientes:

- LINC (Linear Amplification Using Nonlinear Components)
- CALLUM (Combined Analog-Locked Loop Universal Modulator)
- EE&R (Envelope Elimination and Restoration)

Anexo 4. Antena Logoperiodica

KATHREIN
SCALA DIVISION

742 192

Wideband Log-periodic Antenna

The 742 192 is a broadband log-periodic antenna designed for professional fixed-station applications. The radiating system is protected by a rugged fiberglass radome to assure reliable and stable operation in heavy icing conditions.

The 742 192 offers broadband frequency coverage with low VSWR and flat frequency response. The high front-to-back ratio and absence of sidelobes can help to minimize co-channel and adjacent channel interference problems at sites with congested spectrum.

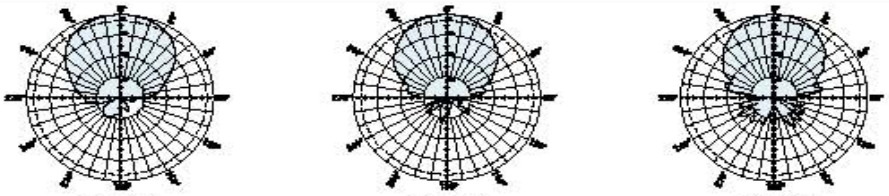
Specifications:

Frequency range	806–2170 MHz (broadband)
Impedance	50 ohms
VSWR	< 1.5:1
Polarization	Vertical
Connector	7/16 DIN female
Weight	12.6 lb (5.7 kg)
Dimensions	30.9 x 11.8 x 6.1 inches (785 x 300 x 155 mm)
Equivalent flat plate area	2.5 ft² (0.232 m²)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	39.37 x 14.2 x 6.9 inches (1000 x 360 x 175 mm)
Shipping weight	14.1 lb (6.4 kg)
Mounting	Hardware included for masts of 1.25 to 2.75 inch (30 to 70 mm) OD.

See reverse for order information.

Specifications:	806–1000 MHz	1000–1700 MHz	1700–2170 MHz
Gain	11 dBi	11.3 dBi	11.5 dBi
Horizontal beamwidth	65° (halfpower)	55° (halfpower)	50° (halfpower)
Vertical beamwidth	55° (halfpower)	50° (halfpower)	45° (halfpower)
Front-to-back ratio	≥25 dB	≥25 dB	≥23 dB
Maximum input power	300 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)	200 watts (at 50°C)

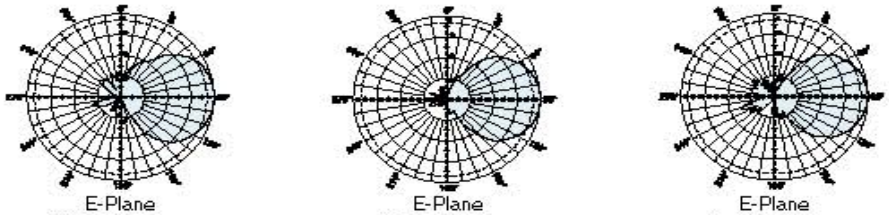
806–1000 MHz | 1000–1710 MHz | 1710–2170 MHz



H-Plane
Horizontal pattern
Vertical - polarization

H-Plane
Horizontal pattern
Vertical - polarization

H-Plane
Horizontal pattern
Vertical - polarization



E-Plane
Vertical pattern
Vertical - polarization

E-Plane
Vertical pattern
Vertical - polarization

E-Plane
Vertical pattern
Vertical - polarization

*Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in EIA-222-F (June 1996) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.

RoHS Lead-Free

Anexo 5. Repetidores y Amplificadores

Repetidor UMTS:

SPECIFICATIONS

Operating Frequency Range		1920-1980MHz UL
		2110-2170MHz DL
Operational Bandwidth		10MHz (A-type) and 15MHz (B-type)
Output power per operator band		
Downlink (DL)	2 carrier	+17 dBm ± 1 dBm
	3 carriers	+14 dBm ± 1 dBm
Uplink (UL)	2 carrier	+17 dBm ± 1 dBm
	3 carriers	+14 dBm ± 1 dBm
Maximum gain		70 dB
Gain range		20 dB in 1 dB steps
Electrical Specification		
Power Requirements		6.5-7.5 VDC
Power Consumption		Max 18 W
Environmental Specification		
Operating Temperature Range		5 to +40°C, ETS 300 019-1-3 Class 3.1
Storage Temperature Range		-40 to +85°C
Humidity		85%, ETS 300 019-1-3 Class 3.1

Repetidor GSM/1800 (DCS):

SPECIFICATION

Frequency range	900 MHz E-GSM900	900 MHz P-GSM900	850 MHz	900 MHz GSM-R	1800 MHz	1900 MHz
Uplink UL	880 - 915	890 - 915	824 - 949	876 - 880	1710 - 1785	1850 - 1910
Downlink DL	925 - 960	935 - 960	869 - 894	821 - 925	1805 - 1880	1930 - 1990

Number of channels	2 - 4
Channel programming	In 200 kHz Channel spacing
Selectivity	> 60 dB @ 400 kHz > 70 dB @ 600 kHz
Maximum gain	70 dB

Output power per carrier UL & DL	2 Channels	4 Channels
GSM/GMSK	+37 dBm	+34 dBm
EDGE/8-PSK	+34 dBm	+31 dBm

Antenna connectors	DIN 7/16 Female
Electrical ratings	110/230 V AC, 50/60 Hz (alt. - 48 VDC)

Power Consumption (typical, traffic dependent)

Frequency	2 Channels	4 Channels
900 MHz	160 W	270 W
1800 & 1900 MHz	200 W	340 W

Mechanical

Dimensions (2 Channels)	540 x 350 x 150 mm
Dimensions (4 Channels)	540 x 350 x 220 mm
Weight (2 Channels)	22 kg
Weight (4 Channels)	33 kg
Enclosure	Aluminium (IP 65)

Environmental

EMC	See compliance below
Operating Temperature	- 25 to + 55 ° C
Storage	- 30 to + 70 ° C
Humidity	ETSI EN 300 019-2-4 (see compliance below)
MTBF	> 100000 hrs
Complies with	R & TTE Directive including: ETS EN 301 502 (ETS EN 300 609-4/GSM 11.26), ETS EN 301 498-8, EN 60 950

Amplificador UMTS:

DTMA-UMTS-24-CWA

Fullband Double Dual Duplex Tower Mounted Amplifier (Masthead Amplifier)

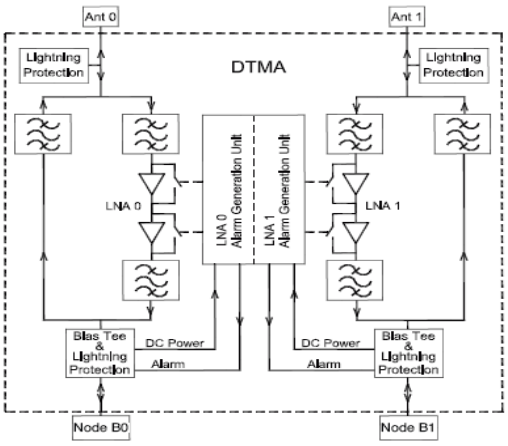
KATHREIN
Antennen · Electronic

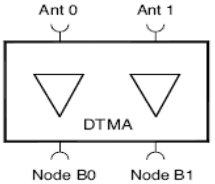
- Double unit for easy use with XPol antennas
- Kathrein redundancy amplifier design for improved system reliability
- By-pass mode to ensure cell operation in case of TMA (Alarm 2) or DC power down
- Alarm management: Supports 2 alarm levels
  Alarm 1: One LNA of the balanced circuit failed
  Alarm 2: Both LNAs of balanced circuit failed. Automatically switched to by-pass mode
- Built-in lightning protection
- Compact size
- DTMA DC supply and alarming separately via Node B0 respectively Node B1 port

CWA = **C**urrent **W**indow **A**larm

Technical Data

Type No.	782 10302 DTMA-UMTS-24-CWA (24 dB gain)
Tx Characteristics	
Frequency range	2110 – 2170 MHz
Bandwidth	60 MHz
Insertion loss	Typically 0.3 dB
Ripple	< ±0.2 dB
Input power	< 100 W (+50 dBm) CW
Intermodulation products in Rx band	< –117 dBm (2 Tx carriers at +43 dBm)
Return loss	> 18 dB
Rx Characteristics	
Frequency range	1920 – 1980 MHz
Bandwidth	60 MHz
Loss in by-pass mode	Typically 2.4 dB (DC OFF)
Gain ripple	< ±0.3 dB
Return loss	> 18 dB (DC ON) > 12 dB (DC OFF)
Gain +22 … +28 °C –40 … +65 °C	24 ±0.5 dB 24 ±1.0 dB
Noise figure	Typically 1.4 dB
Output 1-dB compression point	> 20 dBm
3rd order intercept point (OIP3)	> 29 dBm
Environmental Characteristics	
Operating temperature range	–40 … +65 °C
IP rating	IP67
MTBF	> 1 000 000 hours (per TMA)
EMC	ETS 300 342-3
DC and Alarm Characteristics	
DC supply	+12 V nominal (7.5 – 15 V, minus grounded) Typically 230 mA per TMA
Alarm management Alarm current Ia	Current window alarm handling Alarm 1: Ia > 310 mA Alarm 2: Ia > 500 mA
Mechanical Characteristics	
Material	Aluminium housing
RF connectors	7-16 female
Mounting	Wall mounting: With 4 screws (max. 8 mm diameter) Mast mounting: With additional clamp set
Weight	5 kg
Packing size	262 mm x 502 mm x 214 mm
Dimensions (w x h x d)	166 mm x 262 mm x 77.5 mm (without connectors, without mounting brackets)





Amplificador GSM/1800 (DCS):

DTMA-GSM1800-24-CWA

Fullband Double Dual Duplex Tower Mounted Amplifier (Masthead Amplifier)

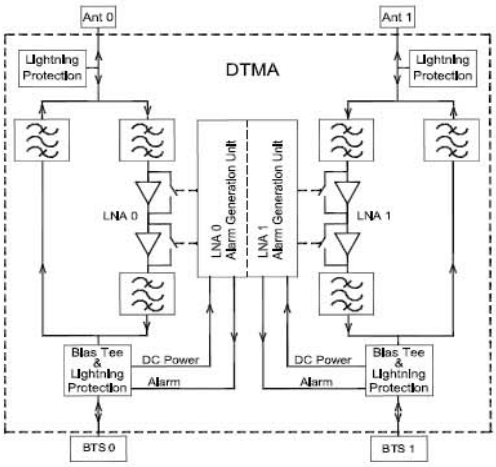
KATHREIN
Antennen · Electronic

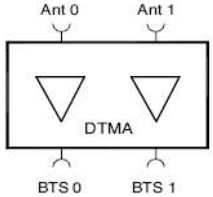
- Double unit for easy use with XPol antennas
- Kathrein redundancy amplifier design for improved system reliability
- By-pass mode to ensure cell operation in case of TMA (Alarm 2) or DC power down
- Alarm management: Supports 2 alarm levels
  Alarm 1: One LNA of the balanced circuit failed
  Alarm 2: Both LNAs of the balanced circuit failed. Automatically switched to by-pass mode
- Built-in lightning protection
- Compact size
- DTMA DC supply and alarming separately via BTS 0 respectively BTS 1 port

CWA = **C**urrent **W**indow **A**larm

Technical Data

Type No.	782 10313 DTMA-GSM1800-24-CWA (24 dB gain)
Tx Characteristics	
Frequency range	1805 – 1880 MHz
Bandwidth	75 MHz
Insertion loss	< 0.45 dB over the middle 80% of BW, a further 0.25 dB over the remaining BW.
Input power	< 160 W (+52 dBm) CW
Intermodulation products in Rx band	< –117 dBm (2 Tx carriers at +43 dBm)
Return loss	> 18 dB
Rx Characteristics	
Frequency range	1710 – 1785 MHz
Bandwidth (BW)	75 MHz
Loss in by-pass mode	< 2.8 dB typically
Return loss	> 18 dB (DC ON) > 15 dB By-pass mode
Gain **+22 … +28 °C** –40 … +65 °C	24 ±0.6 dB 24 ±1.2 dB
Noise figure **+22 … +28 °C**	< 1.6 dB over the middle 80% of BW, a further 0.3 dB over the remaining BW.
Noise figure –40 … +65 °C	< 2.1 dB over the middle 80% of BW, a further 0.3 dB over the remaining BW.
Output 1-dB compression point	> 19 dBm
3rd order intercept point (OIP3)	> 28 dBm
Environmental Characteristics	
Operating temperature range	–40 … +65 °C
IP rating	IP67
MTBF	> 1 000 000 hours (per TMA)
EMC	ETS 300 342-3
DC and Alarm Characteristics	
DC supply	+12 V nominal (7.5 – 15 V, minus grounded) Typically 230 mA per TMA
Alarm management Alarm current Ia	Current window alarm handling Alarm 1: Ia > 310 mA Alarm 2: Ia > 500 mA
Mechanical Characteristics	
Material	Aluminium housing
RF connectors	7-16 female
Mounting	Wall mounting: With 4 screws (max. 8 mm diameter) Mast mounting: With additional clamp set
Weight	5 kg
Packing size	262 mm x 502 mm x 214 mm
Dimensions (w x h x d)	166 mm x 278 mm x 77.5 mm (without connectors, without mounting brackets)





Anexo 6. Divisores de 3 y 4 Puertos

Multi-band Low-loss Power Splitters 800–2500

KATHREIN
Antennen · Electronic

For indoor use.

2-way Splitter 800–2500
3-way Splitter 800–2500
4-way Splitter 800–2500

Type No.	860 10017	860 10018	860 10019
Frequency range	800 – 2500 MHz		
For connecting ... antennas	2	3	4
Insertion loss	< 0.05 dB		
Impedance	50 Ω		
Tap Loss	< 3	< 3	< 3.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< –150 dBc		
Max. power	100 W (at 50 °C ambient temperature)		
Connector	N female		
Weight	approx. 0.6 kg		
Profile cross-section	25 x 25 mm		
Packing size	242 x 110 x 95 mm		
Max. size	204 / 63 / 41 mm		

Material: Housing: Aluminum.
Inner conductor: Brass.

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

Input
860 10019

Anexo 7. Acopladores

Multi-band Low-loss Power Tappers 800–2500

KATHREIN
Antennen · Electronic

For indoor use

2-way-Tapper 800–2500 6.0 /1.0dB
2-way-Tapper 800–2500 10.4/0.4dB
2-way-Tapper 800–2500 15.1/0.1dB

Type No.	860 10020	860 10021	860 10022
Frequency range	800 – 2500 MHz		
Tap Loss Input ↔ P_1 Input ↔ P_2	 – 1.0 dB – 6.0 dB	 – 0.4 dB – 10.4 dB	 – 0.1 dB – 15.1 dB
For connecting ... antennas	2		
Insertion loss	< 0.05 dB		
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< –150 dBc		
Max. power	100 W (at 50 °C ambient temperature)		
Connector	N female		
Weight	approx. 0.5 kg		
Profile cross-section	25 x 25 mm		
Packing size	267 x 95 x 111 mm		
Max. size	244 / 64 / 25 mm		

Material: Housing: Aluminum.
Inner conductor: Brass.

DC capability: DC transmission only between input and port P_1.
P_2 is coupled capacitively.

Anexo 8. Combinadores

Dual-Band Combiner

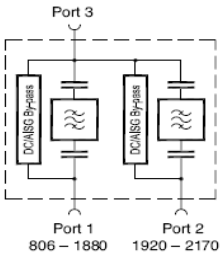
KATHREIN
Antennen · Electronic

806 – 1880 MHz	1920 – 2170 MHz
CDMA 800 / GSM 900 / GSM 1800	UMTS

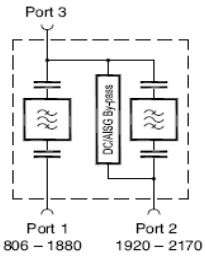
- Designed for co-siting purposes
- Enables feeder sharing
- Can be used as a combiner near the BTS or in a reciprocal function near the antenna
- Suitable for indoor or outdoor applications
- Wall or mast mounting
- Available as a single unit, or for XPol antennas as a double unit
- Built-in lightning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

782 10278, 782 10305
Single Unit

782 10279, 782 10306
Double Unit



Single Unit 782 10278
Double Unit 782 10279
(only 1 unit shown)



Single Unit 782 10305
Double Unit 782 10306
(only 1 unit shown)

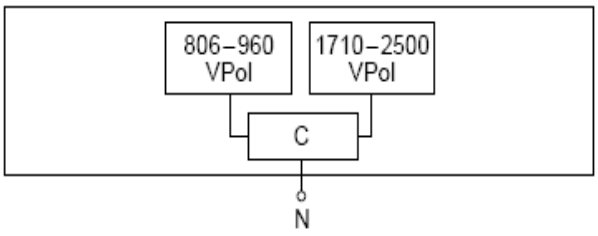
Technical Data

Type No.	782 10278 Single Unit	782 10279 Double Unit	782 10305 Single Unit	782 10306 Double Unit
Pass band Band 1 Band 2	806 – 1880 MHz 1920 – 2170 MHz			
Insertion loss Port 1 ↔ Port 3 Port 2 ↔ Port 3	< 0.1 dB, typically 0.05 dB (806 – 960 MHz) / < 0.4 dB, typically 0.2 dB (1710 – 1880 MHz) < 0.4 dB typically 0.2 dB (1920 – 2170 MHz)			
Isolation Port 1 ↔ Port 2	> 55 dB (806 – 960 MHz) / > 50 dB (1710 – 1880 MHz) > 50 dB (1920 – 1980 MHz) / > 50 dB (2110 – 2170 MHz)			
VSWR	< 1.2 (806 – 960 MHz) / < 1.25 (1710 – 1880 MHz) < 1.2 (1920 – 2170 MHz)			
Impedance	50 Ω			
Input power Band 1 / Band 2	< 500 W / < 500 W			
Intermodulation products	< –160 dBc (2nd/3rd order; with 2 x 20 W)			
Temperature range	–55 ... +60 °C			
Connectors	7-16 female (long neck)			
Application	Indoor *or* outdoor (IP 66)			
DC/AISG transparency Port 1 ↔ Port 3 Port 2 ↔ Port 3	**By-pass** (max. 2500 mA) **By-pass** (max. 2500 mA)		**Stop** **By-pass** (max. 2500 mA)	
Lightning protection	3 kA, 10/350 µs pulse			
Mounting	Wall mounting: With 4 screws (max. 8 mm diameter) Mast mounting: With additional clamp set			
Weight	3.4 kg	6.6 kg	3.4 kg	6.6 kg
Packing size	430 x 210 x 150 mm	430 x 210 x 220 mm	430 x 210 x 150 mm	430 x 210 x 220 mm
Dimensions (w x h x d)	130 x 349 x 64 mm	130 x 349 x 119 mm	130 x 349 x 64 mm (including mounting brackets)	130 x 349 x 119 mm

Anexo 9: Antena de panel

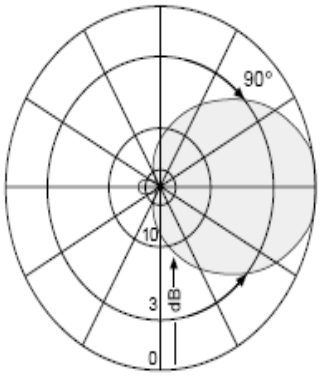
Indoor Multi-band Direct. Antenna | 806–960 | 1710–2500
Vertical Polarization | V | V
Half-power Beam Width | 90° | 90°
Integrated Combiner | C

KATHREIN
Antennen · Electronic



VVPol Indoor 806–960/1710–2500 90° 7dBi

Type No.	800 10248
Frequency range	806 – 960 MHz / 1710 – 2500 MHz
Polarization	Vertical
Gain	≈ 7 dBi
Half-power beam width	Horizontal: ≈ 90°
Impedance	50 Ω
VSWR	806 – 960 MHz: < 2.0 1710 – 2200 MHz: < 2.0 2200 – 2400 MHz: < 2.5 2400 – 2500 MHz: < 2.0
Max. power	50 W (at 50 °C ambient temperature)
Input	Cable RG 223/CU of 1m length, white, with N female connector
Protection class	IP 30
Weight	500 g
Packing size	363 x 152 x 62 mm
Height/width/depth	231 / 140 / 50 mm



Horizontal Pattern

Anexo 10: Antena omnidireccional

Indoor Multi-band Omni Antenna Vertical Polarization

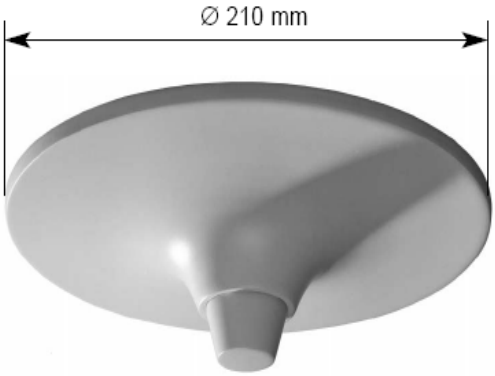
876–960 | 1710–2500 | V

KATHREIN Antennen · Electronic

- The antennas need no additional groundplane.

VPol Indoor 876–960/1710–2500 360° 2dBi

Type No.	800 10137
Frequency range	876 – 960 MHz 1710 – 2500 MHz
Polarization	Vertical
Gain	2 dBi
Impedance	50 Ω
VSWR	876 – 890 MHz: < 1.9 890 – 960 MHz: < 1.6 1710 – 2170 MHz: < 1.6 2170 – 2500 MHz: < 2.0
Max. power (per band)	50 W (at 50 °C ambient temperature)
Input	1 x N female
Weight	300 g
Diameter	210 mm
Height	78 mm (without connector)



Anexo 11: Cables Coaxial

7/8" Flexible Foam Dielectric

HFC 22D / HFC-FR 22D

Construction

Inner Conductor	
Material / Construction	Smooth Copper Tube
Diameter	9.0 mm
Dielectric	
Material / Construction	Foamed Polyethylene
Diameter	22.1 mm
Outer Conductor	
Material / Construction	Annularly Corrugated Copper Tube
Diameter	24.9 mm
Jacket Diameter	
Standard Jacket	27.9 mm
Halogen-Free / Fire-Retardant jacket	27.9 mm

Mechanical Characteristics

Minimum bending Radius	250 mm
Recommended Operating Temperature	
Standard Jacket	-40℃ ~ +80℃
Halogen-Free / Fire-Retardant jacket	-30℃ ~ +80℃
Nominal Weight	
Standard Jacket	595 kg / km
Halogen-Free / Fire-Retardant jacket	635 kg / km
Flat Plate Crush Resistance	1.8 kg / mm
Max. Pulling Force	147 kg

Electrical Characteristics

DC Resistance	
Inner Conductor	1.05 ohms/1000m (0.32 ohms/1000ft)
Outer Conductor	1.05 ohms/1000m (0.32 ohms/1000ft)
Insulation Resistance	10,000 MΩ • km
Dielectric Strength	DC 6,000V for 1 minute
Velocity of Propagation	88%
Peak Power Rating	91.0 kW
Max. Operating Frequency	5.0 GHz
Characteristic Impedance	50±1 Ω
Return Loss	30 dB
(Typical value over the cellular, PCS and 3G bands with LG Connectors)	

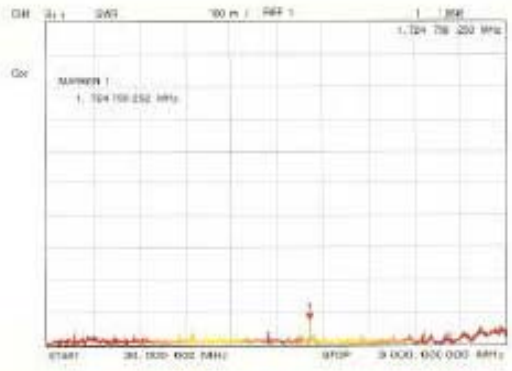
Attenuation (at 20℃) & Average Power Rating (at Ambient 40℃, Inner conductor 100℃)

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100m)	Attenuation (dB/100ft)	Average Power (kW)
30MHz	1.17	0.36	6.26
100MHz	2.17	0.66	3.43
150MHz	2.67	0.81	2.79
450MHz	4.75	1.45	1.56
824MHz	6.56	2.00	1.13
890MHz	6.84	2.08	1.08
960MHz	7.12	2.17	1.05
1000MHz	7.28	2.22	1.02
1700MHz	9.74	2.97	0.764
1800MHz	10.10	3.08	0.740
2000MHz	10.70	3.26	0.697
2300MHz	11.54	3.52	0.654
3000MHz	13.44	4.10	0.562
3400MHz	14.44	4.40	0.523
4000MHz	15.81	4.82	0.478
5000MHz	17.77	5.42	0.425

※ The attenuation may rise by 0.2% / ℃ with a rising ambient temperature

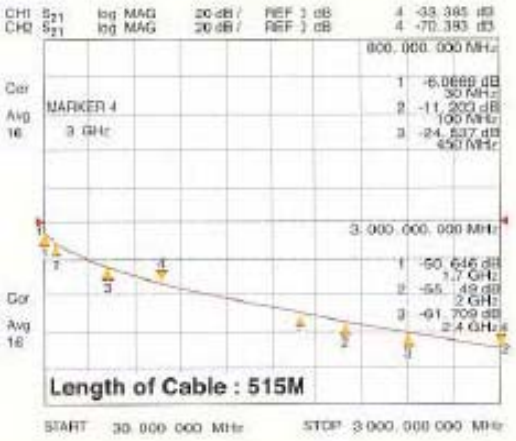
The examples of Measurement for V.S.W.R & Attenuation

(Tested by Network Analyzer)



V.S.W.R. (Return Loss)

Max. 1.068 (29.6dB) at 30MHz ~ 3000MHz



Attenuation

10.77dB/100M (at 2000MHz)

1/2" Flexible Foam Dielectric.

HFC 12D / HFC-FR 12D

Construction

Inner Conductor	
Material / Construction	Copper-Clad Aluminum Wire
Diameter	4.8 mm
Dielectric	
Material / Construction	Foamed Polyethylene
Diameter	12.0 mm
Outer Conductor	
Material / Construction	Annularly Corrugated Copper Tube
Diameter	13.8 mm
Jacket Diameter	
Standard Jacket	16.0 mm
Halogen-Free / Fire-Retardant jacket	16.0 mm

Mechanical Characteristics

Minimum bending Radius	125 mm
Recommended Operating Temperature	
Standard Jacket	-40℃ ~ +80℃
Halogen-Free / Fire-Retardant jacket	-30℃ ~ +80℃
Nominal Weight	
Standard Jacket	242 kg / km
Halogen-Free / Fire-Retardant jacket	261 kg / km
Flat Plate Crush Resistance	2.0 kg / mm
Max. Pulling Force	113 kg

Electrical Characteristics

DC Resistance	
Inner Conductor	1.55 ohms/1000m (0.47 ohms/1000ft)
Outer Conductor	1.90 ohms/1000m (0.58 ohms/1000ft)
Insulation Resistance	10,000 MΩ - km
Dielectric Strength	DC 4,000V for 1 minute
Velocity of Propagation	88%
Peak Power Rating	40.0 kW
Max. Operating Frequency	8.8 GHz
Characteristic Impedance	50 ± 1 Ω
Return Loss	30 dB
(Typical value over the cellular, PCS and 3G bands with LG Connectors)	

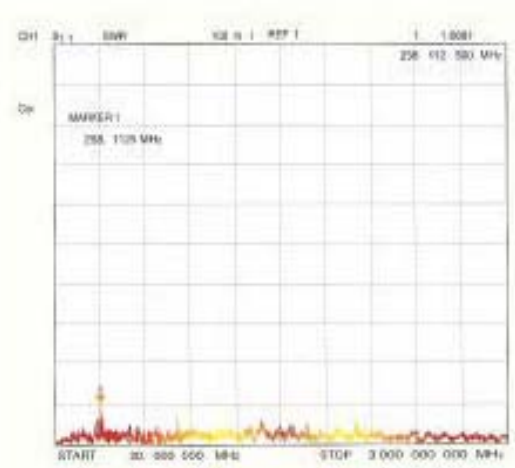
Attenuation (at 20℃) & Average Power Rating (at Ambient 40℃, Inner conductor 100℃)

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100m)	Attenuation (dB/100ft)	Average Power (kW)
30MHz	1.80	0.55	4.79
100MHz	3.33	1.01	2.59
150MHz	4.10	1.25	2.10
450MHz	7.31	2.23	1.18
824MHz	10.11	3.08	0.853
890MHz	10.52	3.21	0.820
960MHz	11.03	3.36	0.782
1000MHz	11.20	3.41	0.770
1700MHz	15.21	4.64	0.567
1800MHz	15.60	4.75	0.553
2000MHz	16.51	5.03	0.523
2300MHz	17.85	5.44	0.484
3000MHz	20.78	6.33	0.415
3400MHz	22.37	6.82	0.386
4000MHz	24.49	7.46	0.352
5000MHz	27.51	8.38	0.310

※ The attenuation may rise by 0.2% / ℃ with a rising ambient temperature

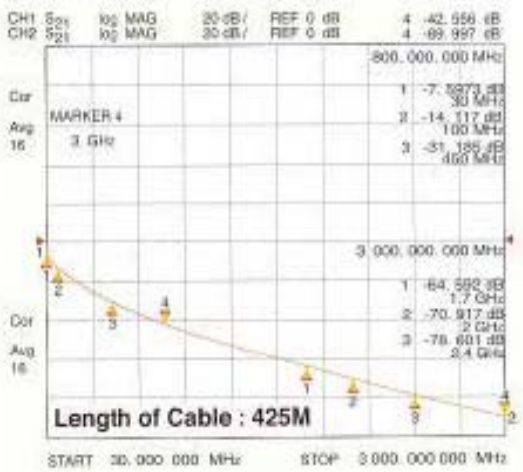
The examples of Measurement for V.S.W.R & Attenuation

(Tested by Network Analyzer)



V.S.W.R. (Return Loss)

Max. 1.0881 (27.4dB) at 30MHz ~ 3000MHz



Attenuation

16.68dB/100M (at 2000MHz)

Anexo 12. Cable Radiante

7/8" RADIAFLEX® RLKU Cable, A-series

RLKU78 SERIES	
Cable Type	RLK
Size	7/8"
Slot Design	Groups of vertical slots at short intervals
Maximum Frequency, MHz	2650
STRUCTURE	
Inner Conductor Material	Copper Tube
Diameter Inner Conductor, mm (in)	9.3 (0.37)
Outer Conductor Material	Overlapping Copper Foil
Diameter Outer Conductor, mm (in)	23.8 (0.94)
Diameter over Jacket, mm (in)	28.5 (1.12)
MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Minimum Bending Radius, Single Bend, mm (in)	350 (13:8)
Tensile Force, N (lb)	2300 (507)
Storage Temperature, °C (°F)	-70 to +85 (-94 to +185)
Operation Temperature, °C (°F)	-40 to +85 (-40 to +185)
Installation Temperature, °C (°F)	-25 to +60 (-13 to +140)
Recommended Clamp Spacing, m (ft)	0.9 (3)
Minimum Distance to Wall, mm (in)	80 (3.15)
Indication of Slot Alignment	Bulge atop slots
ELECTRICAL SPECIFICATIONS	
Impedance, ohm	50 +/-2
Velocity, %	89
Inner Conductor dc Resistance, ohm/1000 m (1000 ft)	1.46 (0.44)
Outer Conductor dc Resistance, ohm/1000 m (1000 ft)	2:16 (0.66)

RLKU78-50JA/JFNA/JFLA

PERFORMANCE		
Frequency, MHz	Longitudinal Loss, dB/100 m (dB/100 ft)	Coupling Loss 50%/95%, dB
75	2.17 (0.66)	53/63
150	3.10 (0.94)	61/72
450	5.74 (1.75)	68/79
800	8.75 (2.67)	59/65
870	9.21 (2.81)	60/66
900	9.40 (2.86)	60/66
960	9.73 (2.97)	60/66
1800	21.97 (6.70)	57/67
1900	22.71 (6.92)	57/67
2000	23.48 (7.16)	56/66
2200	25.47 (7.76)	55/63
2400	27.93 (8.51)	54/63

Anexo 13. Cálculo de potencia y atenuaciones

Una vez tenemos diseñado el esquema unifilar de las 3 plantas, para ver como distribuimos la señal hacia las diferentes antenas, pasamos al cálculo de potencias y atenuaciones.
En este caso no hemos tenido en cuenta las atenuaciones debido a los conectores, que son de 0.2dB, ni la de los combinadores que son de 0.3dB, tanto en la banda DCS como en la banda de UMTS

13.1. Cálculos de atenuaciones para UMTS

Suponemos que cada una de las antenas exteriores, antenas logoperiódicas, recibe una señal de -50dBm de cada una de las estaciones base de los diferentes operadores a los que están orientadas.

Atenuación de los cables

Tabla 13.1 Atenuación Cable ½" **UMTS**

Distancia en m	Atenuación en dB
100	16.5
2	0.33
5	0.825
10	1.65

Tabla 13.2 Atenuación Cable 7/8" **UMTS**

Distancia en m	Atenuación en dB
100	10.7
10	1.07
15	1.6
30	3.21

13.1.1. Cálculos de atenuación planta -1

$$P_{RX} + G_{ANT} = P_{OUT}$$
$$-50dBm + 11dBm = -39dBm$$
$$P_{OUT} - AT_{CABLE} = P_{IN\_DIV\_3\_PUERTOS}$$
$$-39dBm - 0.825dB = -39.825dBm$$
$$P_{IN\_DIV\_3\_PUERTOS} - AT_{DIV\_3\_PUERTOS} - AT_{CABLE} = P_{IN\_COM2}$$
$$-39.825dBm - 3dB - 1.65dB = -44.75dBm$$
$$P_{OUT\_COM2} - AT_{CABLE} = P_{IN\_REP\_UMTS}$$

$$-44.75dBm - 0.825dB = -45.3dBm$$

El repetidor de UMTS tiene una ganancia máxima de 70dB, pero su salida como máximo alcanza los 14 dBm para amplificar 2 portadoras. Por lo tanto a la salida del repetidor de UMTS obtenemos el máximo valor que nos puede proporcionar el repetidor, es decir los 14 dBm, puesto que a la entrada del repetidor tenemos una señal de -45.3dBm que sumados a la máxima ganancia supondría una señal de 24.7 dBm que es superior a los 14 dBm que es la salida máxima de este repetidor.

$$P_{OUT_{REP\,UMTS}} = 14dBm$$
$$P_{OUT\_REP\_UMTS} - AT_{CABLE} = P_{IN\_COM3}$$
$$14dBm - 0.825dB - 13.175dBm$$
$$P_{OUT\_COM3} - AT_{CABLE} = P_{IN\_ACO1}$$
$$13.175dBm - 0.825dB = 12.35dBm$$
$$P_{IN\_ACO1} - AT_{P2\_ACO1} = P_{OUT\_P2\_ACO1}$$
$$12.35dBm - 7dB - 5.35dBm$$
$$P_{IN\_DIV1} - AT_{DIV1} = P_{OUT\_DIV1}$$
$$5.35dBm - 3dB = 2.35dBm$$
$$P_{RAD\_A1} = P_{OUT\_DIV1} + 7dBi$$
$$9.35dBm - 2.35dBm + 7dBi$$
$$P_{RAD\_A2} = P_{OUT_{DIV1}} - AT_{CABLE} + 7dBi$$
$$8.525dBm = 2.35dBm - 0.825dB + 7dBi$$

Cálculos para antenas omnidireccionales:

$$P_{OUT\_P1\_ACO1} = P_{IN\_ACO1} - AT_{P1\_ACO1}$$
$$12.35dBm - 1dB = 11.35dBm$$
$$P_{IN\_DIV2} = P_{OUT\_P1\_ACO1} - AT_{CABLE}$$
$$8.925dBm = 11.35dBm - 0.825dB - 1.6dB$$
$$P_{OUT\_DIV2} = P_{IN\_DIV2} - AT_{CABLE}$$
$$5.925dBm = 8.925dBm - 3dB$$
$$P_{IN\_COM4} = P_{OUT\_DIV2} - AT_{CABLE}$$
$$5.595dBm = 5.595dBM - 0.33dB$$
$$P_{IN\_COM5} = P_{OUT\_DIV2} - AT_{CABLE}$$
$$5.595dBm = 5.595dBM - 0.33dB$$
$$P_{IN1\_REP\_UMTS} = P_{OUT\_COM5} - AT_{CABLE}$$
$$5.265dBm = 5.595dBm - 0.33dB$$
$$P_{IN2\_REP\_UMTS} = P_{OUT\_COM4} - AT_{CABLE}$$
$$5.265dBm = 5.595dBm - 0.33dB$$
$$P_{OUT1\_REP\_UMTS} = P_{OUT2\_REP\_UMTS} = P_{IN1Y2\_REP\_UMTS} + G_{REP\_UMTS}$$
$$29.265dBm = 5.265dBm + 24dB$$
$$P_{IN\_COM6} = P_{OUT\_REP\_UMTS} - AT_{CABLE}$$
$$28.935dBm = 29.265dBm - 0.33dB$$
$$P_{IN\_ACO2} = P_{OUT\_COM6} - AT_{CABLE}$$
$$28.605dBm = 28.935dBm - 0.33dB$$

$$P_{OUT\_P2\_ACO2} = P_{IN\_ACO2} - AT_{P2\_ACO2}$$
$$18.205dBm = 28.605dBm - 10.4dB$$
$$P_{RAD\_A3} = P_{OUT\_P2\_ACO2} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$19.38dBm = 18.205dBm - 0.825dB + 2dBi$$
$$P_{OUT\_P1\_ACO2} = P_{IN\_ACO2} - AT_{P1\_ACO2}$$
$$28.205dBm = 28.605dBm - 0.4dB$$
$$P_{IN\_DIV3} = P_{OUT\_P1\_ACO2} - AT_{CABLE}$$
$$24.995dBm = 28.205dBm - 3.21dB$$
$$P_{OUT\_DIV3} = P_{IN\_DIV3} - AT_{DIV3}$$
$$21.995dBm = 24.995dBm - 3dB$$
$$P_{RAD\_A4} = P_{OUT\_DIV3} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$23.665dBm = 21.995dBm - 0.33dBm + 2dBi$$
$$P_{RAD\_A5} = P_{OUT\_DIV3} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$20.785dBm = 21.995dBm - 3.21dB + 2dBi$$

13.1.2. Cálculos de atenuación planta -2

La potencia que llega a la planta -2 sale del combinador 7, que es igual a la del combinador 6.

$$P_{OUT\_COM7} = P_{OUT\_COM6} = 28.935dBm$$
$$P_{IN\_DIV4} = P_{IOUT\_COM7} - AT_{CABLE}$$
$$28.11dBm = 28.935dBm - 0.825dB$$
$$P_{OUT\_DIV4} = P_{IN\_DIV4} - AT_{DIV4}$$
$$25.11dBm = 28.11dBm - 3dB$$
$$P_{IN\_ACO3} = P_{OUT\_DIV4} - AT_{CABLE}$$
$$24.78dBm = 25.11dBm - 0.33dB$$
$$P_{OUT\_P2\_ACO3} = P_{IN\_ACO3} - AT_{P2\_ACO3}$$
$$17.78dBm = 24.78dBm - 7dB$$
$$P_{IN\_DIV5} = P_{OUT\_P2\_ACO3} - AT_{CABLE}$$
$$17.45dBm = 17.78dBm - 0.33dB$$
$$P_{OUT\_DIV5} = P_{IN\_DIV5} - AT_{DIV5}$$
$$14.45dBm = 17.45dBm - 3dB$$
$$P_{RAD\_A6} = P_{OUT\_DIV5} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$19.85dBm = 14.45dBm - 1.6dB + 7dBi$$

Cálculo para antenas omnidireccionales:

$$P_{RAD\_A7} = P_{OUT\_DIV5} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$15.625dBm = 14.45dBm - 0.825dB + 2dBi$$
$$P_{OUT\_P1\_ACO3} = P_{IN\_ACO3} - AT_{P1\_ACO3}$$
$$23.78dBm = 24.78dBm - 1dB$$
$$P_{IN\_DIV6} = P_{OUT\_P1\_ACO3} - AT_{CABLE}$$
$$22.18dBm = 23.78dBm - 1.6dB$$
$$P_{OUT\_DIV6} = P_{IN\_DIV6} - AT_{DIV6}$$
$$19.18dBm = 22.18dBm - 3dB$$
$$P_{RAD\_A8} = P_{OUT\_DIV6} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$

$20.85dBm = 19.18dBm - 0.33dB + 2dBi$
$P_{RAD\_A9} = P_{OUT\_DIV6} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$
$17.07dBm = 19.18dBm \quad 3.21dB \mid 2dBi$

13.1.3. Cálculos de atenuación planta -3

La potencia que llega a la planta -3 sale del divisor 4
$P_{OUT\_DIV4} = 25.11Bm$
$P_{IN\_ACO4} = P_{OUT\_DIV4} - AT_{CABLE}$
$24.285dBm = 25.11dBm - 0.825dB$
$P_{OUT\_P2\_ACO4} = P_{IN\_ACO4} - AT_{P2\_ACO4}$
$17.285dBm = 24.285aBm - 7dB$
$P_{IN\_DIV7} = P_{OUT\_P2\_ACO4} - AT_{CABLE}$
$16.955dBm = 17.285dBm - 0.33dB$
$P_{OUT\_DIV7} = P_{IN\_DIV7} - AT_{DIV7}$
$13.955dBm = 16.955aBm - 3dB$
$P_{RAD\_A10} = P_{OUT\_DIV7} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$
$19.355dBm = 13.955dBm - 1.6dB + 7dBi$

Cálculo para antenas omnidireccionales:

$P_{RAD\_A11} = P_{OUT\_DIV7} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$
$15.13dBm = 13.955dBm - 0.825dB + 2dBi$
$P_{IN\_DIV8} = P_{OUT\_P1\_ACO4} - AT_{CABLE}$
$21.685dBm - 23.285aBm - 1.6dB$
$P_{OUT\_DIV8} = P_{IN\_DIV8} - AT_{DIV8}$
$18.685dBm = 21.685aBm - 3dB$
$P_{RAD\_A12} = P_{OUT\_DIV8} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$
$20.355dBm - 18.685dBm - 0.33dB + 2dBi$
$P_{RAD\_A13} = P_{OUT\_DIV8} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$
$17.475dBm = 18.685dBm - 3.21dB + 2dBi$
Los divisores utilizados tienen una atenuación de 3dB a la salida.
En cambio los acopladores tienen todos una atenuación de 1dB en **P1** y 7 dB en **P2**, excepto el **ACO2** que en **P1** tiene 0.4dB y en **P2** 10.4dB.
Los datasheet de todos los elementos están en los diferentes anexos.

13.2. Cálculo de atenuaciones para DCS

Suponemos que cada una de las antenas exteriores, antenas logoperiódicas, recibe una señal de -50dBm de cada una de las estaciones base de los diferentes operadores a los que están orientadas.

Atenuación cables

Tabla 13.3 Atenuación cable ½" **DCS**

Distancia en m	Atenuación en dB
100	15.6
2	0.31
5	0.78
10	1.56

Tabla 13.4 Atenuación cable 7/8" **DCS**

Distancia en m	Atenuación en dB
100	10.10
10	1.01
15	1.51
30	3.03

13.2.1. Cálculos de atenuación planta -1

$$P_{BN} + G_{ANT} = P_{OUT}$$
$$-50dBm + 11dBm = -39dBm$$
$$P_{OUT} - AT_{CABLE} = P_{IN\_DIV\_3\_PUERTOS}$$
$$-39dBm - 0.825dB = -39.825dBm$$
$$P_{IN\_DIV\_3\_PUERTOS} - AT_{DIV\_3\_PUERTOS} - AT_{CABLE} = P_{IN\_COM2}$$
$$-39.825dBm - 3dB - 1.65dB = -44.75dBm$$
$$P_{OUT\_COM2} - AT_{CABLE} = P_{IN\_REP\_DCS}$$
$$-44.75dBm - 0.825dB = -45.3dBm$$

El repetidor de DCS tiene una ganancia máxima de 70dB, pero su salida como máximo alcanza los 34 dBm para amplificar 4 canales. Por lo tanto a la salida del repetidor de DCS obtenemos una salida de 24.7dBm, no alcanzamos el máximo a la salida del repetidor (34dBm), puesto que la entrada debería ser mayor para que sumado a los 70dB llegue a los 34dBm.

$$P_{OUT\_REP\_DCS} = P_{IN\_REP\_DCS} + G_{REP\_DCS}$$
$$24.7dBm = -45.3dBm + 70dB$$
$$P_{OUT\_REP\_DCS} - AT_{CABLE} = P_{IN\_COM3}$$
$$24.7dBm - 0.78dB = 23.92dBm$$
$$P_{OUT\_COM3} - AT_{CABLE} = P_{IN\_ACO1}$$
$$23.92dBm - 0.78dB = 23.14dBm$$
$$P_{IN\_ACO1} - AT_{P2\_ACO1} = P_{OUT\_P2\_ACO1}$$
$$23.14dBm - 7dB = 16.14dBm$$

$$P_{IN\_DIV1} - AT_{DIV1} = P_{OUT\_DIV1}$$
$$16.14dBm - 3dB = 13.14dBm$$
$$P_{RAD\_A1} = P_{OUT\_DIV1} + 7dBi$$
$$20.14dBm = 13.14dBm + 7dBi$$
$$P_{RAD\_A2} = P_{OUT_{DIV1}} - AT_{CABLE} + 7dBi$$
$$19.36dBm = 13.14dBm - 0.78dB + 7dBi$$

Cálculos para antenas omnidireccionales:

$$P_{OUT\_P1\_ACO1} = P_{IN\_ACO1} - AT_{P1\_ACO1}$$
$$23.14dBm - 1dB - 22.14dBm$$
$$P_{IN\_DIV2} = P_{OUT\_P1\_ACO1} - AT_{CABLE}$$
$$19.85dBm = 22.14dBm - 0.78dB - 1.51dB$$
$$P_{OUT\_DIV2} = P_{IN\_DIV2} - AT_{CABLE}$$
$$16.85dBm - 19.85dBm - 3dB$$
$$P_{IN\_COM4} = P_{OUT\_DIV2} - AT_{CABLE}$$
$$16.54dBm = 16.85dBM - 0.31dB$$
$$P_{IN\_COM3} = P_{OUT\_DIV2} - AT_{CABLE}$$
$$16.54dBm - 16.85dBM - 0.31dB$$
$$P_{IN1\_REP\_DCS} = P_{OUT\_COM5} - AT_{CABLE}$$
$$16.23dBm = 16.54dBm - 0.31dB$$
$$P_{IN2\_REP\_DCS} = P_{OUT\_COM4} - AT_{CABLE}$$
$$16.23dBm - 16.54dBm - 0.31dB$$
$$P_{OUT1\_REP\_DCS} = P_{OUT2\_REP\_DCS} = P_{IN1Y2\_REP\_DCS} + G_{REP\_DCS}$$
$$40.23dBm = 16.23dBm + 24dB$$
$$P_{IN\_COM6} = P_{OUT\_REP\_DCS} - AT_{CABLE}$$
$$39.92dBm - 40.23dBm - 0.31dB$$
$$P_{IN\_ACO2} = P_{OUT\_COM6} - AT_{CABLE}$$
$$39.61dBm = 39.92dBm - 0.31dB$$
$$P_{OUT\_P2\_ACO2} = P_{IN\_ACO2} - AT_{P2\_ACO2}$$
$$29.21dBm - 39.61dBm - 10.4dB$$
$$P_{RAD\_A3} = P_{OUT\_P2\_ACO2} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$30.43dBm = 29.21dBm - 0.78dB + 2dBi$$
$$P_{OUT\_P1\_ACO2} = P_{IN\_ACO2} - AT_{P1\_ACO2}$$
$$39.21dBm - 39.61dBm - 0.4dB$$
$$P_{IN\_DIV3} = P_{OUT\_P1\_ACO2} - AT_{CABLE}$$
$$36.18dBm = 39.21dBm - 3.03dB$$
$$P_{OUT\_DIV3} = P_{IN\_DIV3} - AT_{DIV3}$$
$$33.18dBm - 36.18dBm - 3dB$$
$$P_{RAD\_A4} = P_{OUT\_DIV3} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$34.87dBm = 33.18dBm - 0.31dBm + 2dBi$$
$$P_{RAD\_A5} = P_{OUT\_DIV3} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$32.15dBm - 33.18dBm - 3.03dB + 2dBi$$

13.2.2. Cálculos de atenuación planta -2

La potencia que llega a la planta -2 sale del combinador 7, que es igual a la del combinador 6.

$$P_{OUT\_COM7} = P_{OUT\_COM6} = 39.92dBm$$
$$P_{IN\_DIV4} = P_{OUT\_COM7} - AT_{CABLE}$$
$$39.14dBm = 39.92dBm - 0.78dB$$
$$P_{OUT\_DIV4} = P_{IN\_DIV4} - AT_{DIV4}$$
$$36.14dBm - 39.14dBm - 3dB$$
$$P_{IN\_ACO3} = P_{OUT\_DIV4} - AT_{CABLE}$$
$$35.83dBm = 36.14dBm - 0.31dB$$
$$P_{OUT\_P2\_ACO3} = P_{IN\_ACO3} - AT_{P2\_ACO3}$$
$$28.83dBm - 35.83dBm - 7dB$$
$$P_{IN\_DIV5} = P_{OUT\_P2\_ACO3} - AT_{CABLE}$$
$$28.52dBm = 28.83dBm - 0.31dB$$
$$P_{OUT\_DIV5} = P_{IN\_DIV5} - AT_{DIV5}$$
$$25.52dBm - 28.52dBm - 3dB$$
$$P_{RAD\_A6} = P_{OUT\_DIV5} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$31.01dBm = 25.52dBm - 1.51dB + 7dBi$$

Cálculo para antenas omnidireccionales:

$$P_{RAD\_A7} = P_{OUT\_DIV5} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$26.74dBm = 25.52dBm - 0.78dB + 2dBi$$
$$P_{OUT\_P1\_ACO3} = P_{IN\_ACO3} - AT_{P1\_ACO3}$$
$$34.83dBm = 35.83dBm - 1dB$$
$$P_{IN\_DIV6} = P_{OUT\_P1\_ACO3} - AT_{CABLE}$$
$$33.32dBm = 34.83dBm - 1.51dB$$
$$P_{OUT\_DIV6} = P_{IN\_DIV6} - AT_{DIV6}$$
$$30.32dBm = 33.32dBm - 3dB$$
$$P_{RAD\_A8} = P_{OUT\_DIV6} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$32.01dBm = 30.32dBm - 0.31dB + 2dBi$$
$$P_{RAD\_A9} = P_{OUT\_DIV6} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$29.29dBm = 30.32dBm - 3.03dB + 2dBi$$

13.2.3. Cálculos de atenuación planta -3

La potencia que llega a la planta -3 sale del divisor 4

$$P_{OUT\_DIV4} = 36.14dBm$$
$$P_{IN\_ACO4} = P_{OUT\_DIV4} - AT_{CABLE}$$
$$35.36dBm = 36.14dBm \quad 0.78dB$$
$$P_{OUT\_P2\_ACO4} = P_{IN\_ACO4} - AT_{P2\_ACO4}$$
$$28.36dBm = 35.36dBm - 7dB$$
$$P_{IN\_DIV7} = P_{OUT\_P2\_ACO4} - AT_{CABLE}$$

$$28.05dBm = 28.36dBm - 0.31dB$$
$$P_{OUT\_DIV7} = P_{IN\_DIV7} - AT_{DIV7}$$
$$25.05dBm = 28.05dBm \quad 3dB$$
$$P_{RAD\_A10} = P_{OUT\_DIV7} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$30.54dBm = 25.05dBm - 1.51dB + 7dBi$$

Cálculo para antenas omnidireccionales:

$$P_{RAD\_A11} = P_{OUT\_DIV7} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$26.27dBm = 25.05dBm - 0.78dB + 2dBi$$
$$P_{IN\_DIV8} = P_{OUT\_P1\_ACO4} - AT_{CABLE}$$
$$32.85dBm = 34.36dBm - 1.51dB$$
$$P_{OUT\_DIV8} = P_{IN\_DIV8} - AT_{DIV8}$$
$$29.85dBm = 32.85dBm - 3dB$$
$$P_{RAD\_A12} = P_{OUT\_DIV8} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$31.54dBm = 29.85dBm - 0.31dB + 2dBi$$
$$P_{RAD\_A13} = P_{OUT\_DIV8} - AT_{CABLE} + G_{ANT}$$
$$28.82dBm = 29.85dBm - 3.03dB + 2dBi$$

Anexo 14: LEGISLACIÓN VIGENTE

14.1. Código de buenas prácticas

La implantación de la sociedad de la información y del conocimiento, ha creado la necesidad de desarrollar infraestructuras que permitan prestar los servicios que demandan los ciudadanos.

El despliegue de infraestructuras de telefonía móvil esta acompañado de dos factores que lo diferencian de otros similares:

- Rapidez con la que se han instalado las infraestructuras.
- Rechazo social a las antenas por el pretendido efecto sobre la salud de los campos electromagnéticos.

Estos factores han contribuido a que desde el 2001 se haya producido una ralentización del despliegue de estas infraestructuras, para la expansión de la tecnología 3G.

La creciente demanda de servicio y por lo tanto de infraestructuras de telefonía móvil por un lado, y la dificultad de obtener las licencias municipales de obras necesarias para legalizar la red por el otro, hacen que haya una contradicción que interesa resolver tanto a las administraciones públicas, como a las empresas del sector.

La instalación de las infraestructuras necesarias para prestar servicio de telefonía móvil está afectada por tres bloques legislativos:

- Telecomunicaciones y uso del espectro radioeléctrico.
- Sanidad (protección contra las emisiones) y medio ambiente (impacto visual y medioambiental).
- Ordenación del territorio y urbanismo.

La comisión sectorial para el despliegue de infraestructuras de radiocomunicación (CSDIR), siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), propone unos límites de exposición comunes para todo el territorio, fijados en el ámbito estatal.

En el momento de aprobación del presente código, en España el real decreto 1066/2001, establece los límites de exposición para las distintas fuentes de emisión y recoge los establecidos en la recomendación Europea 1999/519/EC, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos y su aplicación en los estados miembros.

Los niveles de referencia fijados por esta recomendación Europea y por el real decreto español, son coincidentes ($10 W/m^2$ en 2000MHz y $4.5 W/m^2$ en 900MHz).

Se establecen mecanismos de control que aseguran el cumplimiento de esos niveles.
El ministerio de industria, turismo y comercio pone a disposición del público, los resultados de estos controles, que se pueden consultar para cada ubicación de estación base, en la siguiente página de internet:

http://www.setsi.min.es/movil/top_mov.htm

Las compañías operadoras de telefonía firmantes del acuerdo FEMP-AETIC del 14 de junio de 2005 y las corporaciones locales que suscriban el código de buenas practicas mediante su adhesión a dicho acuerdo, lo utilizaran como referencia para valorar las solicitudes de concesión de licencias en el ámbito de las infraestructuras de telefonía móvil.

En caso de conflicto entre la empresa operadora y la administración local, el servicio de asesoramiento técnico e información (SATI) intervendrá como mediador, utilizando éste código como referencia.

Bibliografía

[1] Sallent Roig, O; Valenzuela González, J.L; Agustí Comes, R; *Principios de comunicaciones móviles,* Ediciones UPC, BCN, 2003.

[2] Gorricho Moreno, M; Gorricho Moreno, J.L; *Comunicaciones móviles,* Ediciones UPC, BCN, 2002.

[3] Bará Temes, J; *Ondas electromagnéticas en comunicaciones* Ediciones UPC, BCN, 1999.

[4] Cardama Aznar, A; Jofre Roca, Ll; Rius Casals, J.M; Romeu Robert, J, Blanch Boris, S; Ferrando Bataller, M;"Propagación" *Antenas* 41-83, Ediciones UPC, BCN, 1998.

[5] Tomasi, W; *Sistemas de comunicaciones electrónicos,* Editorial Prentice-Hall, Mexico, 2003.

[6] Alonso Zárate, L; Apuntes de clase *Sistemas de transmisión digital,* año 2004-2005.

[7] Hernando Rábanos,J.M; *Comunicaciones móviles* Editorial centro de estudios rRamón Areces, Madrid, 1997.

Internet

www.Kathrein.com
www.Axellwireless.com
www.citltda.cl
www2.rfsworld.com
www.ornets.com
www.scelectron.com