

Despliegue de una red LTE, para el campus de la Universidad de Alicante



Máster en Ingeniería de Telecomunicación

Trabajo Fin de Máster

Autor: Pedro José Robles Martínez

Tutor/es: Sergio Bleda Pérez

Septiembre 2014

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a mi tutor Sergio Bleda por su trabajo, dedicación, paciencia y apoyo, que han hecho posible la realización de este trabajo fin de Máster.

En segundo lugar a mi compañero y amigo, Santiago José Martínez. Gracias por estos siete años de ayuda, de apoyo y amistad incondicional.

Finalmente a mi familia, pareja y amigos. Sin vosotros, no hubiera sido posible conseguir mis metas.

Gracias a todos.

Índice General

Agradecimientos.....	2
1. Introducción.....	8
1.1. Contexto del proyecto.....	8
1.2. Objetivos	10
1.3. Estructura de la memoria.....	11
2. Estado del Arte.....	13
2.1. Evolución de la tecnología móvil	13
2.2. LTE	23
2.2.1. Características básicas del sistema LTE	23
2.2.2. OFDMA.....	24
2.2.3. SC-FDMA	25
2.2.4. Scheduling.....	26
2.2.5. Técnicas MIMO.....	27
2.2.6. Concepto Resource Block (RB) y Resource Element (RE).....	30
2.2.7. Capacidad en Mb/s del sistema para cada ancho de banda.....	30
2.2.8. Reutilización de Frecuencias	31
3. Software de diseño	34
3.1. Elección de Radio Mobile como herramienta de trabajo	34
3.2. Interfaz gráfica de Radio Mobile	35
3.3. Geolocalización: relieve, callejeros y perdidas por terreno	36

3.4.	Propiedades de red.....	39
3.5.	Propiedades de unidad.....	42
3.6.	Patrones de antena.....	43
3.7.	Enlace radio y diagramas de cobertura	44
4.	Configuración de parámetros escogida.....	49
4.1.	Escenario	49
4.2.	Elección de los parámetros de la red en Radio Mobile	50
4.2.1.	Elección del modelo de propagación.....	50
4.2.2.	Parámetros seleccionados en el diseño de la red LTE	51
4.3.	Cálculos de capacidad.....	67
5.	Despliegue de la red y frecuencias de operación	86
5.1.	Mapa de colores y reutilización de frecuencias	86
5.2.	Diagramas de cobertura.....	90
5.3.	Resultados obtenidos	94
6.	Conclusiones y líneas futuras	100
7.	Bibliografía.....	102
8.	ANEXOS	104
8.1.	Pliego de condiciones técnicas	104
8.2.	Presupuestos.....	105

Resumen del proyecto

En la actualidad, Long Term Evolution (LTE) es la tecnología de acceso inalámbrica de banda ancha más reciente.

Comercialmente esta tecnología es conocida como un sistema de comunicación de cuarta generación (4G). Es el último de los estándares comercializados de tecnología de red móvil del 3rd Generation Partnership Project o 3GPP, cuyos precedentes fueron los sistemas 2G (second generation) como GSM/GPRS/EDGE, o los “recientes” 3G (third generation) como UMTS/HSPA.

Aunque, como se ha comentado anteriormente, LTE es conocido comúnmente como un sistema 4G, esto no es completamente cierto, ya que en realidad LTE no cumple con todos los requisitos que fijó la International Telecommunication Union (ITU) para ser un sistema de cuarta generación, por lo que se le atribuye de denominación de sistema 3.9G. Sin embargo, el nuevo sistema que se fragua también bajo las siglas LTE, sí que cumple con todos estos requisitos. Actualmente, se conoce como LTE – A o Long Term Evolution Advanced.

En el pasado reciente, el proceso de despliegue de estas redes de nueva tecnología, era absolutamente novedoso y es por ello que solo se crearon pequeñas “islas” de LTE, donde se testeó esta tecnología, es decir, su implantación se realizó tan solo en unas pocas ciudades donde tan solo los usuarios que se localizaban en dichas urbes, podían disfrutar de sus características.

Sin embargo en la actualidad, el sistema está implantándose, concretamente en nuestro país, en prácticamente toda la península, permitiendo a todos los usuarios que dispongan de un terminal que soporte 4G disfrutar de sus ventajas, aunque aún quedan bastantes zonas por planificar.

Es de vital importancia cuando una nueva red se está considerando para su despliegue, que todos los parámetros por los que se rige el nuevo sistema, como por ejemplo

parámetros de radiofrecuencia (recuérdese que el espectro radioeléctrico es público), queden completamente optimizados.

Este proceso requiere demasiado tiempo y esfuerzo, es por ello, que antes que un nuevo sistema de semejante magnitud, se teste con minuciosidad y se ajusten sus parámetros lo máximo posible, con el fin de minimizar los costes y proponer una red estable y optimizada.

Todo este testeo, planificación y despliegue se rigen, como en otras tecnologías de redes de comunicación anteriores, por las grandes operadoras del momento. Estas serán las que decidirán el diseño de la red. Cada una de ellas, desarrollan su red de manera privada y no son propensas a revelar sus estrategias y resultados.

Es por este motivo, por lo que el desarrollo de este proyecto, donde se pretende desplegar una red LTE para el campus de la Universidad de Alicante, es un desafío bien elegido que ha conseguido despertar, sin lugar a dudas, un interés inquietante en este campo, por su complejidad y actualidad.

En esta memoria, además de contextualizar esta nueva tecnología y comentar algunas de sus características, se realizará una justificación de las decisiones tomadas a lo largo del desarrollo del despliegue de la red, así como de ilustrar la propia red desplegada, mediante el software utilizado (Radio Mobile).

1. Introducción

1.1. Contexto del proyecto

En los últimos años, las telecomunicaciones han sufrido un cambio sustancial con el paso del tiempo. Los países no están globalmente privatizados por ciertas empresas que controlan en su totalidad el mercado de las mismas, si no que se ha establecido una competencia abierta en el sector, donde cada empresa lucha por su hueco en el mercado, ya sea a nivel nacional, como a nivel global.

El sector ha crecido de manera diferente en cada uno de los diferentes países, según el marco regulatorio bajo el que están trabajando, siempre atendiendo a las directrices o recomendaciones que proporciona la ITU.

En concreto y atendiendo particularmente al objeto de este proyecto, uno de los sectores que más ha crecido en el ámbito de las telecomunicaciones, ha sido el de la telefonía móvil.

Es necesario aclarar, que el “concepto” de telefonía “**móvil**” es más propio del país en el que residimos (España), ya que en el resto del mundo se conoce como telefonía **celular**, en referencia a la utilización de las **celdas** de cobertura que se establecen para dar soporte a un terminal.

Este sector, ha sufrido con el paso de los años un gran avance por la necesidad creada por parte de las compañías de tener al usuario “conectado” en todo momento. Grandes cantidades de usuarios sienten la llamada de estar comunicados en cualquier situación, y en cualquier momento, lo que ha propiciado la necesidad de este avance tan rápido en los sistemas.

Los datos avalan este crecimiento, y es que en 2011 el 75% de la población mundial, ya poseía un dispositivo móvil, ya fuera Smartphone o cualquiera de otra índole.

Finales del 2013, el crecimiento de la telefonía certificaba que existían 6800 millones de personas que disponían de un terminal y con unas previsiones de finalizar ese año, con un terminal por habitante del planeta.

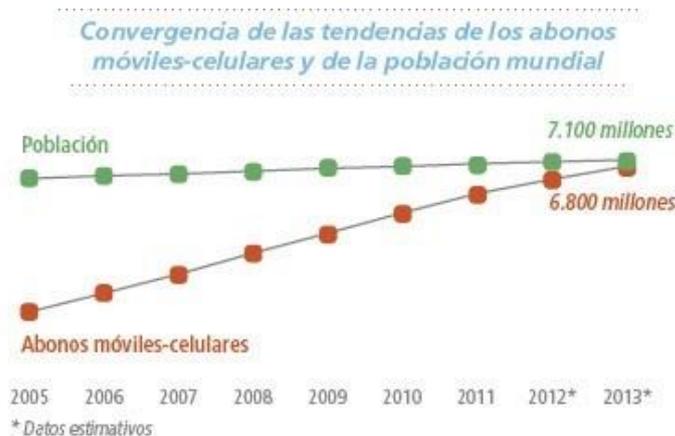


Figura 1: Convergencia de la tendencias de los abonos móviles y población mundial

Es necesario aclarar, que esta estadística no certifica que cada persona del planeta disponga de un terminal móvil, si no que se estima que a finales de este año existirán tantos terminales móviles, como personas hay a nivel mundial.

Del mismo modo hay que distinguir entre abonos y abonados. Un solo abonado puede tener distintos abonos, por ejemplo un dispositivo para trabajo y otro personal.



Figura 2: Abonos móviles según región (izquierda). Abonos móviles según tipo de país (izquierda)

Además, no solamente el incremento de los abonos a telefonía móvil ha sido abismal, también lo ha sido el de los abonos a banda ancha móvil, propiciado por el avance de las tecnologías, donde se han registrado de 2007 un número de abonados de aproximadamente 268 millones a 2100 millones a principios de 2014. [1]

Este gran incremento de abonados, ha permitido una mejora en la calidad de la telefonía, así como anteriormente se ha mencionado una evolución en los sistemas de telefonía móvil.

Si se mira al pasado, se podría relacionar la aparición de la tecnología GSM como método para dar soporte a las llamadas telefónicas, GPRS para dar soporte de mensajería corta (SMS), UMTS para recepción de correos electrónicos e incluso el acceso a algunas páginas web (aparición del conocido “internet móvil”) y HSPA para el uso de servicios multimedia.

LTE también trabaja en el ámbito multimedia, sin embargo se observan mejoras sustanciales tanto en la robustez de la tecnología, como en las velocidades que se consiguen con respecto a los anteriores, entre otras.

Sin embargo, LTE no se justifica solamente por las mejoras en la tecnología, sino también por razones económicas.

La aparición de la banda ancha móvil en el panorama mundial y la competencia de tarifas por parte de las compañías, propició una demanda de los datos móviles que llegó al punto en el que el tráfico demandando superó con creces los ingresos generados. De este modo los ingresos son menores al coste de la red y su mantenimiento.

Con LTE, se pretende mitigar precisamente este problema, buscándose un mantenimiento y coste de la red por debajo de los ingresos obtenidos.

1.2. Objetivos

Teniéndose en cuenta la situación en la que se encuentra sumergida el mercado de las tecnologías de la información y en concreto, de la que se hace eco este proyecto, se

desarrollará una red LTE para dar soporte al campus de la Universidad de Alicante. Para ello, se utilizará el software **Radio Mobile**.

Debido a las limitaciones que proporciona este software gratuito, se tratará de realizar una aproximación, lo más veraz posible, a la planificación y dimensionado eficiente de una red LTE, que proporcione soporte a todo el campus mediante las herramientas que proporciona el programa.

1.3. Estructura de la memoria

El proyecto se ha estructurado en seis capítulos donde se abordarán los siguientes temas:

En el primer capítulo, se realiza una breve introducción al proyecto, y los objetivos a cumplir.

En el segundo capítulo, se tratará el estado del arte. Entiéndase por estado del arte la contextualización de la tecnología LTE. Evolución de las comunicaciones hasta esta tecnología y sus características.

En el tercer capítulo, se describirá la herramienta de trabajo “Radio Mobile”, como las distintas opciones que ofrece.

En el capítulo cuatro, se mostrarán los cálculos realizados manualmente relativos a capacidad y otros parámetros de configuración de la red mediante dicho software.

En el capítulo cinco, se describirá el despliegue de la red y la justificación de los distintas frecuencias de operación para los nodos.

Por último, en el capítulo seis se muestran las conclusiones y líneas futuras obtenidas de este proyecto.

2. Estado del Arte

En este punto, se realizará una descripción global de la evolución de la telefonía móvil. Además de ello, se describirán algunos puntos necesarios sobre la tecnología LTE, necesario para el entendimiento del proyecto.

2.1. Evolución de la tecnología móvil

La telefonía móvil viene desarrollándose desde mediados del siglo XX, en primera instancia, se operaba con tecnología analógica, como por ejemplo TACS (*Total Access Communication System*), AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), NMT(*Nordic Mobile Telephone*)... y posteriormente, se pasó a operar con tecnología digital (actualmente).

Esta tecnología está constituida por dos grandes partes a destacar, una es la red de telefonía móvil (red de comunicaciones) y otros, los terminales, que son los que permiten el acceso a dicha red.

A fecha de Junio de 1946, aparece el primer servicio telefónico móvil, concretamente en San Francisco, Missouri, de la mano de la compañía AT&T. Este sistema era analógico y operaba en la banda de 150 MHz, con separaciones de 60 KHz entre canales, hasta seis canales.

Era un sistema bastante simple, constaba de una sola antena, con un amplio radio de cobertura, pensado para comunicaciones móviles del ejército. De este modo, con un radio de cobertura de unos 80 Km aprox., se abastecería a una amplia zona de comunicación móvil interconectando los usuarios móviles (generalmente vehículos militares) con las líneas de telefonía fija, haciendo de este modo posible las comunicaciones con la base.

Posteriormente, en los años 60 y 70, la misma compañía (AT&T) empezaba a diseñar los primeros sistemas reales de *telefonía celular*, concepto que en la actualidad se sigue utilizando.

Existen diferentes variantes de este término, es ampliamente conocido como, '*Cellphone*' en países de habla inglesa, '*celular*' en América del sur, o '*móviles*' en España.

Un dato curioso a destacar es que, dicho nombre proviene de la base de esta nueva tecnología, y es que la distribución de la cobertura a estas líneas móviles se realiza mediante un radio de cobertura en disposición de '*células*', es decir, el radio de cobertura de la línea está compuesto por varias células, y solo si el dispositivo se encuentra dentro del radio de alcance de la misma, se verá provisto de ella. Pero no siempre se ha trabajado con células, en primera instancia se usaban radiotelefonos, que transmitían hacia una antena central en cada ciudad con 25 canales disponibles.

El gran inconveniente que tenía este sistema, era que exigían transmisores muy potentes, tanto como para tener un radio de alcance de entre 70 y 80 Km.

Por lo tanto, como era absolutamente inviable por lo caro del sistema y la escasez de frecuencias, se desarrolló el sistema de células que se ha comentado en el párrafo anterior.

La célula al tener un tamaño mucho más reducido, requiere transmisores mucho menos potentes que los radiotelefonos y además, proporciona un uso extensivo de frecuencias en todas las ciudades gracias a la reutilización de las mismas.

El funcionamiento de las nuevas zonas de cobertura, consiste, como ya se ha comentado, en la repartición de la zona a tratar en las células necesarias para cubrir todo el territorio. Las células serán hexagonales, para cubrir el máximo territorio posible, aunque en la práctica es evidente que no tienen un rango de acción hexagonal.

Cada célula constaba de una estación base transmisora, lo que aporta tener múltiples canales para el uso de decenas de terminales de manera simultánea y, cuando un usuario abandona la célula en la que se encuentra, deja la frecuencia que estaba utilizando para el uso de otro terminal y adopta la frecuencia libre que exista en la nueva célula en la que se encuentre localizado.

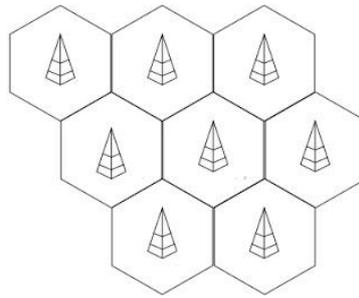


Figura 3: Disposición celular

Es importante mencionar, que esta práctica de disposición celular, donde cada una de las celdas tiene una estación base, quedará en desuso en pos de una mejora de la misma.

Concretamente para LTE, entre otros sistemas anteriores, se utilizarán celdas trisectorizadas. De este modo existirá una sola estación base por cada tres celdas, situada está en el punto límite común de las tres.

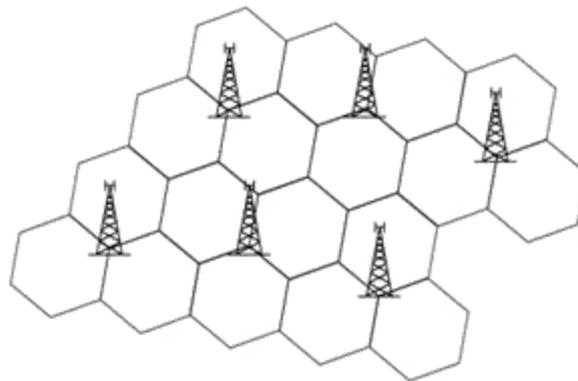


Figura 4: Disposición celdas trisector

De este modo, se evitará una posible congestión del espectro ya que se podrán reutilizar las frecuencias de trabajo entre estaciones que se encuentren a suficiente distancia, es decir, donde la interferencia entre ellas sea mínima.

La ventaja de este recurso es que, al disminuir la distancia de transmisión, los terminales pueden transmitir con poca energía y por tanto, se reducen las baterías que estaban ligadas a los grandes tamaños de celulares y a su elevado peso.

Un ejemplo gráfico de ello, se puede observar en la Figura 5, donde se hace un barrido desde los primeros dispositivos móviles, hasta los actuales.



Figura 5: Evolución del teléfono celular

Una vez se ha comentado el sistema de trabajo mediante celdas, se tratará el recorrido de las distintas tecnologías móviles.

La tecnología 2G, es el sistema que revolucionó las comunicaciones móviles y, aun en la actualidad se utiliza como tecnología de soporte 3G. 2G, ha tenido antecesores que sentaron sus bases. Es el caso de la tecnología '0G'.

Haciendo mención a lo anteriormente comentando, la tecnología 0G, fue la primera en sentar precedentes en las comunicaciones móviles, se correspondía con los radio teléfonos, y las tecnologías que incluían eran PPT, MTS, IMTS y AMTS y trabajaban conectados a la red de telefonía fija, con sus propios números y serían similares a una especie de red como la radio de la policía.

Sin embargo con la llegada del tratamiento de las comunicaciones móviles por el sistema de celdas, para la transmisión de la señal, surgió la tecnología '1G', tecnología de primera generación. Los primeros terminales fueron lanzados en los años 80 tras la iniciativa de AT&T en la implantación del nuevo concepto de tecnología celular.

Algunos de los estándares más conocidos de esta nueva generación son el **NMT** (Nordic Mobile Telephone (usado principalmente en los países Nórdicos y más tarde en Holanda, Europa del Este, Rusia y España. El **NTT** (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) en Japón, TACS utilizado en Reino Unido (Total Access Communications System) o, el **AMPS** (Advanced Mobile Phone System, o como se traduciría al idioma, Sistema Telefónico Móvil Avanzado) en América.

Si nos centramos en América, como ejemplo de sistema de telefonía móvil 2G, se puede comentar que **AMPS**, se desarrolló en los laboratorios Bell en el año 82, y se implanto en Inglaterra y Japón bajo las nomenclaturas de **TACS** y **MCS-L1**, que posteriormente quedaron obsoletas con la llegada del **GSM** (Global System for Mobile Communications). El funcionamiento del sistema seguiría el sistema de celdas implantado en dichos años. El gran problema del sistema es el problema del cambio de celda mediante la comunicación móvil, problema que se solucionó mediante el 'handoff' (análisis de la potencia de la señal emitida y la recibida por las BS, para conectarse al canal disponible en la celda adyacente a la que se ha pasado), el cual podría llegar a cortar la comunicación hasta unos 300 ms para reanudarse inmediatamente después.

Este sistema utiliza unos 832 canales dobles, que se dividirían en 832 canales de subida y el mismo número de bajada, todos con un ancho de banda disponible (individualmente) de unos 30Khz, número inmensamente inferior a los 200KHz de sistemas como el GSM. Además, opera en el rango de frecuencias de 824 a 849 MHz para la transmisión de señales y en el rango de los 869 a los 894 MHz para la recepción de las mismas, ambos con un ancho de banda de unos 25MHz.

Todos los canales de los que se disponen, no se utilizan para la comunicación de usuarios, también hay canales que se destinan a control, a asignación de canales o incluso para alertar de llamadas entrantes.

Sin embargo, este sistema cayó en desuso, aunque vigente hasta el 2008, con la llegada del GSM o D-AMPS (Digital – Advanced Mobile Phone System), este último es el mismo sistema pero en digital.

Es de gran importancia haber contextualizado este sistema, ya que fue imprescindible para el desarrollo de las comunicaciones móviles por el éxito obtenido y por las grandes aportaciones novedosas en cuanto a ideas se refería.

Hasta el 2008 siguió vigente como sistema por sí solo, incluso, en la actualidad se utiliza como tecnología de respaldo, con algunos inconvenientes y ventajas.

Su ventaja más significativa es que cubre más territorios que las vigentes tecnologías digitales TDMA (Time Division Multiple Access), GSM y CDMA, pero en contraposición, el inconveniente es que no es compatible con sistemas de SMS (*Short Message System*) o el tráfico de datos, como consecuencia de ser estrictamente analógica.

Tras la tecnología 1G, llega la tecnología 2G (segunda generación). El gran cambio que incluye esta nueva ‘tecnología’ es evidente, la migración de los sistemas analógicos que había estado ocupando el panorama de las comunicaciones móviles hasta el momento, al dominio digital.

La ‘migración’ se realizó alrededor de 1990 y surgió por la necesidad de tener una mejor gestión de las llamadas en los mismos espectros de radiofrecuencia, la solución a esto, fue la implantación de nuevos protocolos de telefonía digital que además de permitir varios enlaces simultáneos en el mismo ancho de banda, incorporaron novedosos servicios, como el de llamada en espera, servicio de mensajería corta, tráfico de datos... etc.

Algunos de los protocolos más importantes de tecnología 2G son GSM, TDMA (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136) sistema regulado por la Telecommunications Industry Association o TIA, IS-95/cdmaONE, conocido como CDMA (Code Division Multiple Access), D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System), entre otros.

Algunos de los pioneros en la tecnología fueron el D-AMPS, que residía únicamente en el traslado a digital del AMPS y que también se conoce como IS – 54 (*Interim Standard 95*) o USDC (United States Digital Cellular).

Entre otras mejoras de esta tecnología destaca, la utilización de modulación D-QPSK, permite una tasa de transmisión de 48.6 Kbits/s con canales de 30KHz, para dar una eficiencia de ancho de banda de 1.62 bit/s (20% mejor que GSM), la única desventaja es que con esta modulación lineal la ineficiencia en potencia se traduce en dispositivos más pesados, mas recargas de baterías y peor calidad de voz.

También es importante mencionar brevemente el Acceso Múltiple por división de tiempo (TDMA). Esta técnica permite la transmisión de señales digitales y que consiste en ocupar un canal de transmisión a partir de distintas fuentes, consiguiendo un mayor aprovechamiento del medio en el que se transmite. [2]

Por otro lado, en Europa un consorcio de países creó el Group Special Mobile (GSM). Sería una tecnología celular enteramente digital, en primera instancia, abandonando ya el método analógico que se venía utilizando en antiguas tecnologías.

Se desarrolló un sistema de banda estrecha trabajando bajo TDMA combinada con FDMA. Se realizaron las primeras pruebas de campo y posteriormente, se cubrieron en primera instancia a las principales ciudades europeas en 1991.

En su segunda fase, se añadió a la red la posibilidad de envío de fax, datos y video. Rápidamente el sistema se empezó a extender a nivel mundial.

De este modo esta nueva tecnología pasó de ser un sistema únicamente europeo a una tecnología a nivel global, de ahí el sobrenombre por el que se rige en la actualidad “Global System for Mobile communications”.

Una de las novedades más significativas que aportaba era la capacidad de soportar la transmisión de datos y voz a velocidades de 9.6 kbit/s. Lo que permitió sacar a la luz el sistema de “Short Message Service” (SMS).

Como se ha comentado con anterioridad, la tecnología 2G móvil coexiste en la actualidad con nuevos sistemas de comunicación móvil, como los sistemas de tercera generación. Sin embargo este salto tecnológico no fue tan abrupto, antes de que se produjese esta migración, se pasó por los sistemas 2.5G y 2.75G.

En el paso de la tecnología 2G a la 3G, surgió un nuevo sistema CDMA 1xRTT (*1 Times Radio Transmission Technology*). Este sistema era el núcleo estándar de interfaz inalámbrica CDMA2000. Incluía mejoras, como la duplicación de la capacidad de voz sobre el sistema anterior (IS-95) o una mejora significativa en la transmisión de datos llegando a una velocidad pico de 144 Kbits/s. Además algunas diferencias que incluye son, la permisibilidad de una modulación coherente y 64 canales más de tráfico sobre el forward link de manera ortogonal al set original, entre otras mejoras.

Antes de esta nueva tecnología, se desarrollaron otras como GPRS (*General Packet Radio Service*) con velocidades de transmisión de 56 a 144 Kpbs y EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) alcanzando tasas de hasta 384 Kbps, que aportaban una transferencia de datos muy superior a la que proporcionaba el sistema original GSM. Fue barato implantarlas ya que tan solo había que añadir un módulo EDGE o GPRS a la arquitectura de la red, sin tener que cambiar la infraestructura GSM.

EDGE fue estrenado en la redes GSM instaladas en Estados Unidos en el año 2003.

Este sistema es otra tecnología desarrollada de las redes GSM y permite velocidades de hasta 384 kbit/s.

Tras los grandes avances que se consiguieron con la implantación de esta tecnología intermedia, surgieron nuevos estándares en los sistemas de comunicación de 3G. En la actualidad los más utilizados son el **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*) y **cdma2000 1x-EV-DO** tanto Rev A, como Rev 0 (*1x-Evolution-Data Optimized*).

En primer lugar CDMA2000 1x-EV-DO (IS-856) es una evolución del anterior sistema 1x, donde su mejora más significativa se aprecia en la alta velocidad de transferencia de datos (**HDR** [*High Data Rate*]).

En la Rev. A, las velocidades de datos en bajada (forward link), alcanzan hasta 3.1 Mbps y en subida (reverse link) hasta 1.8 Mbps.

En la Rev. 0, podremos encontrar velocidades de bajada en este sistema de hasta 2.5 Mbps y de subida de hasta 154 Kbps.

Por otro lado, el sistema que tuvo una amplia aceptación tras la implantación del GSM, fue el U.M.T. S. (*Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles*). Es la evolución del estándar GSM, y aporta mejoras considerables respecto a éste, como la mejora de la calidad de voz, prácticamente similar a las de telefonía fija, capacidades multimedia para el streaming de audio y video y, conexión de datos de alta velocidad.

Las tasas de transferencia de datos con las que trabaja este sistema son de 144 Kbps, hasta 7.2 Mbps.

Una de las principales ventajas de UMTS sobre 2G, es precisamente la capacidad de soportar mayores velocidades de transmisión de datos.

La última de las tecnologías de telefonía móvil es la de cuarta generación. Está basada completamente en el protocolo IP, haciendo que converjan redes fijas y móviles en una sola, pudiendo ser utilizada por infinidad de dispositivos.

Se pretende hacer que provea de velocidades de acceso a los terminales mayores de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo manteniendo la calidad de servicio (QoS).

En la actualidad, como se ha comentado en puntos anteriores, alguna de las tecnologías que se han mencionado, coexisten en la actualidad, como sistemas de soporte a la tecnología actual.

Un ejemplo de ello, es el sistema de telefonía HSPA (High Speed DownLink Packet Access), sistema de 3.5G que coexiste actualmente con LTE y que aún tiene margen de mejora.

A pesar de no llegar a conseguir esas características que aporta esta nueva tecnología, las operadoras se pueden servir de ella, ya que cubre con creces las necesidades actuales y les permite ser más permisivos con el ritmo de despliegue de sus nuevas redes.

Las tecnologías hoy apodadas 3G evolucionadas, son consideradas de cuarta generación, como por ejemplo **WiMax** (Worldwide Interoperability for Microwave Access), **LTE** (Long Term Evolution) y **UMB** (Ultra Mobile Broadband).

Para finalizar este apartado, mencionar que la primera empresa en realizar experimentos con la tecnología 4G, fue **NTT DoCoMo**, alcanzando tasas de hasta 100 Mbps en vehículos en movimiento.

Con la evolución de estas tecnologías no solamente se ha innovado respecto a terminales, si no que las compañías móviles han hecho posible mediante ‘tarifas planas’ estar conectados a internet las 24 horas del día, consiguiendo hacer de sus terminales prácticamente ordenadores portátiles de tamaño reducido.

En la Figura 6, se puede apreciar un diagrama de la distinta evolución que han sufrido estas tecnologías y en cuales convergen cada una de ellas.

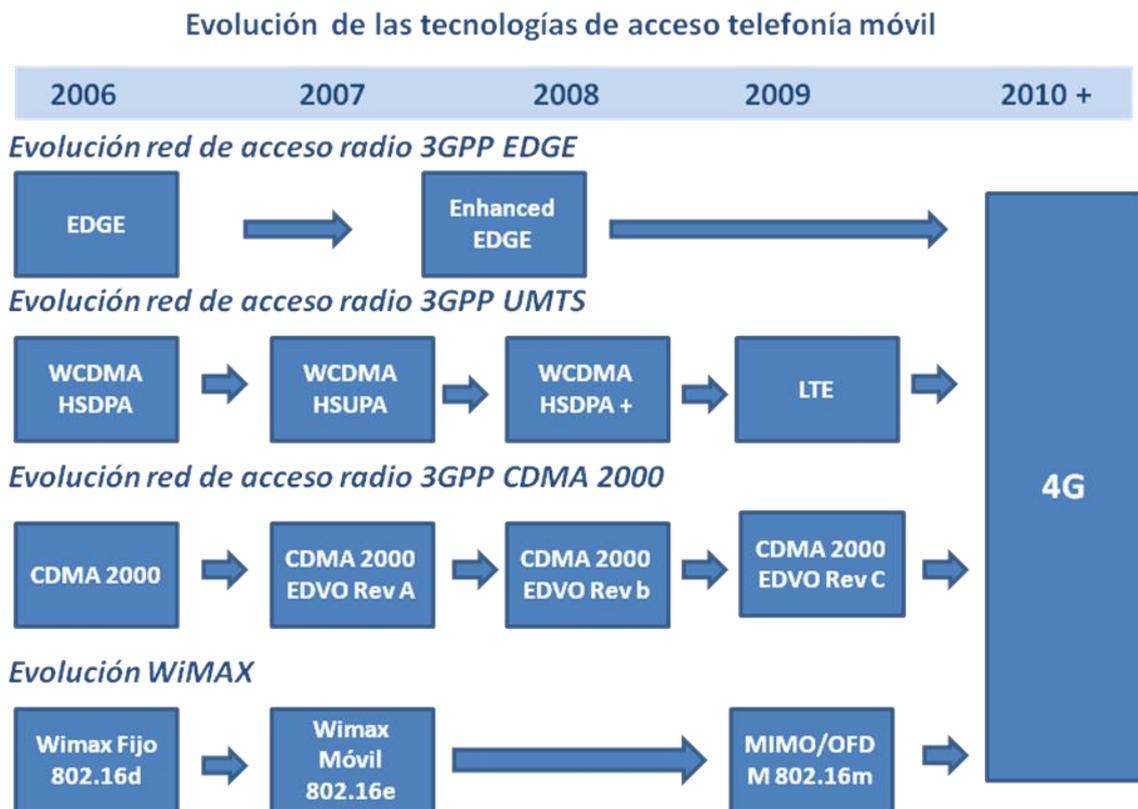


Figura 6: Diagrama representativo de la evolución de los sistemas de telefonía móvil.

2.2. LTE

Como se ha mencionado, LTE (Long Term Evolution) se conoce comercialmente como un nuevo sistema de cuarta generación. Sin embargo, las velocidades que consigue llegan hasta los 100 Mbps y es por esto entre otras razones, que fuera del ámbito comercial, esta tecnología es considerada de 3.9G.

No obstante, incluye mejoras y métodos más que novedosos con respecto a las tecnologías previamente existentes.

En primera instancia los objetivos que se pretendía que tuviese esta nueva generación eran:

- Un sistema que solamente estuviese basado en conmutación de paquetes, apartando de las nuevas tecnologías la práctica de la conmutación de circuitos.
- Conseguir una mejora considerable en cuanto a la velocidad de transferencia de datos. Se pretende que sean superiores a 100 Mbps, sin embargo, se vuelve a mencionar que LTE su límite lo tasa en esta velocidad. Sin embargo su evolución, LTE-A (Long Term Evolution Advanced) sí que las excede.

Por otro lado, es evidente, que se busca una mejora en la calidad de servicio. Para ello se propone lograr una reducción de la latencia en el plano de control y, en el plano de usuario.

Y finalmente buscar una red que sea más económica con respecto a las anteriores. La solución que se propone es el desarrollo de una red plana basada en IP, donde los equipos son más baratos y fáciles de adquirir.

A continuación se mencionan algunas de las características más significativas y prácticas más relevantes que se utilizan en LTE.

2.2.1. Características básicas del sistema LTE

- Posibilidad de trabajar con anchos de banda variables: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz.
- Velocidades de transmisión de 100 Mbps en bajada (DL – Enlace de Bajada) y 50 Mbps en subida (UP – Enlace de Subida).

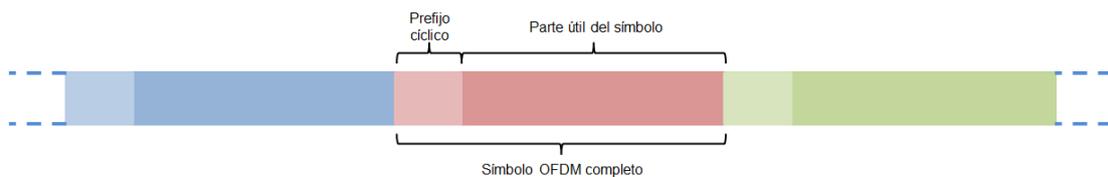
- Elección de distintas bandas de frecuencia.
- Utilización de distintos tipos de modulación en función del canal del radio (influye en las velocidades que se obtienen), QPSK, 16-QAM y 64-QAM.
- Utilización de la tecnología MIMO.
- Mejoras en la eficiencia espectral gracias a las técnicas de acceso que se emplean en el enlace ascendente y descendente.
- Arquitectura plana basada en tecnología IP.
- Retardos de latencia de un máximo de 10 ms.

2.2.2. OFDMA

Una de las características mencionadas es la utilización de la modulación OFDM para el enlace ascendente.

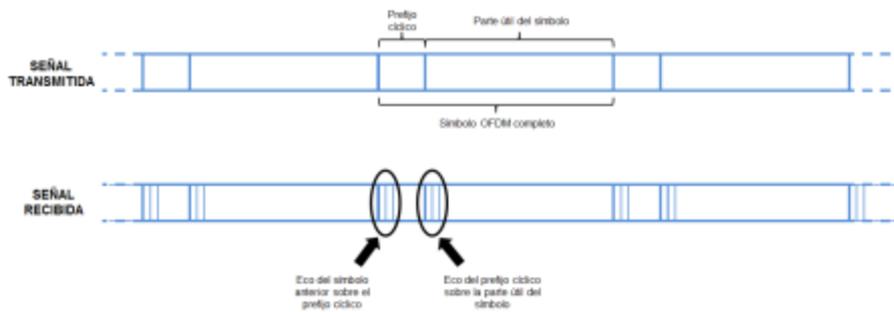
La principal característica de este tipo de multiplexación es que consigue eliminar la interferencia entre símbolo (ISI) debida al multitrayecto.

Esto se consigue gracias a la incorporación de un tiempo de guarda entre símbolos OFDM. Este intervalo de tiempo se conoce como Prefijo Cíclico (CP) y durante dicho intervalo se transmite una réplica de la parte final del símbolo al que precede.



Tal y como se observa en la figura anterior, cada símbolo iría precedido por el prefijo cíclico que forma el símbolo OFDM completo.

De este modo si la señal se transmitiese en un medio con múltiples trayectos, el ISI haría que se mezclase el prefijo cíclico con la parte útil de símbolo.



Por una parte, el prefijo cíclico que se solapa con la parte útil de su propio símbolo lo cual no afectaría a la señal recibida ya que este prefijo cíclico es precisamente una copia de la parte final del símbolo.

Por otro lado, si la parte útil de un símbolo se solapa con el prefijo cíclico del siguiente, éste quedaría contaminado. No obstante, esto no tiene ningún efecto de importancia ya que el receptor lo primero que hace es eliminar el Prefijo Cíclico y de este modo se elimina dicha interferencia.

Por último, OFDM transmite en paralelo muchas subportadoras con el fin de compensar la poca capacidad de sus símbolos y cada una de ellas se modulará con una frecuencia ortogonal con respecto a sus adyacentes para así evitar que se entremezclen.

2.2.3. SC-FDMA

Para el enlace ascendente, se utiliza SC-FDM como modulación (y SC-FDMA como técnica de acceso).

Para entender el porqué de esta modulación habría que definir un término antes, el PAPR (Peak-to-Average Power Ratio).

El PAPR mide la razón entre la potencia instantánea de la señal transmitida y la potencia media, y en caso de ser muy elevada requerirá de amplificador de potencia de alta linealidad con el fin de evitar la distorsión por intermodulación.

El problema se produce al utilizar dichos amplificadores de alta linealidad y es que para conseguirla, se debe de operar a potencias muy por debajo de la potencia de pico y consecuentemente se traduce en una baja eficiencia.

Al trabajar con modulaciones que utilizan varias portadoras, el PAPR incrementará cuantas más portadoras sean utilizadas, de este modo no conviene utilizar este tipo de modulación para el enlace ascendente del canal de comunicaciones móviles, ya que el terminal móvil del usuario tiene una autonomía reducida y por tanto no conviene un gasto de potencia tan elevado como el que conllevaría este tipo de modulación.

Es por ello, que se escoge SC-FDM, ya que se trata de una modulación de portadora única y de ese modo el PAPR será menor.

Consecuencia de esto, se conseguirá evitar la distorsión por intermodulación y además aumentar la autonomía del terminal móvil, debido a una reducción de la potencia consumida. [3]

2.2.4. Scheduling

Debido a los desvanecimientos aleatorios en las diferentes subportadoras que serán independientes para los diferentes usuarios, se seleccionará para cada subportadora el usuario que presente un mejor estado de canal, es decir, el que presente una mejor relación de señal a ruido, de este modo se utilizará de una manera más eficiente la banda disponible. Esto repercutirá directamente en la velocidad de transmisión, es decir se conseguirá una mayor eficiencia espectral.

De este modo, como se ha comentado mediante Acceso OFDM se realiza de una manera sencilla una asignación dinámica de las subportadoras disponibles a los distintos usuarios.

En periodos reducidos en el tiempo compuestos por un pequeño número de símbolos, (en LTE generalmente 6 o 7 periodos), se modificaran las portadoras empleadas por cada usuario, permitiendo una flexibilidad que era necesaria para poder acomodar los flujos de información con diferentes QoS.

Para tomar las decisiones de asignación se tiene en cuenta:

- Requisitos de QoS para los distintos usuarios. Se proporcionarán más subportadoras en más tiempo, en función de la información.
- Información sobre el estado del canal para cada usuario en las diferentes subportadoras. Así se evitara la asignación de subportadoras a usuarios cuando exista una gran atenuación o interferencia. [4]

En la siguiente figura se representa el Scheduling de paquetes en OFDMA

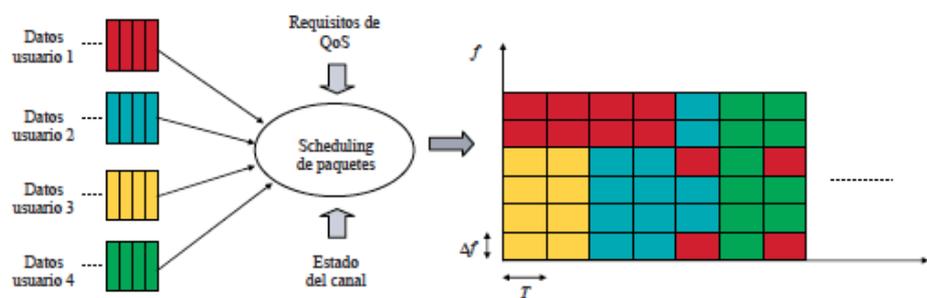


Figura 7: Scheduling de paquetes OFDMA

2.2.5. Técnicas MIMO

Las técnicas **MIMO** (Multiple Input, Multiple Output) se emplean principalmente en la tecnología 4G, para su funcionamiento se emplean 2 o más antenas en transmisión y 2 o más antenas en recepción, con el propósito de poder mejorar la capacidad del sistema, lo que se traduce en una mayor tasa binaria en la comunicación, igualmente, si sobran antenas a la hora de realizar MIMO, se pueden emplear a su vez para conseguir una mejora en la SNR de la señal recibida.

Las técnicas MIMO explotan la diversidad espacial que se produce en el canal, de modo que para cada par de antenas se crean varios caminos independientes, transmitiendo por múltiples antenas transmisoras, y recibiendo por múltiples antenas receptoras, separadas una cierta distancia, consiguiendo (de forma ideal) multiplicar la capacidad del canal por el número de pares de antenas.

A parte de MIMO, podemos encontrar otros dos tipos de diversidad, los cuales nombraremos a continuación:

- SIMO (Single Input Multiple Output): en donde se emplea una antena en transmisión y R antenas en recepción, y tal y como se comentó anteriormente, se reciba por cada antena en recepción un eco de la señal transmitida, para finalmente combinar todos estos ecos y recuperar la señal transmitida original y mejorar la SNR.
- MISO (Multiple Input Single Output): bajo este esquema, se emplearían T antenas en transmisión y 1 única antena en recepción, de modo que en cada una de las antenas transmisoras se realice una modificación del módulo y la fase de la señal original transmitida, para conseguir así, que las distintas señales transmitidas lleguen al receptor en fase, debido a las alteraciones que sufrirán las señales debido al multitrayecto.

En cuanto a MIMO, el hecho de poder transmitir empleando múltiples antenas en transmisión y recepción, se puede aprovechar el multiplexado espacial de las señales, transmitiendo diferentes señales por cada par de antenas. Se puede considerar cada par de antenas como un canal independiente en el que se pueda enviar la información, obteniendo así tantos canales como el mínimo entre el número de antenas en transmisión y recepción, y emplear las antenas sobrantes para mejorar la SNR empleando diversidad espacial.

Por ejemplo, si disponemos de 2 antenas en transmisión y 3 antenas en recepción, se podrán crear dos canales de comunicación, enviando por cada uno cierta información independiente, duplicando las capacidades de transmisión originales que si se empleara una única antena en transmisión y recepción. Tal y como podemos observar, sobraría una antena en recepción, la cual se empleará para la mejora de la SNR, tal y como se mencionó anteriormente.

Normalmente, para el correcto funcionamiento del MIMO, los diferentes canales físicos establecidos entre cada par de antenas deben estar incorrelados. Esto normalmente se consigue cuando el multitrayecto es muy influyente en el escenario en el que se

encuentren la estación base y el móvil receptor, de modo que si nos encontramos en condiciones de visión directa entre la estación base y el móvil, hay muchas menos posibilidades de que MIMO funcione, debido a que no cumpliríamos con la incorrelación de las señales transmitidas por cada canal.

Para el correcto funcionamiento de MIMO tanto la estación base como el móvil necesitan conocer las características del canal, en donde se pueden observar las características del medio, para conseguir estimarlo, la estación base envía pilotos de forma periódica, puesto que el canal cambia con el tiempo, para que el móvil estime el canal y se lo comunique a la estación base, sin embargo, debido a que este método consume mucha capacidad, debido a su periodicidad, se suelen emplear tablas que caracterizan los escenarios más comunes, seleccionando el que más se adecue al escenario en el que se encuentren.

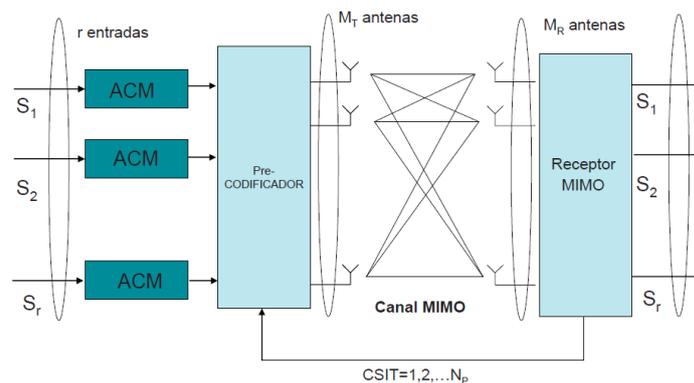


Figura 8: Diagrama del funcionamiento de MIMO

Empleando la misma tecnología explicada anteriormente, se puede implementar el MU-MIMO, que trata sobre múltiples usuarios, considerando a cada usuario como un receptor MIMO de un mismo sistema, estableciendo un canal independiente por cada usuario.

Se trata de un método de gran eficiencia espectral, puesto que se transmitiría a todos los usuarios por la misma frecuencia, considerando a cada usuario en un canal independiente gracias a la multiplexación espacial, sin embargo, esta característica, al igual que MIMO, únicamente estará disponible si existe un multirayecto muy influyente sobre el canal.

2.2.6. Concepto Resource Block (RB) y Resource Element (RE)

El elemento de recurso (Resource Element) es la unidad más pequeña de la capa física y ocupa un símbolo OFDM para el canal descendente o un símbolo SC-FDM para el canal ascendente.

Por otro lado un bloque de recurso (Resource Block) es la unidad más pequeña que puede ser transmitida, es decir, ocupa físicamente una ranura en el dominio del tiempo (0,5ms) que es igual en frecuencia a 180KHz.

Equivalente a 12 subportadoras de 15KHz cada una tal y como se especificó anteriormente, y en él se transmiten 6 o 7 símbolos de la modulación OFDM. [5]

2.2.7. Capacidad en Mb/s del sistema para cada ancho de banda

La tabla que se muestra a continuación delimita el número de RB disponibles, que depende de la canalización empleada.

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Número de RB	6	15	25	50	75	100

Hay que tener en cuenta que el número de subportadoras es 12 veces mayor al número de RB más uno, ya que el número de RB y de subportadoras están estrechamente relacionados.

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Subportadoras	73	181	301	601	901	1201

A modo de aclaración, esta subportadora adicional se corresponde con la subportadora central de la banda disponible y, que esta no se utiliza para la transmisión de información, sino que se utiliza para la facilitación del ajuste y sincronización de la frecuencia del receptor.

Teniendo en cuenta que se disponen de 12 subportadoras por cada uno de los símbolos a transmitir (tenemos 7), obtenemos un total de 84 recursos disponibles para ubicar los símbolos modulados en 64-QAM.

Utilizar dicha modulación, además de una alta eficiencia espectral, proporciona una transmisión de 6 bits por símbolo.

Considerando previamente que cada RB puede llegar a transmitir hasta 504 bits cada 0,5 ms, se obtiene una tasa binaria por RB de 1Mb/s. (Teniendo en cuenta que se incluyen datos codificados de usuario, canales de control y señalización de la capa física del sistema).

Por lo tanto, en función de las canalizaciones de la tabla anterior:

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Número de RB	6	15	25	50	75	100
Subportadoras	73	181	301	601	901	1201
V. de Pico (Mb/s)	6	15	25	50	75	100

2.2.8. Reutilización de Frecuencias

Atendiendo al esquema del acceso radio de LTE, es importante mencionar que proporciona ortogonalidad entre usuarios de una misma celda (utilización de códigos ortogonales), ya sea para enlace ascendente, como descendente.

Sin embargo, es posible que se registren interferencias por celdas adyacentes, a diferencia de lo que sucedía en 3G.

Por ello es preciso mitigar los patrones interferentes que puedan producir una mala comunicación en el dispositivo, en el límite entre celdas, mediante alguna técnica, es decir, cualquier técnica que permita reducir dichas interferencias entre celdas se traducirá en una mejora considerable en las prestaciones del sistema.

La coordinación de interferencias entre células (ICIC), consiste en controlar el nivel de interferencia que reciben los usuarios en los bordes de la celda, para mejorar la tasa de transmisión.

Con ella, se consigue mitigar este efecto de interferencia intercelular, sin embargo, hay que aplicar ciertas restricciones en las funciones del Scheduling que están relacionadas con el dominio de la frecuencia, tanto para el enlace ascendente, como para el descendente, configurando el equivalente a esquemas de reutilización en frecuencia distintos para el interior y el exterior de las celdas. [6]

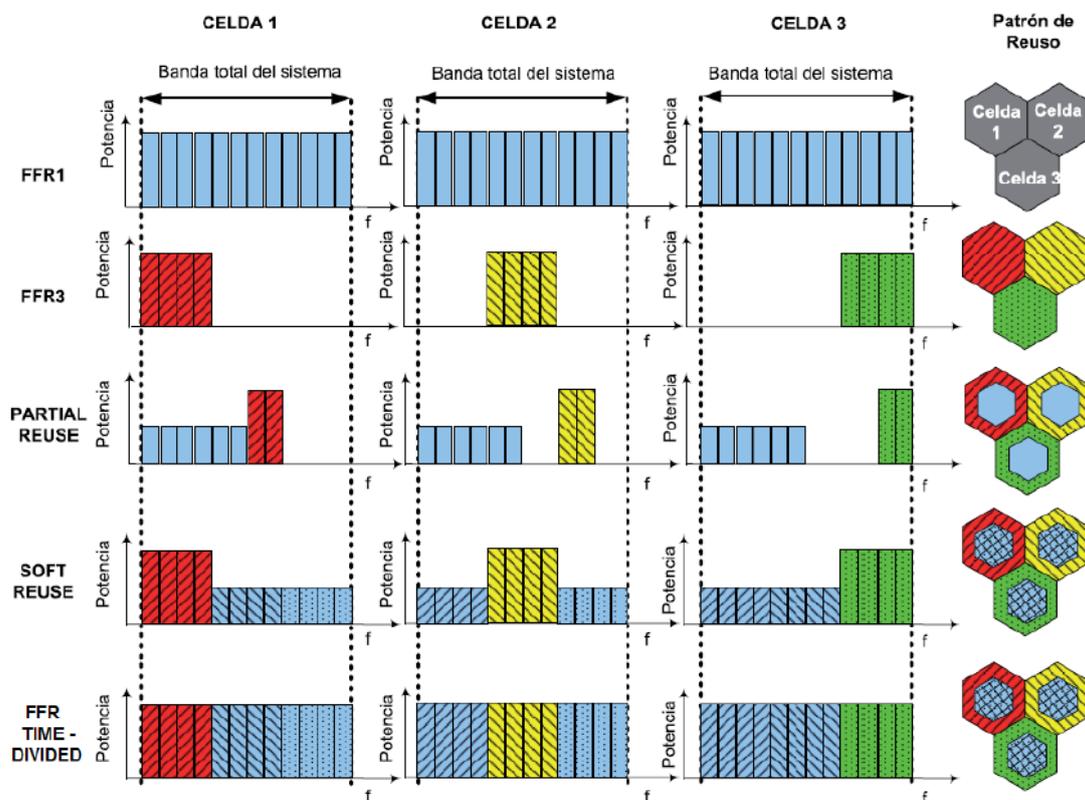


Figura 9: Posibles patrones de reutilización mediante ICIC

3. Software de diseño

En este capítulo, se introducirá de una manera banal el software elegido para la realización del proyecto, así como algunas de las posibilidades que ofrece.

Para ello, se mostrarán algunas capturas del programa, del mismo modo que se mencionarán algunos de los parámetros modificables con los que puede operar el programa.

3.1. Elección de Radio Mobile como herramienta de trabajo

Para la realización de este proyecto se ha elegido, la herramienta de trabajo ‘Radio Mobile’.

Se ha elegido este software entre tantos otros, por ser un software de carácter gratuito, ya que no se disponían de licencia alguna para poder realizar el proyecto con otra herramienta.

En primer lugar, se realizó un análisis exhaustivo sobre el estudio del estándar a tratar mediante lecturas de artículos de investigación, documentación en la red y la bibliografía recomendada para el desarrollo del proyecto.

En segunda instancia, se realizó una toma de contacto con el programa para la correcta utilización del mismo, mediante tutoriales y otra información encontrada en la red.

Finalmente, se estudió como planificar la red propuesta a nivel teórico y extrapolarla al software a utilizar.

En cuanto a la herramienta de trabajo, si bien es cierto que es gratuita, esta nos ofrece bastantes posibilidades que hacen que nuestra planificación de la red, se acerque de una manera lo más veraz posible a una planificación y dimensionado real de una red LTE.

Para ello, se van a mostrar en este capítulo, como previamente se ha mencionado, algunas de las posibilidades que ofrece.

3.2. Interfaz gráfica de Radio Mobile

Para mejor entendimiento de las posibilidades que ofrece el programa, se ilustrara de manera didáctica, la propia herramienta, con la finalidad de conseguir un mejor entendimiento del desarrollo del proyecto.

En primer lugar, la primera captura que se muestra se corresponde con la interfaz del programa, aún sin ningún proyecto creado. Algunas de las opciones que se pueden apreciar en la barra de acceso rápido serán utilizadas para el desarrollo del proyecto y que más adelante, se explicarán de manera detallada.

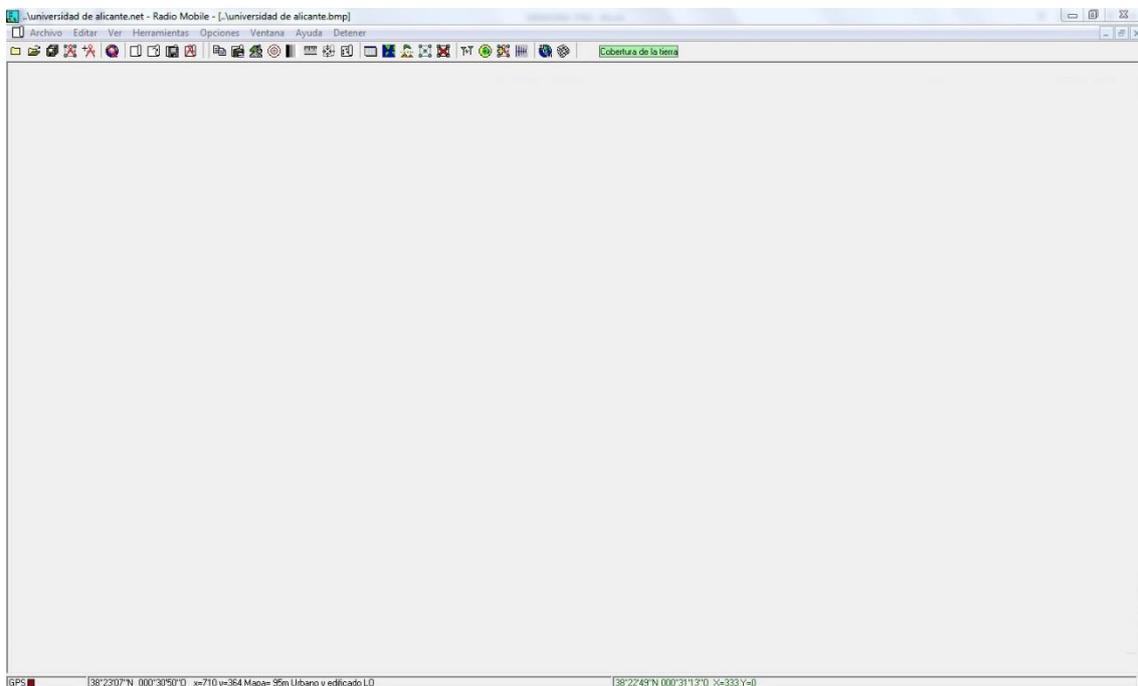


Figura 10: Interfaz Radio Mobile

Para iniciar un nuevo proyecto, se tendrá que realizar en diferentes pasos, ya que se han de configurar distintos parámetros.

El primer paso para el diseño del proyecto, será la localización del emplazamiento del sistema a desarrollar.

3.3. Geolocalización: relieve, callejeros y perdidas por terreno

Radio Mobile, nos ofrece de manera gratuita una serie de mapas de relieve, para el despliegue de nuestra red.

Para ellos se utilizará la herramienta propiedades de mapa con el fin de establecer la **latitud y longitud** del emplazamiento escogido.

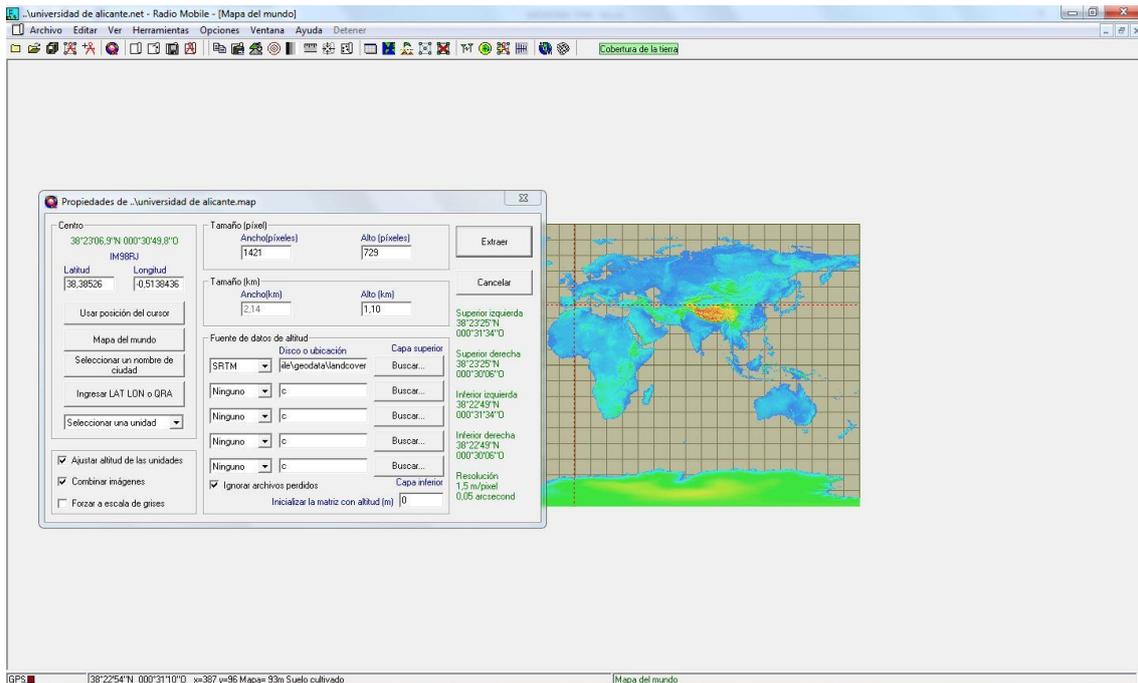


Figura 11: Herramientas de mapa, selección de emplazamiento

Algunos de los parámetros ajustables en esta pantalla, son la resolución de mapa de relieve del emplazamiento (tamaño de pixel).

El resultado que se obtiene es un mapa de relieve geolocalizado del terreno, donde posteriormente se emplazará la red a desarrollar.

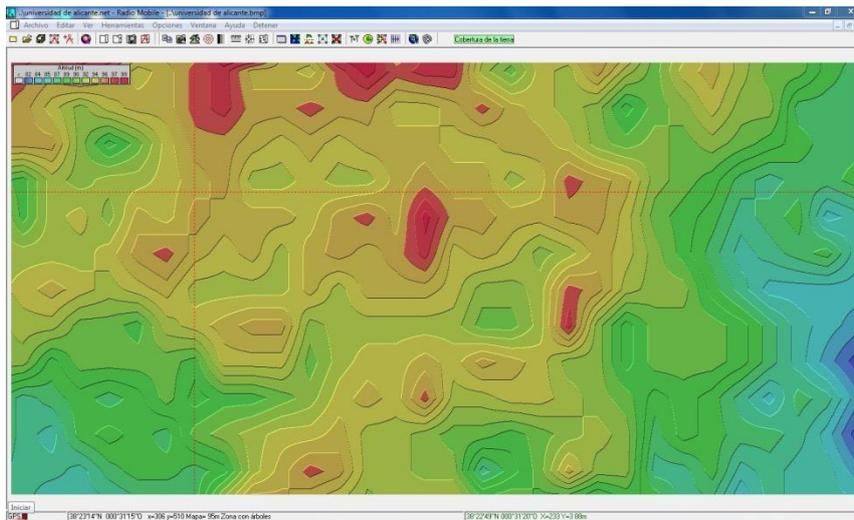


Figura 12: Mapa de relieve del emplazamiento.

En segunda instancia, el propio programa ofrece la posibilidad de superponer imágenes, con lo que se consigue trabajar sobre un mapa callejero del emplazamiento, bajo la altitud a la que se encuentra cada uno de los puntos, sobre el nivel del mar, que ofrecía el mapa de relieve del emplazamiento.

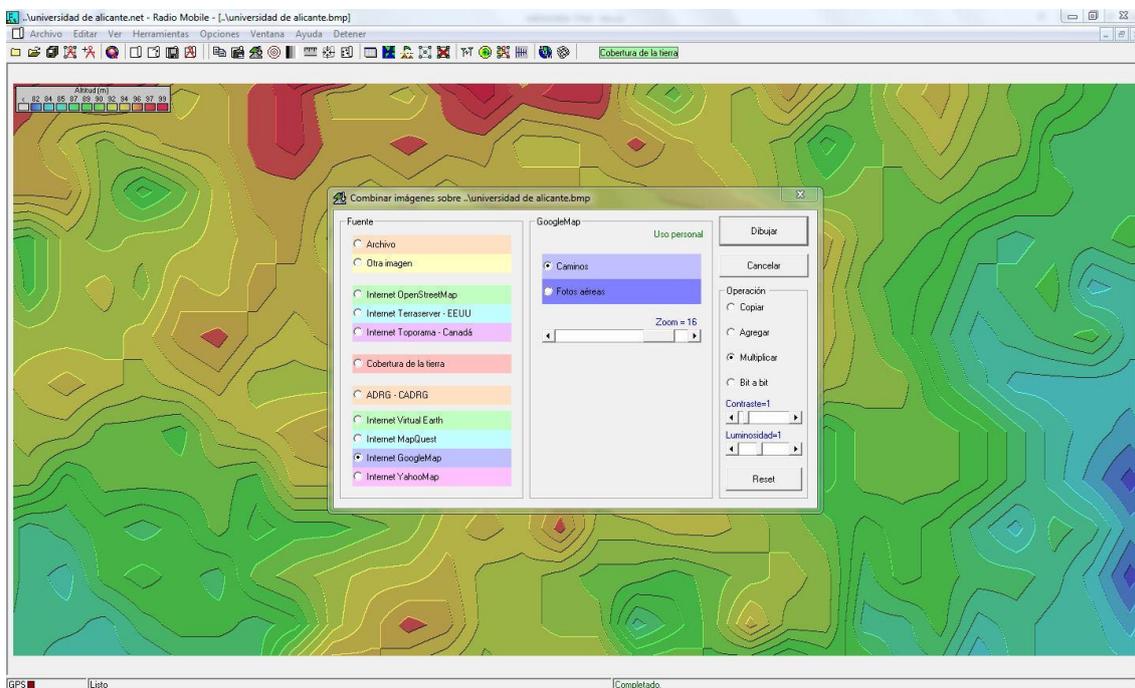


Figura 13: Herramienta de selección de mapa

Como se puede observar, en nuestro caso utilizaremos los mapas que proporciona Google, a través de su herramienta ‘GoogleMaps’, que no solamente nos ofrece la posibilidad de utilizar un mapa callejero del emplazamiento, sino que también nos ofrece la posibilidad de utilizar una foto aérea de la zona.

Además de ello, también nos permite combinar la imagen aplicando el ‘Zoom’ que necesitemos.

Es importante que este parámetro se seleccione de una manera adecuada, en primer lugar para que sea posible trabajar con todo el mapa en pantalla, ya que en nuestro caso necesitamos obligatoriamente trabajar con todo el emplazamiento de la Universidad de Alicante, en segundo lugar, las restricciones del programa no nos permiten hacer scroll, por ello es absolutamente necesario tener todo el mapa de emplazamiento en pantalla.

Finalmente, ‘GoogleMaps’ tiene una resolución máxima para sus mapas, por lo que no será posible obtener una resolución muy alta, lo cual nos permitiría un despliegue más fidedigno.

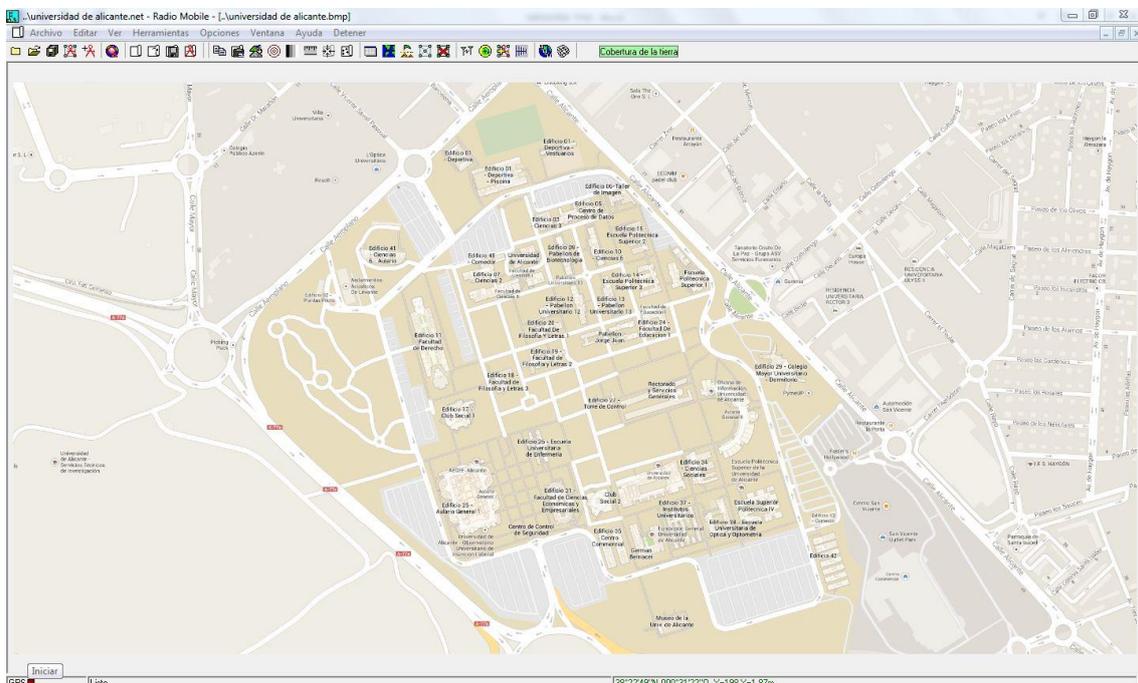


Figura 14: Combinación de imágenes ‘GoogleMaps’

Es importante mencionar que el programa ofrece de manera gratuita una herramienta, que permite trabajar con distintos tipos de terrenos (no confundir con el relieve del terreno, anteriormente mencionado).

De este modo, lo que se pretende conseguir es estimar la altura de los edificios, para que no se trabaje sobre terreno plano y se tengan en cuenta las pérdidas que se producen por obstáculos según el tipo de terreno con el que se trabaje.

Para finalizar, una vez se ha realizado el emplazamiento del proyecto, se deberá de crear la red con la que se trabajara.

3.4. Propiedades de red

Para ello, a través de la utilidad de crear redes, localizada en el menú desplegable, archivo, se definirán tantas redes como se vayan a desplegar en el proyecto.

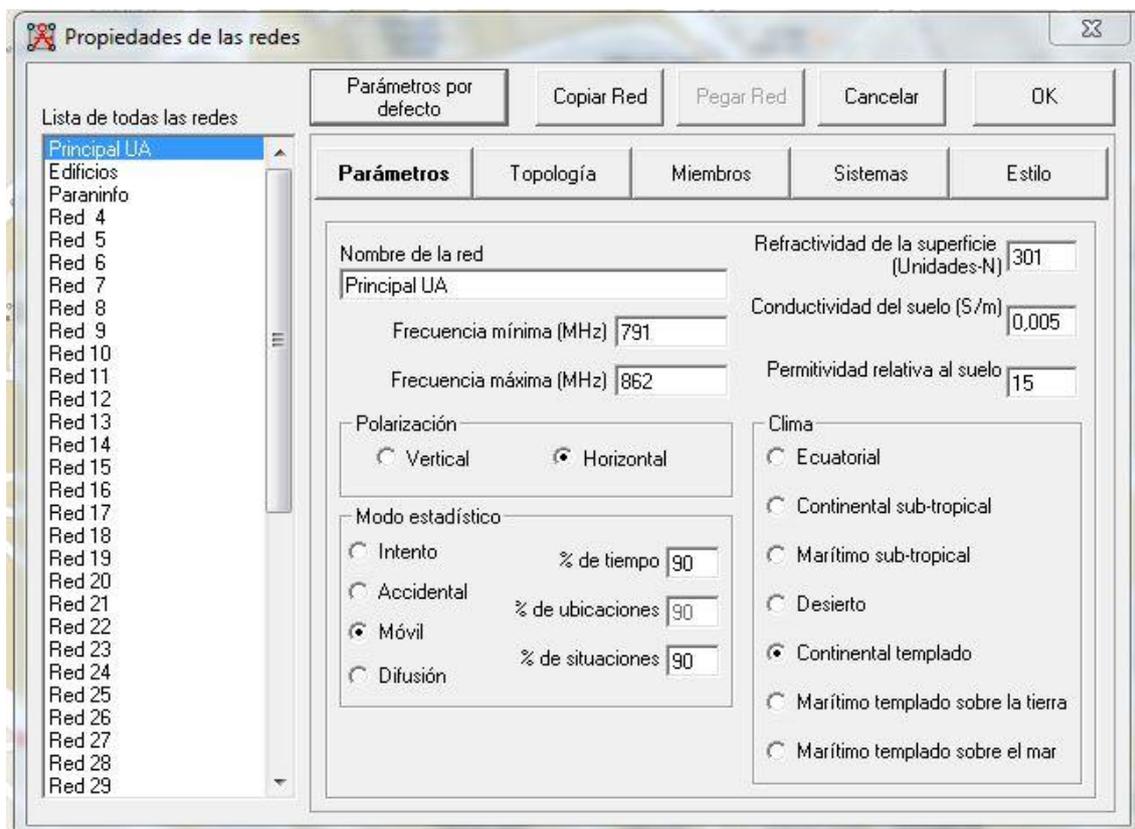


Figura 14: Interfaz propiedades de redes

En esta interfaz, se podrán definir varios parámetros importantes para el diseño de la red.

En primer lugar, el más obvio de todos, será renombrar la red que se va a desplegar. De esta manera, se podrán aplicar distintos parámetros de diseño a cada una de las redes utilizadas, que permitan coexistir a todas en el mismo proyecto sin problema alguno.

Otros parámetros de diseño que se pueden modificar en esta interfaz, serán las frecuencias de trabajo de la red, la polarización de las antenas a utilizar, el tipo de clima de la zona, o la conductividad del suelo, entre otras.

La siguiente característica que ofrece el programa es la selección de la topología del proyecto, a seleccionar entre una red de datos o red de voz.

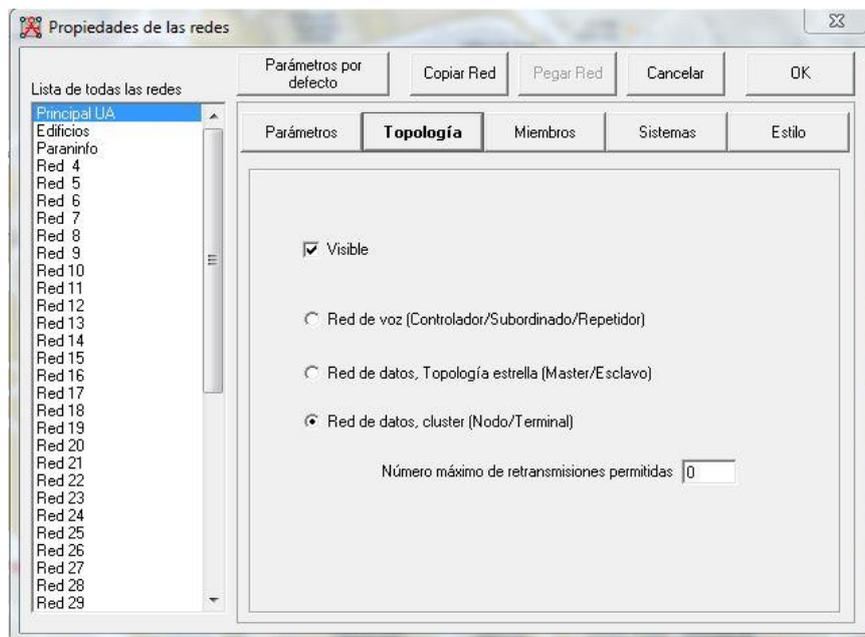


Figura 15: Selección de topología de la red

Para finalizar, Radio Mobile en su apartado de propiedades de la red permite seleccionar los miembros de la red y los sistemas de los que se compondrá la misma.

Entiéndase por sistemas de la red, las características de cada uno de los nodos y terminales de la misma, es decir, como trabajara cada uno de los mismos.

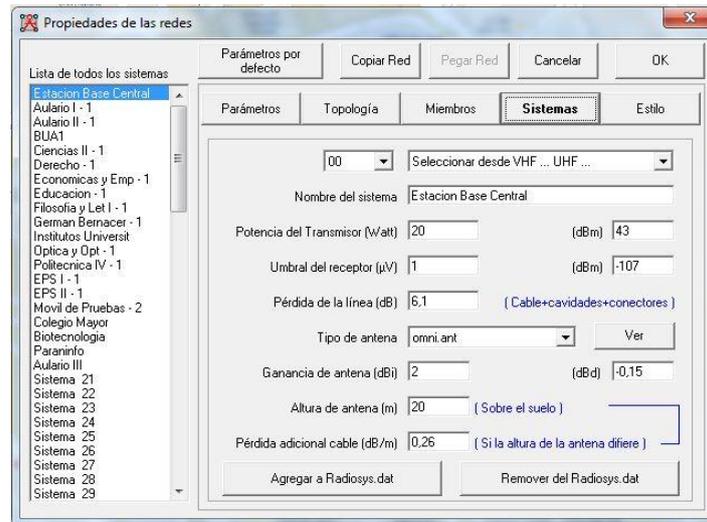


Figura 16: Sistemas de la red

Como se puede observar en la Figura 16, existirán multitud de parámetros configurables de cada uno de los sistemas.

Se podrá especificar el nombre de cada uno de los elementos, potencia a la que trabajaran, umbral de receptor, pérdidas de la línea, tipo de antena, altura de la misma o pérdidas por cable, entre otras.

Además el software permite guardar el sistema en una base de datos interna, extrapolarlo la configuración establecida a cualquier antena que se utilice que sea similar.

Por otro lado, definidas las características de cada uno de los elementos del sistema, los miembros del sistema, propiamente mencionados, serán cada una de las antenas o terminales que se han definido en la propia red.

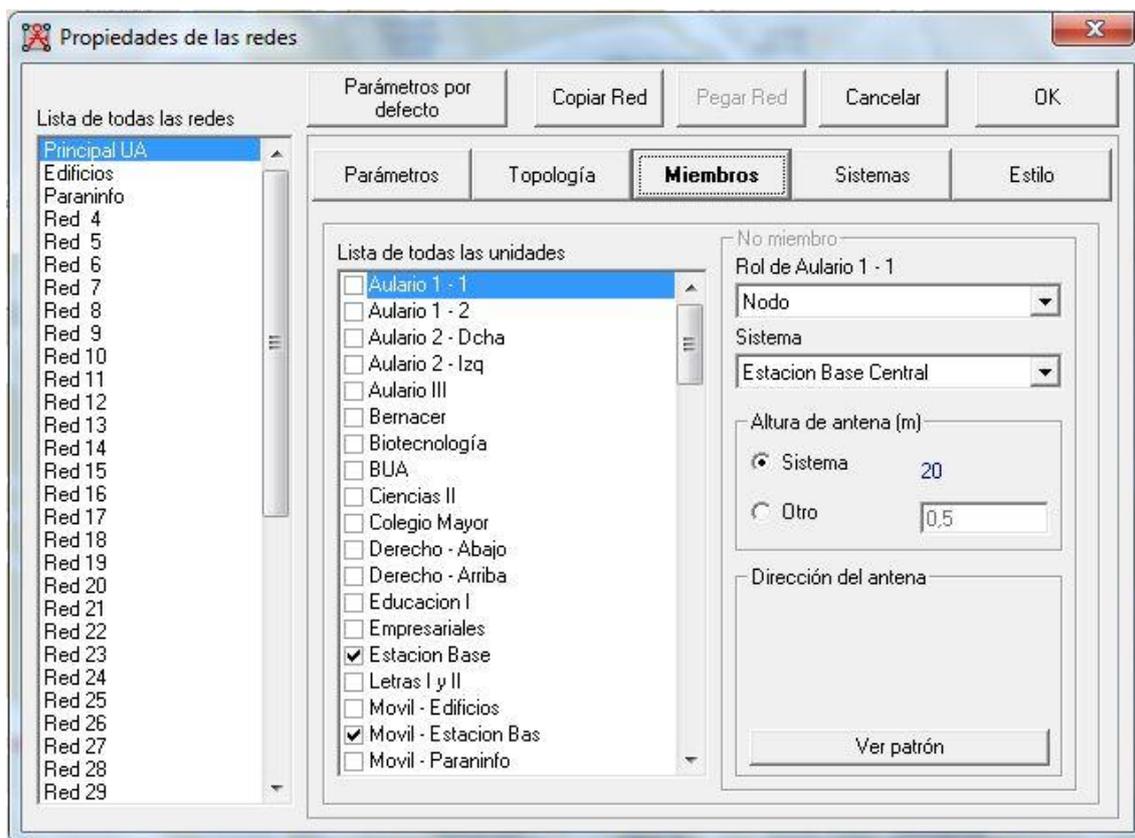


Figura 17: Miembros de la red

Como se aprecia en la Figura 17, cada uno de los elementos definidos en la red, se asignarán a una de las redes troncales (mencionadas en parámetros de la red). Además de ello, permitirá conmutar entre la altura del sistema anteriormente preestablecida u otra que se quiera asignar permaneciendo intactos el resto de parámetros configurados.

También se definirán el rol de cada uno de los elementos del sistema, en el caso del tipo de red de datos que nos ocupa, ‘Nodos’ o ‘Terminales’.

3.5. Propiedades de unidad

En esta parte de la interfaz se definirán cada uno de los elementos, ya sean nodos o terminales de la red.

Como se puede observar en la Figura 18, se modificará el nombre por defecto del mismo modo, que permite permutar entre distintos iconos para visualizar las antenas en el mapa.

Además, se localizarán cada uno de los nodos y terminales en su adecuado emplazamiento desde esta pestaña, así como seleccionar si se quiere que sean visibles o añadan etiquetas identificativas.

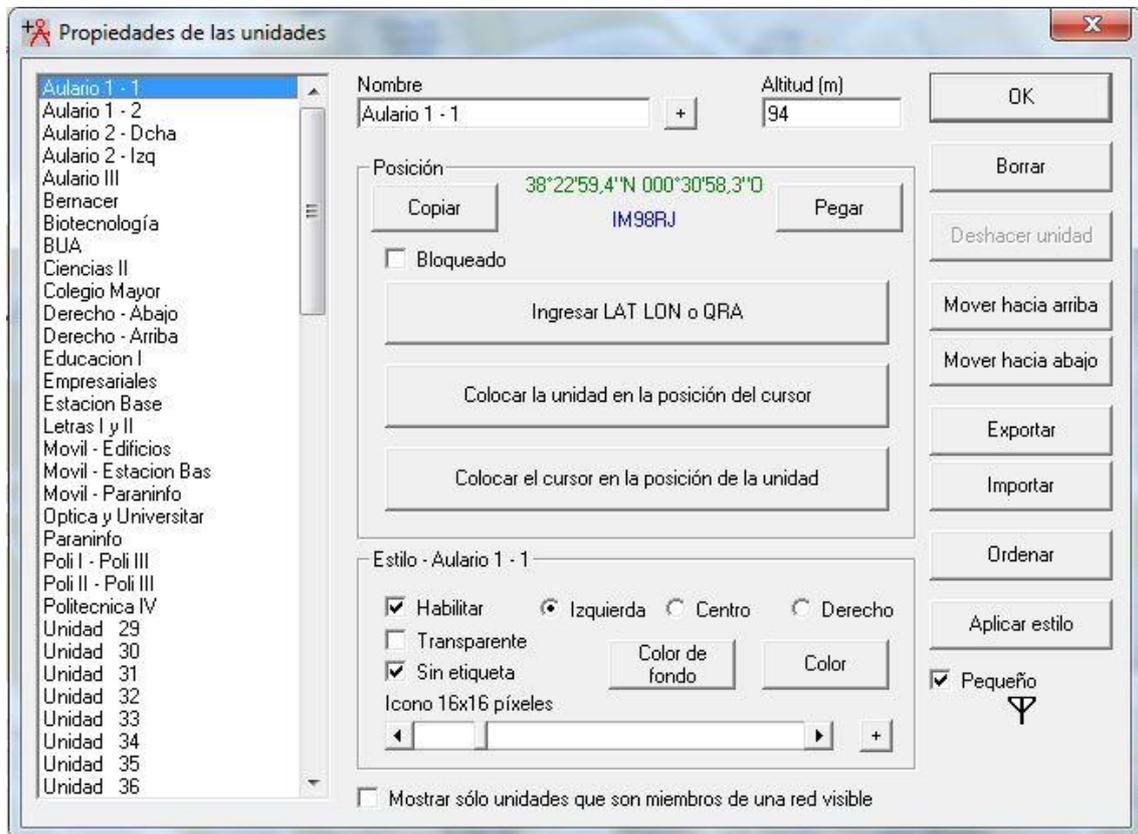


Figura 18: Propiedades de unidad.

3.6. Patrones de antena

La herramienta de trabajo permite seleccionar y visualizar los distintos tipos de antena (diagramas de radiación) que se utilizarán para el diseño de la red.

También permite introducir diagramas de radiación de antenas descritos por el propio usuario del programa, o nuevos diagramas encontrados en la red.

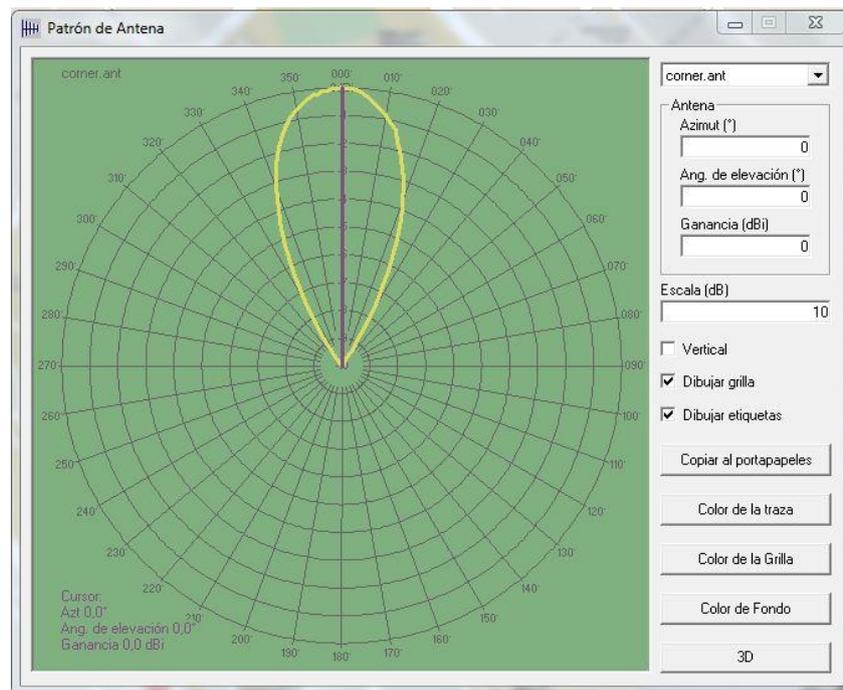


Figura 19: Diagrama de radiación de una antena directiva contenida en Radio Mobile.

Algunos de los parámetros configurables en este apartado, serán modificar el azimut y la elevación de la antena, la ganancia en la representación, cambiar la polarización de la antena o incluso eliminar elementos en el dibujado del diagrama (grilla, colores, etiquetas, 3D, etc).

3.7. Enlace radio y diagramas de cobertura

Para terminar de hacer más sencilla la comprensión del proyecto mediante este pequeño tutorial, es importante mencionar otras dos posibilidades que ofrece el programa.

En el primero de los casos, la comprobación de que un enlace radio propuesto por el usuario, por ejemplo entre nodo y terminal, sea efectivo.

Para ello, se utiliza la herramienta ‘Enlace de radio’, que se muestra en la figura 20.

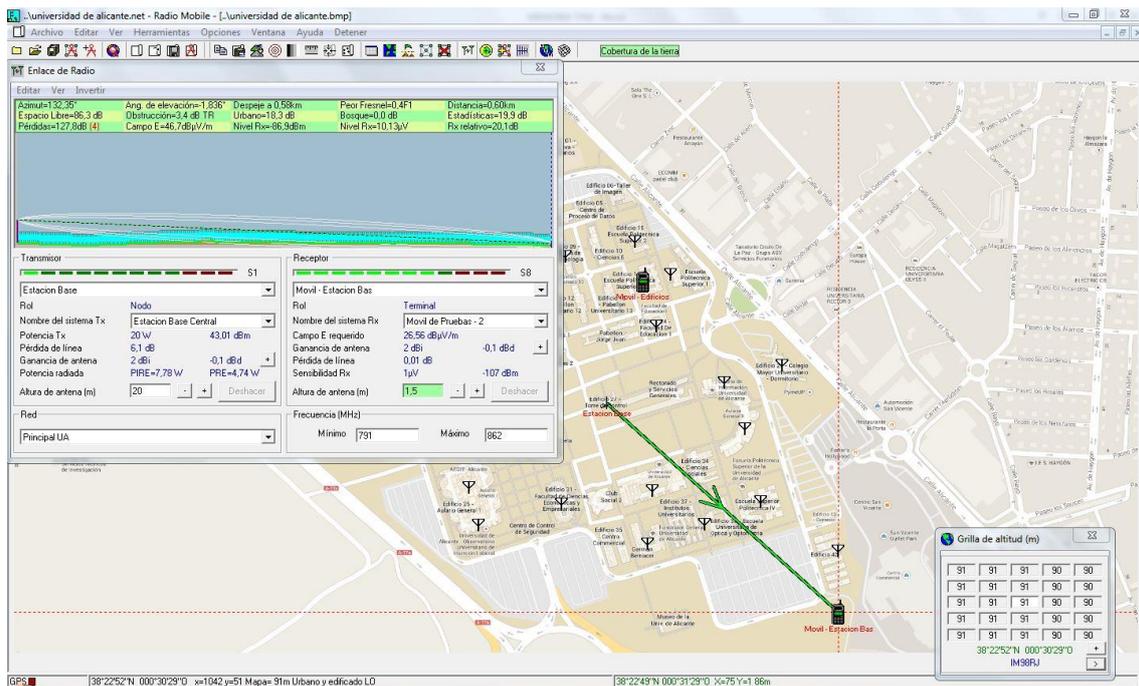


Figura 20: Enlace radio – perfil del enlace

La herramienta permite seleccionar entre que dos elementos definidos de la red se desea establecer el enlace, y si es un enlace viable.

Para ello, se permite la modificación de parámetros como la altura y la frecuencia a la que trabaja la red, del mismo modo que nos muestra la red a la que pertenecen ambas unidades.

En concreto, en la Figura 20, se muestra el perfil del enlace entre un nodo y un terminal propuestos, donde nos muestra toda la información referente al enlace.

Por otra parte, también se permite la herramienta de ‘distribución del enlace’, mostrada en la figura 21, en la que se mostrarán datos de interés como el umbral del receptor, umbral estadístico requerido, margen de éxito o la señal promedio.

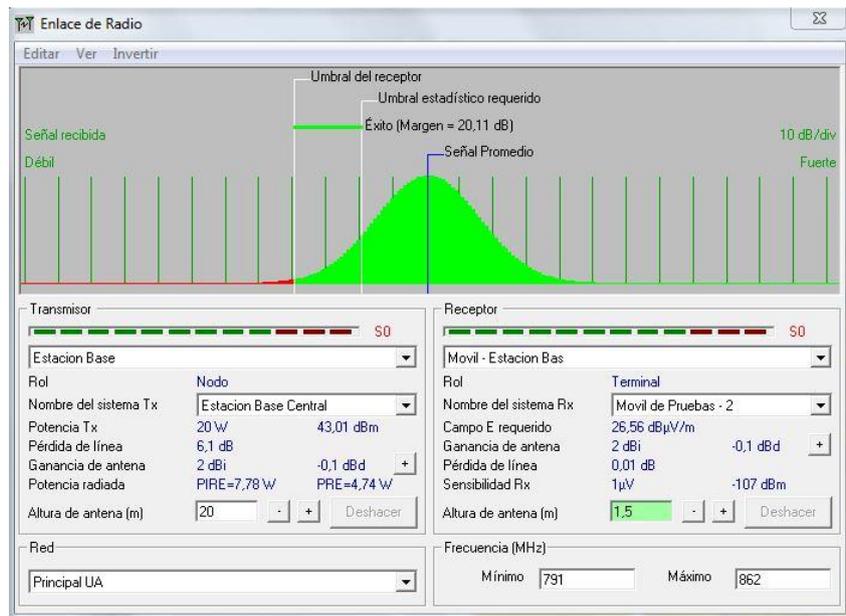


Figura 21: Enlace de radio – Distribución

Por último, es importante mencionar una herramienta bastante útil que ofrece el programa, con ella se podrán crear diagramas de cobertura para estimar el rango al que puede operar un nodo, así como la pérdida (en dBm) que se produce con la distancia.

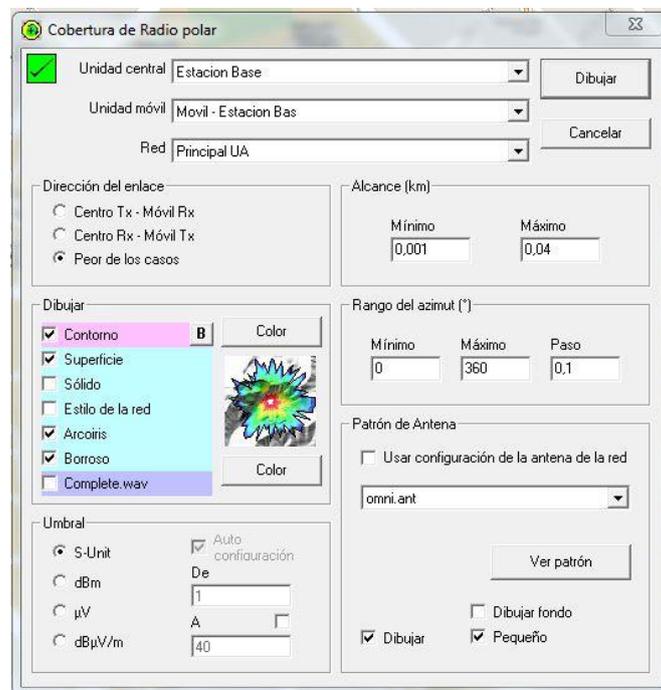


Figura 22: Herramienta cobertura de radio polar

Como se puede apreciar en la figura 22, para el dibujado del diagrama de cobertura sobre el mapa de emplazamiento que previamente se ha descrito, se podrá seleccionar la unidad de cobertura central (sobre que nodo se trabaja), cuál será la unidad terminal y finalmente a que red definida pertenecen.

Además de ello, se puede seleccionar la dirección del enlace radio, a elegir entre en peor de los casos, de transmisor a receptor o viceversa.

También se permitirá cambiar el patrón de la antena predefinido, así como la precisión con la que se desea trabajar ya sea en el apartado de ‘Rango de Azimut’ como en el “Alcance de la cobertura”.

4. Configuración de parámetros escogida

En este capítulo, como anteriormente quedó descrito, se establecerán los distintos parámetros que se han seleccionado para el desarrollo del proyecto, a conocer, emplazamiento, parámetros seleccionados para el despliegue y dimensionado de la red, y capacidades de cada una de las ubicaciones.

4.1. Escenario

Para el despliegue de la red, se ha seleccionado la zona de la Universidad de Alicante.

Este emplazamiento se encuentra localizado en el municipio de San Vicente del Raspeig, perteneciente a la provincia de Alicante, cuya dirección se ubica en Carretera San Vicente del Raspeig s/n.

Si bien es cierto que el área que engloba es relativamente pequeña para el despliegue de la red, es interesante la propuesta realizada ya que se trabajará el despliegue de la red en una zona que es ampliamente conocida por el autor del proyecto e interesante para la propia entidad, ya que supondría una renovación de los sistemas existentes para cobertura de datos que proporciona la misma a los miembros de la misma.

Es importante remarcar, que este proyecto no deja de ser una aproximación lo más veraz y eficiente posible a lo que significaría el despliegue y dimensionado de una red LTE. Para realizarlo de manera más realista, sería necesaria la utilización de programas con licencia autorizada y de carácter profesional para el despliegue y dimensionado de la propia red a diseñar, así como elementos de vital importancia como mapas de clutter, donde con plena certeza se trabajaría con mayores resoluciones de terreno y elevación exacta de los edificios. Del mismo modo que sería necesarias realizar pruebas de campo con material profesional para establecer las posibles interferencias cercanas a la propia red para poderse mitigar de la mejor manera posible.

Habiéndose aclarado dicha información, el emplazamiento de la propia red queda reflejado en la Figura 23.

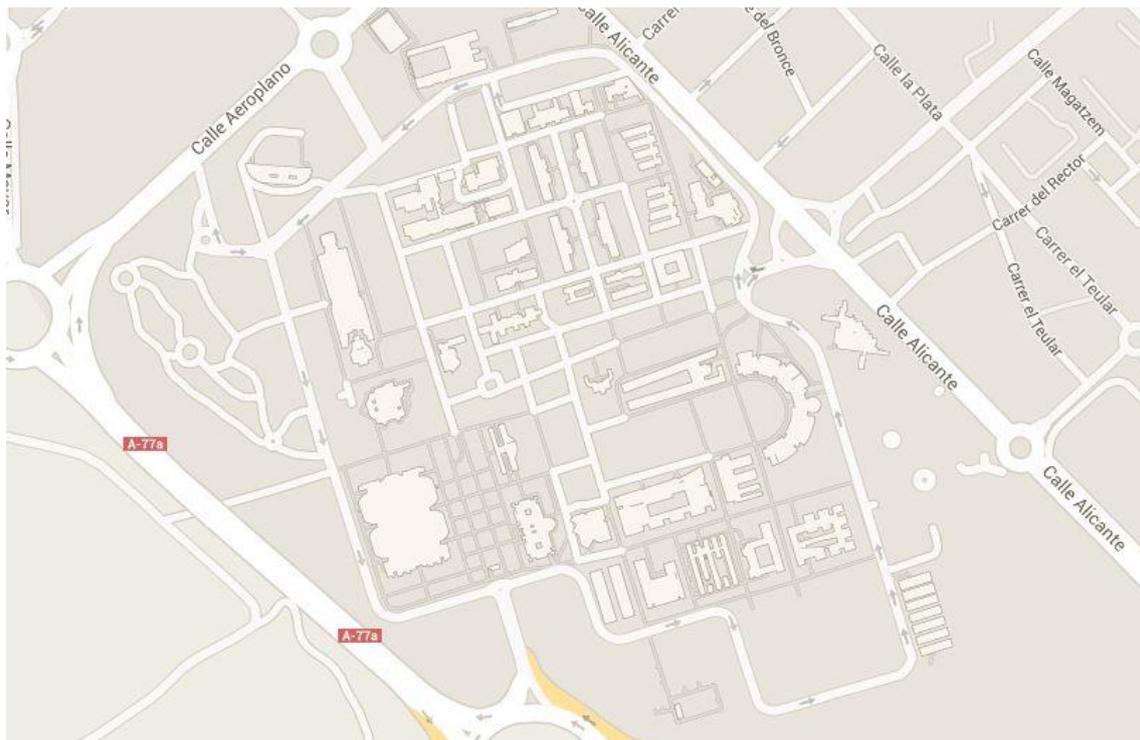


Figura 23: Mapa de emplazamiento de la Universidad de Alicante

4.2. Elección de los parámetros de la red en Radio Mobile

Como se ha comentado en el capítulo anterior (Capítulo 3: Software de diseño), para el desarrollo de la red con el software “Radio Mobile”, al igual que para el diseño de cualquier red, es necesario fijar una serie de parámetros que determinarán el funcionamiento de la misma.

4.2.1. Elección del modelo de propagación

Un modelo de propagación se define a grosso modo, como un conjunto de expresiones matemáticas y algoritmos usados para representar las características radio de propagación de un ambiente concreto.

Para el desarrollo de nuestra red se ha utilizado el modelo que proporcionaba el programa, concretamente ITM (Irregular Terrain Model) o modelo de Longley-Rice.

Este modelo permite el cálculo de la atenuación de un enlace que oscila entre frecuencias de 20MHz y 20 GHz.

También, trabaja predicciones realizadas sobre un área preestablecida, o predicciones de pérdidas en un enlace punto a punto.

Además, este modelo tiene en cuenta el perfil del terreno así como las alturas efectivas de las antenas con el fin de calcular la pérdida de trayectoria.

4.2.2. Parámetros seleccionados en el diseño de la red LTE

En primera instancia, hay que contextualizar que el proyecto, como planificación de la red queda repartido en tres tipos de red o “áreas” distintas de trabajo.

A saber, una primera red que será llamada “Principal UA”.

Esta red será la encargada de realizar las conexiones con terminales de usuarios viandantes. También tendrá la tarea de respaldar las ubicaciones donde no se presta servicio por parte del resto de las antenas propuestas.

A grandes rasgos se utilizará para prestar servicio en el radio completo de todo el emplazamiento de trabajo.

Los parámetros configurados para esta primera red, quedan reflejados en la Figura 24.

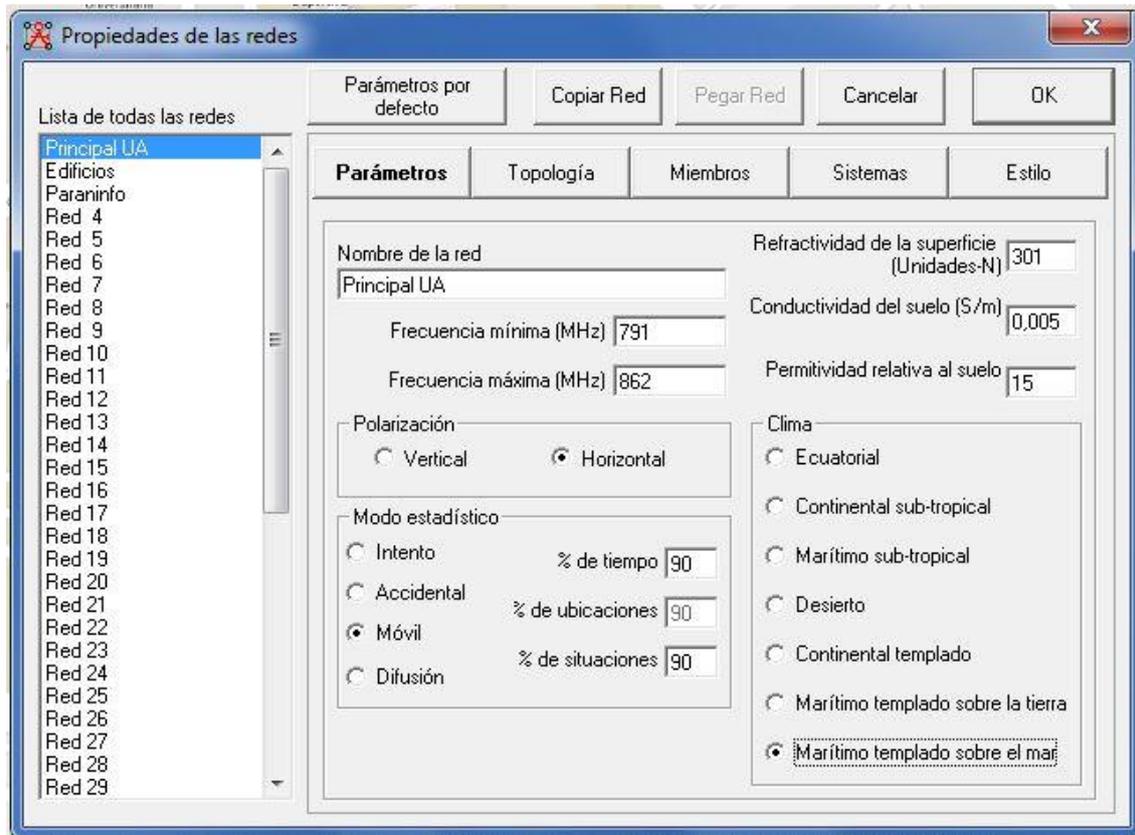


Figura 24: Parámetros configurados para red “Principal UA”

Como se puede observar, en primer lugar se ha seleccionado para este tipo de red la banda de frecuencias comprendida entre los 791 - 862 MHz. (791-821 MHz para DL y 832-862 MHz para UL).

La elección de esta banda de frecuencias para esta red no es otra, que la gran cobertura que presta esta banda.

Es importante especificar, que esta banda (Dividendo Digital), está actualmente siendo utilizada para radio difusión de televisión. Sin embargo, se estima que para el despliegue material de la red, dichas frecuencias en uso para TDT (Televisión Digital Terrestre) habrán sido trasladadas a frecuencias bajas, y estará operativa para telefonía de cuarta generación.

Otros de los parámetros que se han seleccionado es el clima de la región. Ya que no se disponía la opción de selección de clima Mediterráneo como tal, se ha seleccionado el

más similar a las características de este clima. En este caso, se ha seleccionado “clima marítimo templado sobre el mar”.

Por otro lado, como modelo estadístico para el desarrollo de la red se ha seleccionado un modelo estadístico móvil, donde como mínimo el 90% del tiempo, ubicaciones y situaciones el enlace nodo-terminal tiene que estar, necesariamente, operativo.

En cuanto a la polarización que utilizará la única antena perteneciente a esta red será horizontal.

Como topología de la red se ha seleccionado una red de datos (nodo/terminal). Donde cada uno de los ENb propuestos se corresponderá con cada uno de los nodos del programa y, cada uno de los terminales se corresponderá con cada uno de los usuarios de la red.

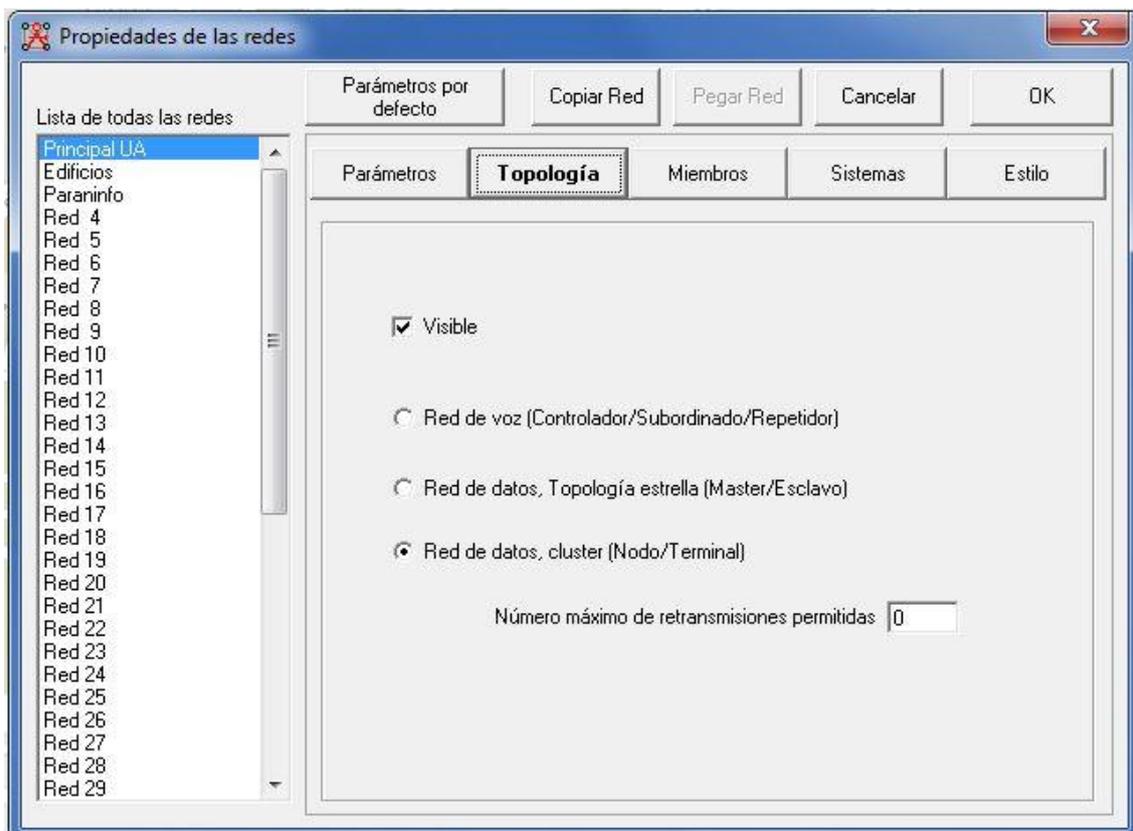


Figura 25: Red de datos (Nodo/Terminal)

Los miembros de que operaran en esta red, serán únicamente dos.

En primer lugar la “Estación Base”, que trabajará para todo el campus, en la banda que se ha mencionado anteriormente y con una altura de 20 metros.

Por último, el segundo elemento que opera en esta red, es el terminal móvil asociado a las pruebas de esta primera red.

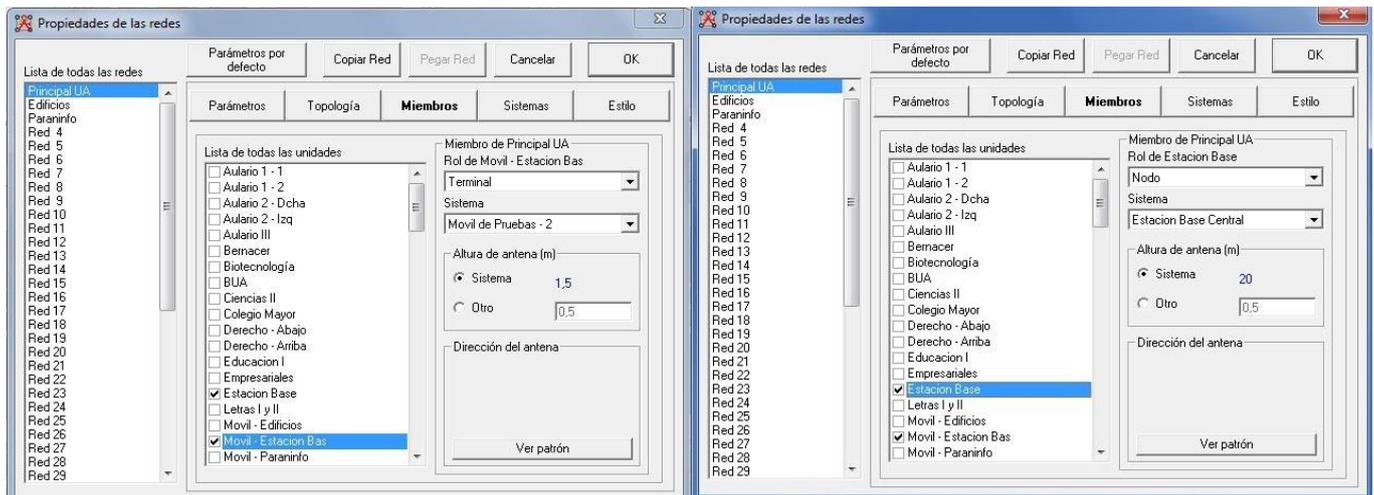


Figura 26: Miembros de la red “Principal UA”

En cuanto a los sistemas que se describen para esta red, se encuentran la “Estación Base Central” y “Móvil de pruebas 2”.

Para “Estación Base Central” se ha seleccionado una potencia de transmisión de 20 Wats.

Se ha escogido este parámetro con el fin de prestar cobertura a todo el diámetro del emplazamiento propuesto y con el fin de poder soportar un mayor número de usuarios.

También, se ha seleccionado una altura de 20 metros, sin contar la altura del edificio (aproximadamente 7 y 10 m). De este modo la antena quedaría por encima de cualquier edificio de todo el emplazamiento propuesto, siendo el elemento de mayor altitud del mismo. Al mismo tiempo, el emplazamiento del eNB se situaría en la última planta del edificio “Torre de Control” ubicado aproximadamente la mitad del terreno en el que se desea prestar servicio.

Se han preestablecido las pérdidas totales de la línea (cable, conectores, cavidades), así como las pérdidas adicionales por cable (si la altura de la antena difiere).

Por último el tipo de antena que se ha seleccionado para este nodo en particular ha sido la utilización de una antena omnidireccional.

En la figura 27, se puede observar el diagrama de radiación escogido para esta antena.

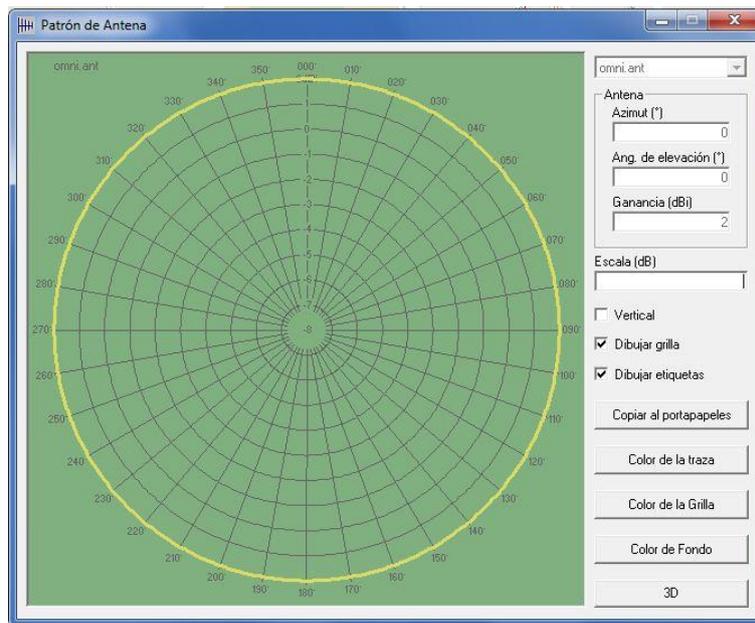


Figura 27: Diagrama de radiación de una antena omnidireccional

Cabe recordar, que el objetivo de este nodo es llegar a todas las zonas que no son cubiertas por el resto de nodos, además de llegar al mayor número de usuarios. Por ello no se selecciona una antena directiva sino, una antena que radie igual en todas sus direcciones.

En la Figura 28, queda reflejada la configuración de este nodo.

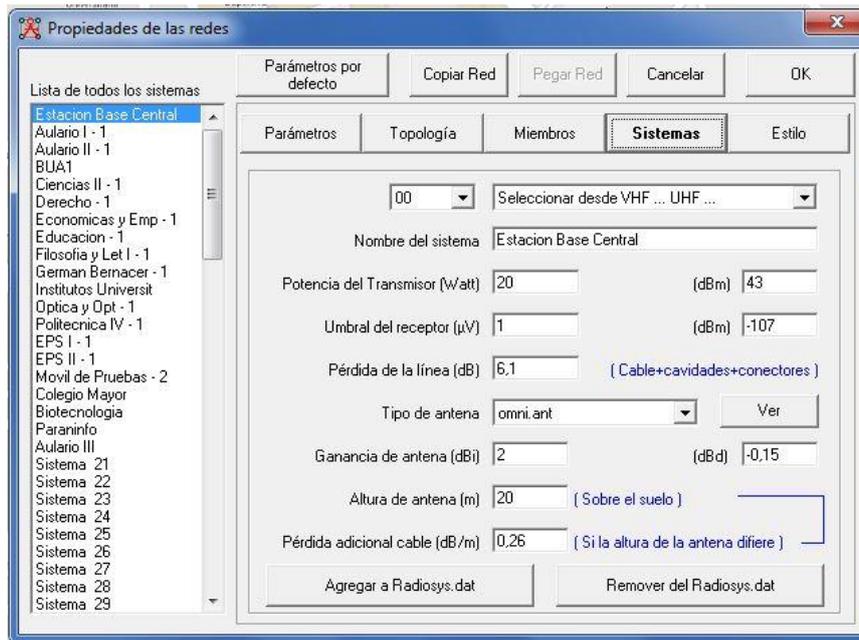


Figura 28: Parámetros establecidos para “Estación Base Central”

En el otro lado de la balanza, está la configuración del terminal asociado a las pruebas de este nodo.

Se destaca que la configuración de los terminales es inherente al nodo al que se asocian en este proyecto, es decir, la configuración será estrictamente la misma, con la salvedad de definirse tres tipos de terminales con la misma configuración, con el fin de operar en la frecuencia pertinente para las pruebas de cada una de las redes diseñadas.

La configuración de los terminales atenderá a una potencia de transmisión de 0,25 Watts.

Para GSM, se trabajaba con potencias de un Watt, sin embargo, en la actualidad en sistemas de cuarta generación, se abandonó esta técnica y se emite cerca de los 0,25 W de potencia.

Las pérdidas de la línea por cables y conectores en el caso del terminal serán mínimas, todos los elementos están contenidos en un dispositivo de reducido tamaño, por ello se ha optado por darle un valor de 0,01dB.

La altura de la antena se ha situado a 1.5 metros, que se estima por defecto como altura media de un ser humano para realización de cálculos.

Finalmente, para los terminales se ha seleccionado nuevamente, una antena de tipo omnidireccional. La justificación es sencilla, es necesario tener una comunicación en todo momento, no importa la ubicación del nodo que nos preste servicio. Por este motivo se descarta cualquier práctica de uso de una antena directiva para dispositivos móviles.

La antena radiará del mismo modo en todas sus direcciones como se ha observado en la figura 27.

En el caso de los terminales la configuración total queda reflejada en la Figura 29.

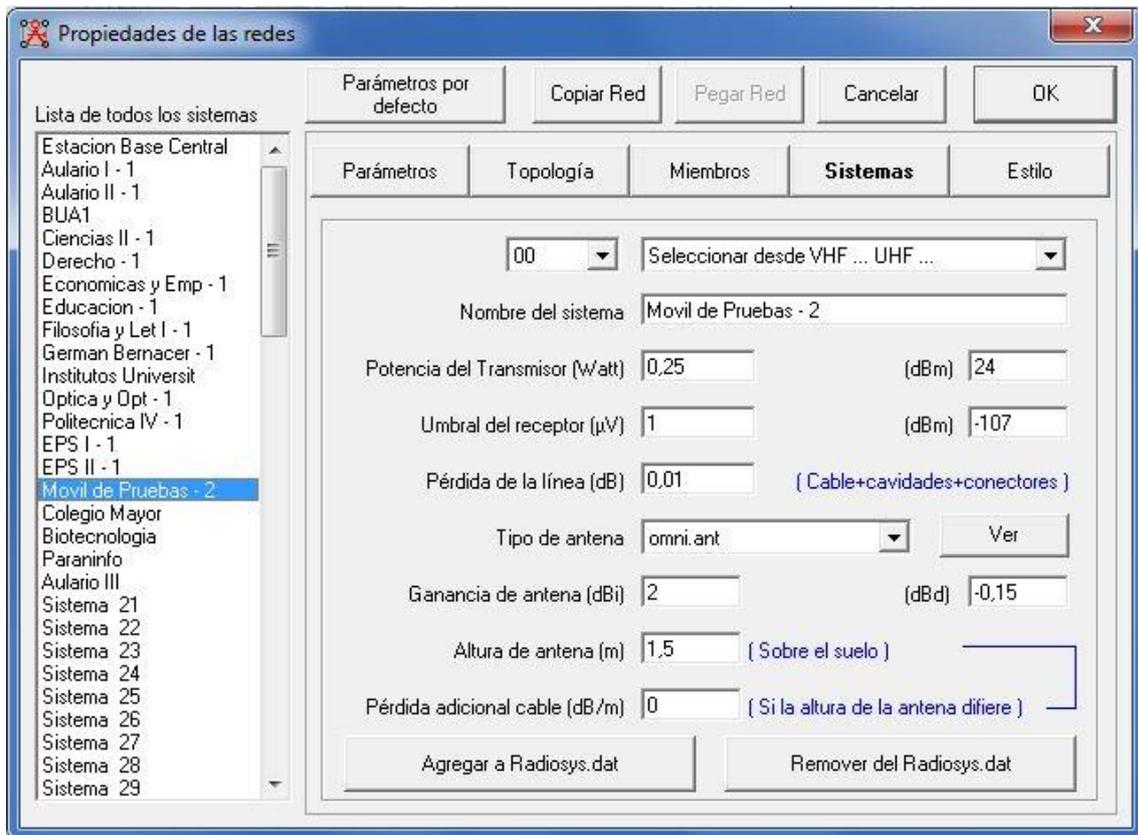


Figura 29: Configuración estándar de los terminales

La segunda red diseñada mediante el mismo software, atiende al nombre de “Edificios”.

Esta red se encarga de prestar servicio a cada uno de los edificios, en particular, que se estima que recibirán gran afluencia de tráfico.

Para ello, se han distribuido una serie de nodos a lo largo de todo el campus de la universidad.

El objetivo de esta red, como se ha comentado en párrafos anteriores, será prestar servicio particular a cada uno de los emplazamientos donde se encuentren situados los nodos. De este modo se conseguirá descongestionar la primera de las redes descritas (recuérdese que trabaja la banda de 800 MHz).

Los parámetros para este tipo de red son muy similares a los seleccionados para la primera de las redes, pero en este caso se trabajara en otra banda de frecuencias.

En la figura 30, se puede observar de manera gráfica cuales han sido los parámetros que se han seleccionado.

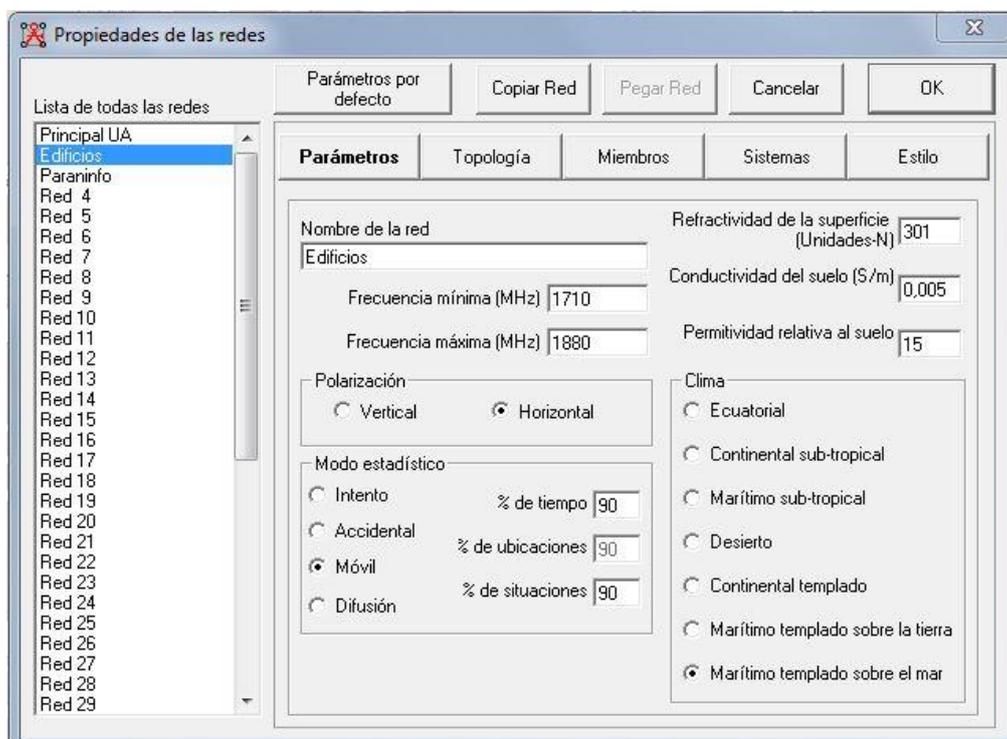


Figura 30: Configuración de parámetros de la red “Edificios”

Como se puede observar, la configuración es prácticamente idéntica, pero en este caso se ha optado por trabajar en una banda de frecuencia menos congestionada a la del “Dividendo Digital” (800 MHz).

Por ello, se trabaja en la banda de 1800 MHz, donde el intervalo de bajada se corresponderá con 1805-1880 MHz (DL) y el de subida con 1710-1785 MHz (UL).

La función de esta banda de frecuencias es, en primer lugar, la descongestión del espectro radioeléctrico.

Trabajar en la banda de 1800 MHz, nos permite evitar patrones interferentes por la cercanía de antenas cercanas, que valga la redundancia, interfieren con los nodos propuestos.

Del mismo modo, estos nodos operaran en el rango de operación de un edificio y alrededor inmediatamente cercano, alejados de este la señal se debilita por completo.

En lo referente al tipo de topología de la red, se utiliza el mismo tipo de topología de red establecido para la anterior red descrita. Topología de red de datos (Nodo/Terminal).

En cuanto a los miembros y sistemas de esta red, con el fin de redactar una memoria menos densa (quizás esta ha sido la red a describir más ardua y extensa) y hacer más liviana su lectura, se limitará a mostrar un ejemplo solamente con la configuración de un nodo, no de todos y cada uno de los que componen esta red en su totalidad.

Aclarado lo anterior, los edificios que prestarán servicio en particular serán los siguientes:

- Aulario I
- Aulario II
- Aulario III
- Edificio Germán Bernacer
- Biblioteca General Universitaria
- Edificio de Ciencias II
- Facultad de derecho
- Facultad de Ciencias económicas y Empresariales
- Facultad de Filosofía y Letras I

- Facultad de Filosofía y Letras II
- Escuela Universitaria de Óptica y optometría
- Politécnica I
- Politécnica II
- Politécnica III
- Politécnica IV

En la Figura 31, se pueden apreciar algunos de los miembros que pertenecen a esta red, y que todos y cada uno de ellos, se han establecidos como miembros nodo con sus alturas y tipo de antena previamente seleccionados, salvo el miembro terminal que se corresponde con el móvil asociado a pruebas para la red edificios.

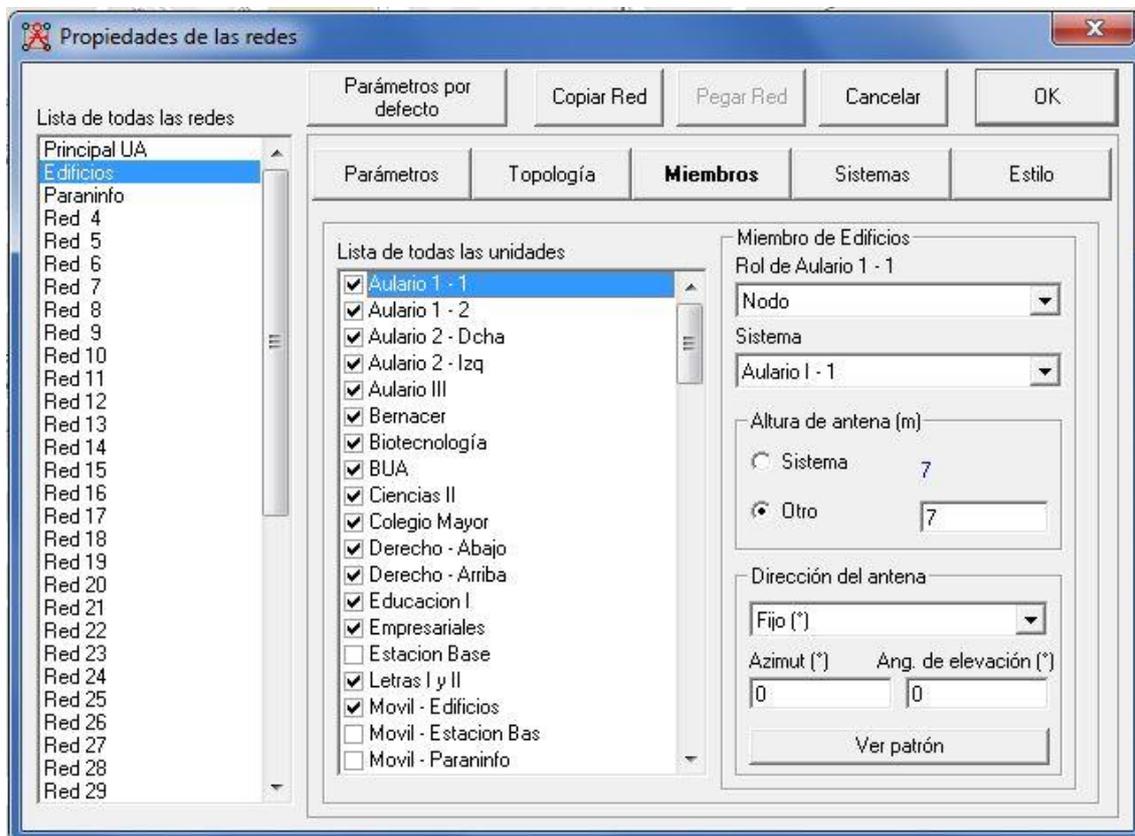


Figura 31: Miembros de la red Edificios

En esta red, cada uno de los nodos puede contener parámetros que difieren unos de otros, sin embargo, la configuración a grandes rasgos es bastante similar.

En la figura 32 y 33 se muestran dos tipos distintos de configuración de parámetros para uno de los nodos situados en el Aulario I y otro situado en la Facultad de Derecho.

La configuración de ambos es muy similar, ya que se predeterminan alturas de siete metros para emplazamiento de las antenas y por lo tanto mismas pérdidas por enlace de línea.

Las alturas son estimadas en función de las plantas de cada uno de los edificios. Por otro lado el cálculo de las pérdidas influirá en torno a los metros de cable son escogidos para la canalización que se utilizará Nodo-Rack (en cada uno de los edificios).

Para este caso en concreto, se estiman las mismas pérdidas y la misma altura.

En cuanto a la potencia fijada, se predeterminan seis Watts de potencia de transmisor, ya que se pretende captar el mayor número de usuarios y como posteriormente se reflejará en los cálculos de capacidad en este mismo capítulo, ambos emplazamientos tienen demasiado tránsito (tráfico) de usuarios.

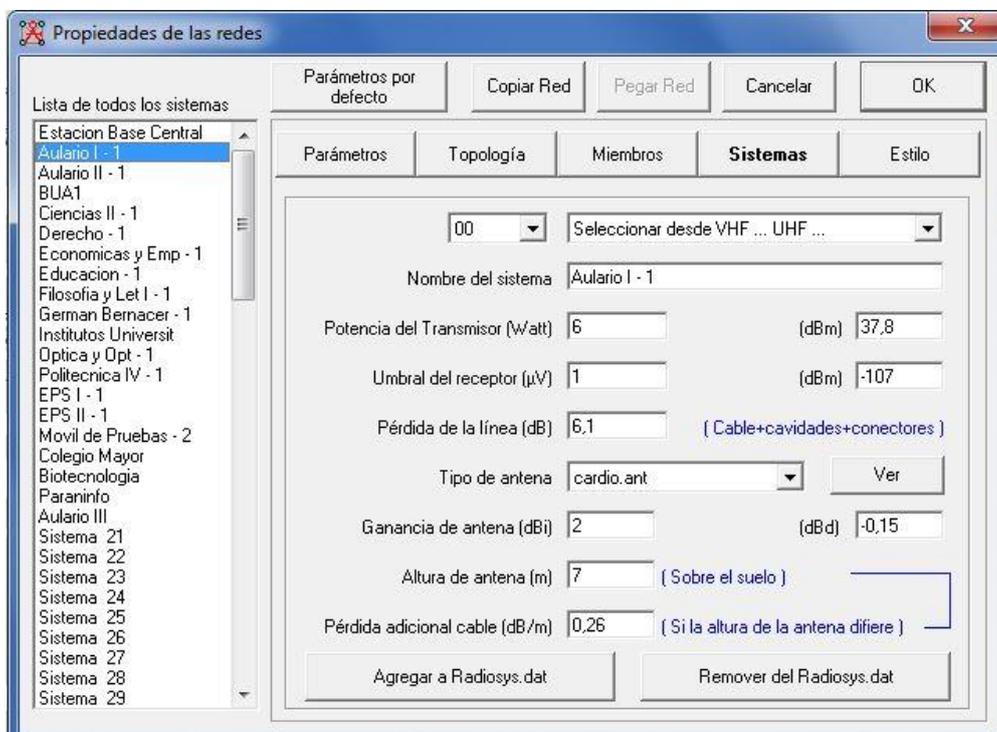


Figura 32: Parámetros de uno de los nodos en Aulario I

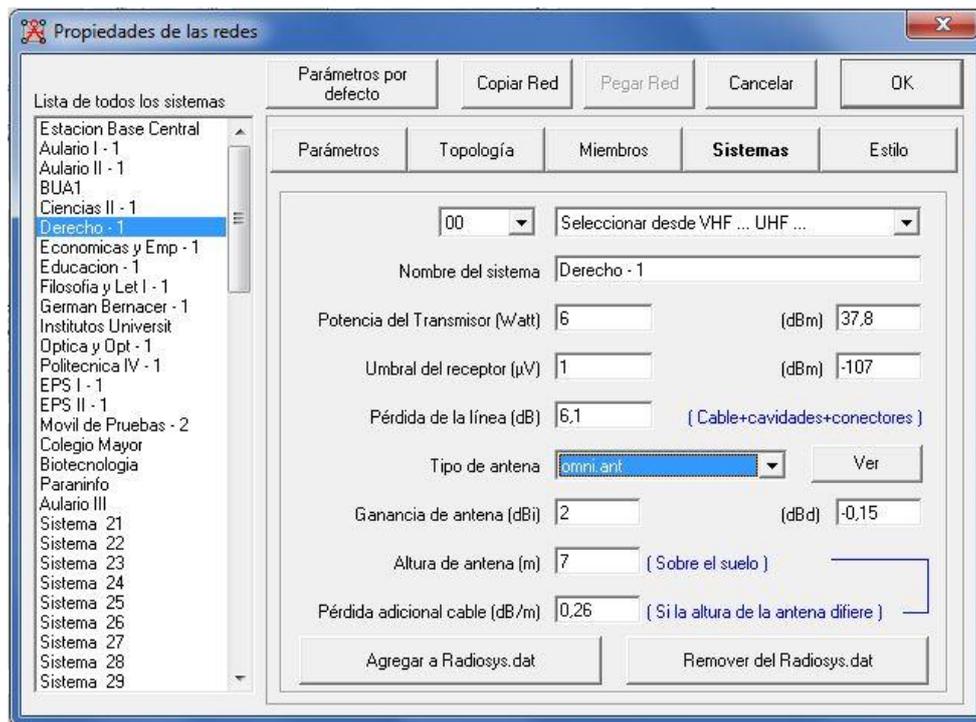


Figura 33: Parámetros de uno de los nodos en Facultad de Derecho

Uno de los elementos que difieren entre los dos nodos, es la elección del tipo de antena.

En el primero de los casos el tipo de antena que se selecciona, es una antena de tipo “cardio”.

La motivación para la elección de esta antena quedará reflejada en el capítulo cinco.

Esta antena, difiere de la omnidireccional en cuanto a que no radia igual para todas sus direcciones, sino que atiende a un diagrama de radiación (escala de 10 dB, mínima permitida por el Software), como el que se muestra en la figura 34 para polarización horizontal.

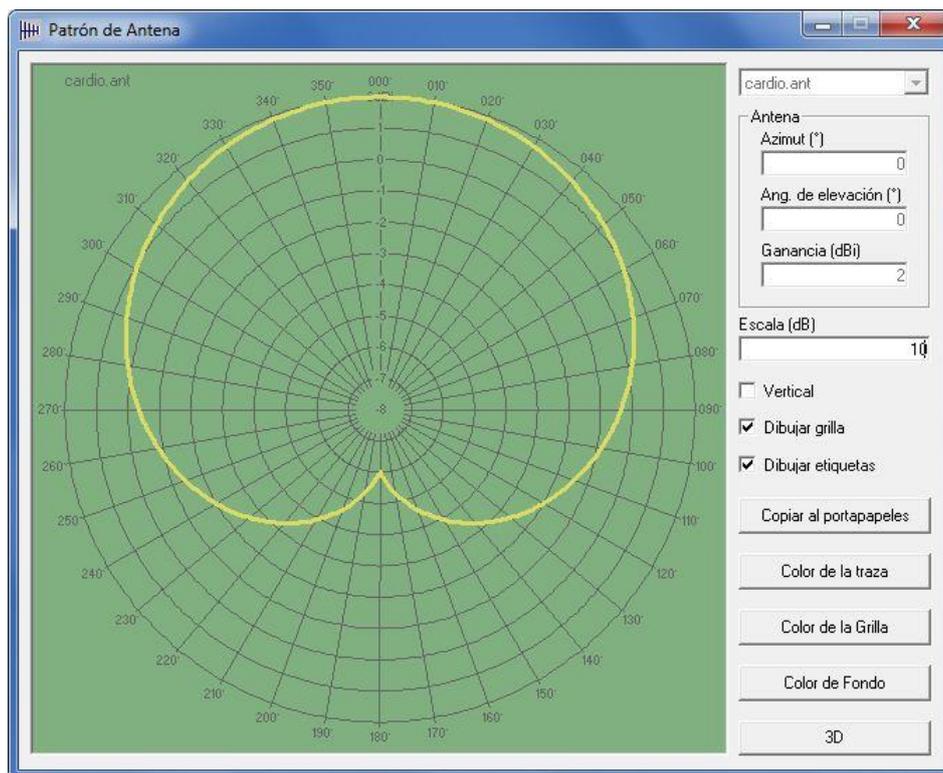


Figura 34: Diagrama de radiación cardiode

En el segundo de los casos, el nodo de la facultad de derecho, quedará cubierto con una antena de tipo omnidireccional, bajo la misma configuración que se ha utilizado anteriormente.

Para finalizar, la red “Edificios” tendrá su propio terminal para el testeo de la misma en la banda de frecuencias que opera la misma, pero bajo la misma configuración que anteriormente se ha especificado.

La última de las redes diseñadas, es una red propia para la localización del paraninfo.

La motivación que ha llevado a cabo el desarrollo de esta red, no ha sido otra que la de operar con un gran número de usuarios para un emplazamiento concreto, durante un número limitado de tiempo.

Es importante contextualizar esta red y para ello, es necesario conocer que el paraninfo es una de las salas con más aforo de la Universidad de Alicante.

Posee capacidad para aproximadamente 900-1000 personas. Se sitúa en la Facultad de derecho y generalmente es utilizado para actos concretos, como por ejemplo, graduaciones.

Bajo estas condiciones es diseñada esta tercera red y, por este motivo se trabajara con la tercera banda de frecuencias que permite el sistema LTE, es decir, en este caso se trabajará en la banda de 2600 MHz. Concretamente se utiliza 2620-2690 MHz para el enlace de bajada (DL) y 2500-2570 para el enlace de subida (UL).

Es una buena práctica la utilización de esta banda de frecuencias para el trabajo con micro y femtocélulas, por lo que para el trabajo dentro de un recinto relativamente pequeño es ideal ya que no registrará patrones interferentes de las antenas cercanas.

También es importante recordar que, el espectro radioeléctrico es de dominio público y cuanto más bajas son las frecuencias a utilizar más restrictivas son en cuanto a su utilización.

En cuanto a la red apodada “Paraninfo” sus parámetros de configuración se reflejan bajo la figura 35.

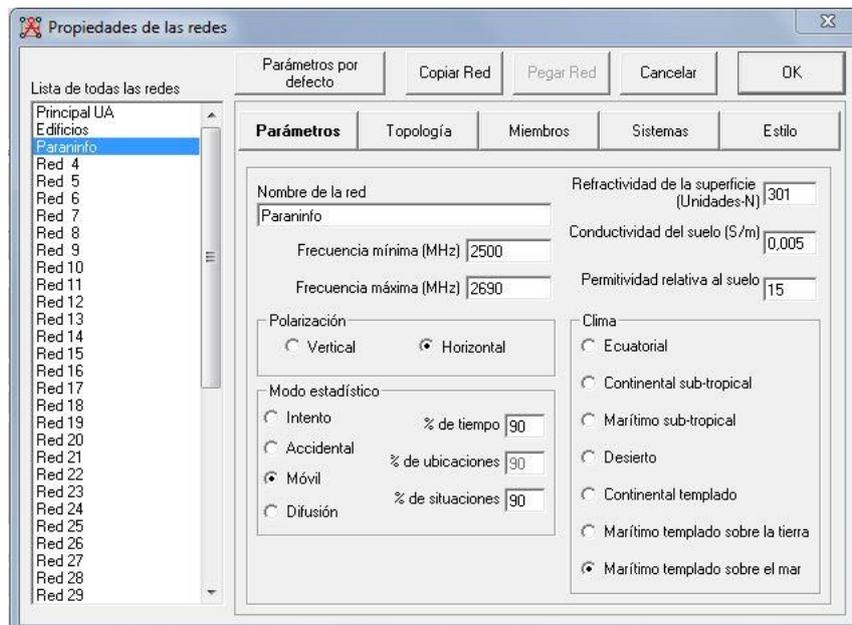


Figura 35: Parámetros de la red “Paraninfo”

En cuanto a la topología de la red, se vale del mismo esquema que las que anteriormente se han mencionado, a recordar, Red Principal UA y Red Edificios (topología Red de datos Nodo/Termina).

Los únicos dos miembros que pertenecen a esta red serán el nodo paraninfo y el móvil destinado a las pruebas que se realizarán para el correcto funcionamiento del mismo.

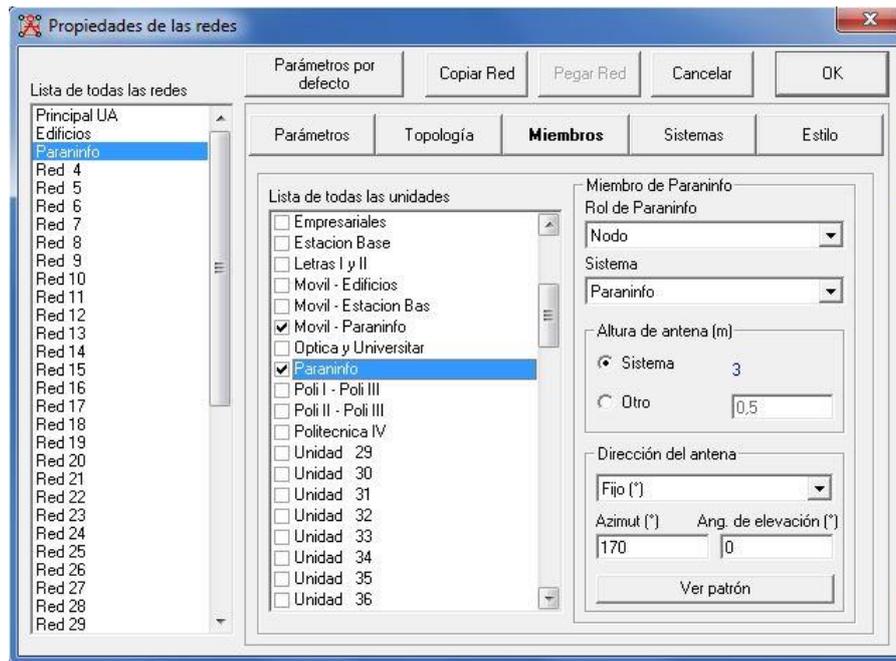


Figura 36: Miembros de la red Paraninfo

En lo referente a la configuración del nodo, en la figura 37 se refleja la configuración pormenorizado del mismo.

En concreto a destacar, un cambio en la altura del emplazamiento de la antena (cinco metros) y también en la potencia de transmisor de la misma (cuatro Wattios).

Además el cambio más significativo de este nodo, es la utilización de una antena de tipo “córner” (apodada así en nuestro software), que se refiere a una antena directiva para alcanzar a toda la sala, radiando hacia la dirección que queda preestablecida.

En la figura 38, se muestra un diagrama de radiación de este tipo de antena, así como la dirección a la que apuntaría dicha antena.

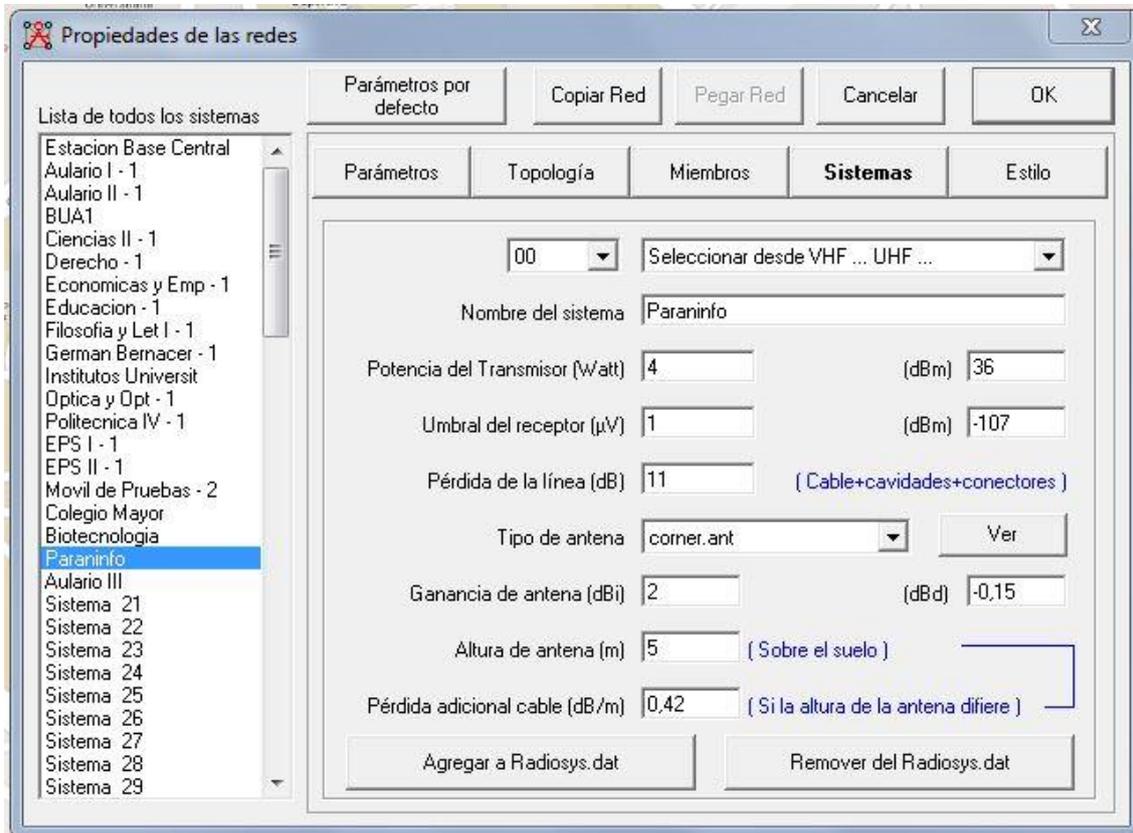


Figura 37: Parámetros del sistema Paraninfo

Para finalizar, se vuelve a recordar que los parámetros de configuración del terminal que se utiliza para el testeo del correcto funcionamiento de la red diseñada, atiende a los mismos parámetros que los que se han mencionado en párrafos anteriores.

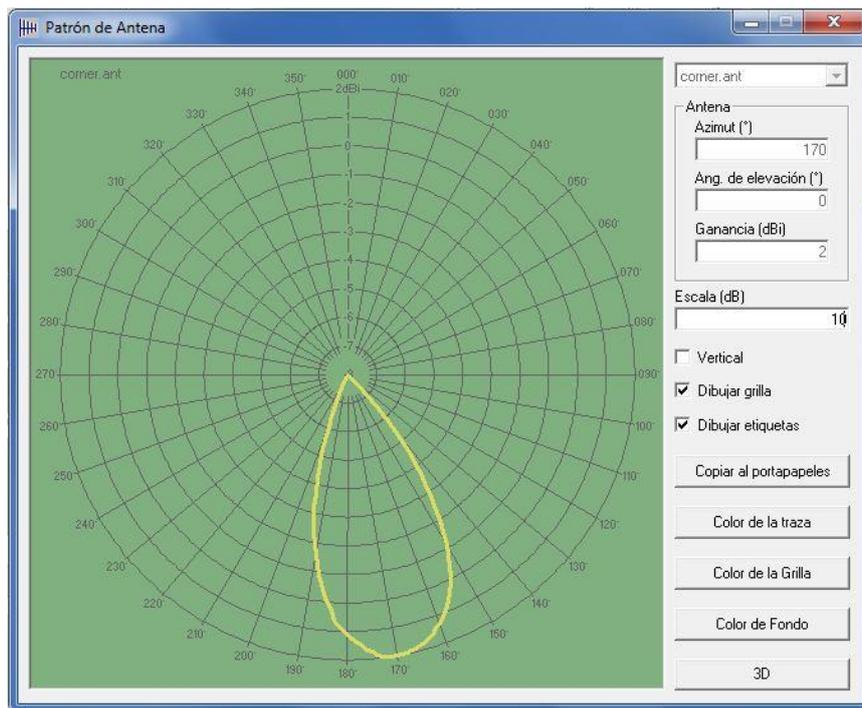


Figura 38: Diagrama de radiación Horizontal de la antena directiva “corner”

A modo de recordatorio, se realiza una tabla para la comprensión de las diferentes bandas de frecuencia utilizadas para cada uno de los emplazamientos.

Frecuencia (MHz)	Banda LTE	Frecuencias de subida (MHz)	Frecuencias de Bajada (MHz)	Red del proyecto	Utilización en la actualidad
800	20	832-862	791-821	Principal UA	Dividendo digital. Actualmente TDT. Posterior LTE
1800	3	1710-1785	1805-1880	Edificios	Telefonía 2G/GSM y 4G/LTE
2600	7	2500-2570	2620-2690	Paraninfo	Telefonía 4G/LTE

4.3. Cálculos de capacidad

En este apartado, se mostrará el estudio que se ha realizado en torno a la capacidad permitida por cada una de las estaciones ubicadas a lo largo de todo el campus.

Se recuerda que uno de los mayores problemas de este proyecto no es controlar la cobertura de cada una de las estaciones base para que no se produzca interferencias con los nodos colindantes, ya que se realiza un reutilización de las frecuencias, lo que a priori descarta dicho problema, sino controlar la capacidad de cada una de las estaciones.

Este problema es muy importante que se sea estudiado previamente al despliegue de la red.

La justificación es sencilla, y es que es necesario saber cuántos usuarios son capaces de conectarse a cada uno de los nodos sin que se produzca una sobrecarga en la red. Este estudio proporcionara una mejor experiencia de usuario en la red y permitirá ofrecer una mayor calidad de servicio.

Para mitigar este problema, el estudio se realiza mediante una serie de fórmulas matemáticas y partiendo de unos parámetros fijos, con el fin de obtener cuantos usuarios soportara cada uno de los nodos. Al mismo tiempo, este dato proporcionara cuantos eNB se han de desplegar para hacer frente al número de usuarios a cubrir en cada zona.

Los resultados que se obtienen para cada uno de los emplazamientos, donde se situará cada nodo de la red de edificios, se reflejan bajo las tablas que se observan a continuación (el estudio trabaja el mismo proceso matemático para cada una de las zonas propuestas).

Aulario II

Ancho de Banda:	15	MHz	
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	28,7115	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,003504822	GB/s	
Referencia a la BH:	12,617	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	6,309	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	42,06	GB/h	
Tráfico en un mes:	1261,74	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	3785,20752	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	1,9	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	664		

Cálculos inversos			
Ancho de Banda:	14,99838508	MHz	
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	28,70840889	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,003504444	GB/s	
Referencia a la BH:	12,616	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	6,308	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	42,05	GB/h	
Tráfico en un mes:	1261,60	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	3784,8	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	1,9	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	664		
Aforo Aproximado	4500	Personas	
Conectados simultáneamente 60%	2700	Personas	
Número de eNB	4		
Número de eNB (inverso)	4		
Personas por eNB	675		
posibles eNB	4,06626506		

Como se observa en la anterior tabla, se realizan dos tipos de cálculos, el primero de ellos establece cuantos usuarios pueden estar operativos en un mismo eNB bajo una determinada eficiencia espectral, un determinado ancho de banda y un determinado tráfico por usuario al mes.

A partir de estos datos, se obtendrán datos de interés como la capacidad de la celda (cuantos megas por segundo puede operar la red), carga media en la Busy Hour (BH) o el tráfico que se produce bajo esas condiciones a lo largo de un mes.

Todos estos datos son necesarios para poder calcular a través de ellos el número de usuarios que puede gestionar cada uno de los eNB de un emplazamiento.

Por otra parte, esta serie de procesos matemáticos nos determinan como se está comentando, el número de usuarios máximo que puede gestionar un nodo de manera eficiente.

Para no sobrecargar la red, llevando cada uno de los eNB a su límite, es interesante redistribuir el tráfico entre más de un eNB por emplazamiento (siempre en función del aforo del recinto a tratar, el tráfico que exista y el uso que se haga del mismo), para tener un margen más amplio de operación.

Por este motivo, se realiza la tabla de cálculos inversos.

Partiendo de los mismos parámetros de eficiencia espectral, tráfico por usuario al mes y en este caso número de usuarios que se desea que soporte en cada uno de los eNB, se obtendrá si excede el margen de ancho de banda que establecíamos en primera instancia y cuantos eNB se deberán distribuir por emplazamiento.

En el caso del primero de los emplazamientos, el Aulario II, se estima que tiene un aforo aproximado de unas 4500 personas.

Considerando que tan solo el 60% de los usuarios estarán conectados de manera simultánea, trabajando con un ancho de banda de 15 MHz en cada uno de los eNB y con un tráfico por usuario de 1,9 GB/mes, cada eNB podrá soportar hasta 664 usuarios.

Ubicando cuatro eNBs en este recinto se consigue bajo las mismas condiciones, repartir el tráfico de cada uno de los eNB.

De este modo, cada uno de los eNB trabajará con 664 usuarios.

El proceso para cada uno de los emplazamientos, sigue el mismo modelo que se refleja en las siguientes tablas.

Escuela Universitaria de Óptica y Optometría

Ancho de Banda:	10	MHz	
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	19,141	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00233655	GB/s	
Referencia a la BH:	8,412	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	4,206	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	28,04	GB/h	
Tráfico en un mes:	841,16	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	2523,47168	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	420		
Cálculos inversos			
Ancho de Banda:	6,56238789	MHz	
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	12,5610667	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00153333	GB/s	
Referencia a la BH:	5,520	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	2,760	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	18,40	GB/h	
Tráfico en un mes:	552,00	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1656	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	276		
Aforo Aproximado	920	Personas	
Conectados simultáneamente 60%	552	Personas	
Número de eNB	2		
Número de eNB (inverso)	2		
Personas por eNB	276		

Para esta localización, se trabajará un ancho de banda de 10 MHz, con un tráfico por usuario de 2 GB/mes y dos eNB que repartirán el tráfico del aforo al que se pretende dar

cobertura (552 personas aproximadamente). Cada uno de los eNB será capaz de gestionar 276 usuarios.

Edificio Germán Bernacer

Ancho de Banda:	5	MHz	
Eficiencia espectral:	2,7305	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	13,6525	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00166656	GB/s	
Referencia a la BH:	6,000	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,000	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	20,00	GB/h	
Tráfico en un mes:	599,96	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1799,89014	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	1,8	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	333		
Cálculos inversos			
Ancho de Banda:	4,77029116	MHz	
Eficiencia espectral:	2,7305	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	13,02528	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00159	GB/s	
Referencia a la BH:	5,724	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	2,862	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	19,08	GB/h	
Tráfico en un mes:	572,40	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1717,2	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	1,8	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	318		
Aforo Aproximado	530	Personas	
Conectados simultáneamente 60%	318	Personas	
Número de eNB	1		
Número de eNB (inverso)	1		
Personas por eNB	318		

Es importante comentar que en algunos de los emplazamientos, los cálculos inversos no son necesarios, como es el caso del nodo situado en el edificio Germán Bernacer.

El motivo es, que bajo las condiciones de eficiencia, ancho de banda y tráfico por usuario preestablecido, como es el caso que nos ocupa, el eNB, es capaz de soportar más usuarios de los que se necesita dar servicio.

Para esta localización, se trabajara bajo un ancho de banda de 5 MHz, con un tráfico por usuario de 1,8 GB/mes y como se cita en el párrafo anterior un solo eNB que dará soporte hasta un máximo de 333 usuarios (particularmente tan solo tendremos que dar servicio al 60% del aforo que se reduce aproximadamente a unos 318 usuarios).

Politécnica IV

Ancho de Banda:	10	MHz	
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	19,141	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00233655	GB/s	
Referencia a la BH:	8,412	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	4,206	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	28,04	GB/h	
Tráfico en un mes:	841,16	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	2523,47168	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	420		
Cálculos inversos			
Ancho de Banda:	9,13027881	MHz	
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	17,4762667	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00213333	GB/s	
Referencia a la BH:	7,680	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,840	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	25,60	GB/h	
Tráfico en un mes:	768,00	GB/mes	

Tráfico en un mes con 3 sectores:	2304	GB/ubicación/mes
Tráfico por usuario:	2	GB/mes
Nº usuarios por eNB:	384	
Aforo Aproximado	1924	Personas
Conectados simultáneamente 60%	1154,4	Personas
Número de eNB	3	
Número de eNB (inverso)	3	
Personas por eNB	384,8	

Para esta localización, se trabajará un ancho de banda de 10 MHz, con un tráfico por usuario de 2 GB/mes y tres eNB que repartirán el tráfico del aforo al que se pretende dar cobertura (1155 personas aproximadamente). Cada uno de los eNB será capaz de gestionar 384 usuarios.

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Ancho de Banda:	5	MHz
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz
Capacidad de la celda:	9,5705	Mb/s
Capacidad (en GB):	0,00116827	GB/s
Referencia a la BH:	4,206	GB (BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	2,103	GB
% tráfico diario en la BH: (15%)	14,02	GB/h
Tráfico en un mes:	420,58	GB/mes
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1261,73584	GB/ubicación/mes
Tráfico por usuario:	2	GB/mes
Nº usuarios por eNB:	210	
Cálculos inversos		
Ancho de Banda:	4,72206607	MHz
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz
Capacidad de la celda:	9,03850667	Mb/s
Capacidad (en GB):	0,00110333	GB/s

Referencia a la BH:	3,972 GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	1,986 GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	13,24 GB/h	
Tráfico en un mes:	397,20 GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1191,6 GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2 GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	198,6	
Aforo Aproximado		
	331	Personas
Conectados simultáneamente 60%	198,6	Personas
Número de eNB		
	1	
Número de eNB (inverso)	1	
Personas por eNB	198,6	

Para esta localización, se trabajará un ancho de banda de 5 MHz, con un tráfico por usuario de 2 GB/mes y tan solo un eNB que gestionará el tráfico de 210 usuarios (en nuestro caso, el 60% de los usuarios conectados simultáneamente rondara los 199 usuarios).

.Aulario I

Ancho de Banda:	5 MHz	
Eficiencia espectral:	5,5547 bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	27,7735 Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00339032 GB/s	
Referencia a la BH:	12,205 GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	6,103 GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	40,68 GB/h	
Tráfico en un mes:	1220,52 GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	3661,54541 GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	1,5 GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	813	
Cálculos inversos		
Ancho de Banda:	4,57798501 MHz	
Eficiencia espectral:	5,5547 bit/s/Hz	

Capacidad de la celda:	25,4293333	Mb/s
Capacidad (en GB):	0,00310417	GB/s
Referencia a la BH:	11,175	GB (BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	5,588	GB
% tráfico diario en la BH: (15%)	37,25	GB/h
Tráfico en un mes:	1117,50	GB/mes
Tráfico en un mes con 3 sectores:	3352,5	GB/ubicación/mes
Tráfico por usuario:	1,5	GB/mes
Nº usuarios por eNB:	745	
Aforo Aproximado	6212	Personas
Conectados simultáneamente 60%	3727,2	Personas
Número de eNB	5	
Número de eNB (inverso)	5	
Personas por eNB	745,44	
posibles eNB	4,58450185	

Para la localización del Aulario I, se dispondrán de cinco eNB, trabajando cada uno de ellos a 5 MHz, con un tráfico por usuarios de 1,5 GB/mes y capaces de soportar hasta un máximo de 813 usuarios cada uno de ellos.

Facultad de Filosofía y letras II

Ancho de Banda:	3	MHz
Eficiencia espectral:	5,5547	bit/s/Hz
Capacidad de la celda:	16,6641	Mb/s
Capacidad (en GB):	0,00203419	GB/s
Referencia a la BH:	7,323	GB (BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,662	GB
% tráfico diario en la BH: (15%)	24,41	GB/h
Tráfico en un mes:	732,31	GB/mes
Tráfico en un mes con 3 sectores:	2196,92725	GB/ubicación/mes
Tráfico por usuario:	1,5	GB/mes
Nº usuarios por eNB:	488	
Cálculos inversos		

Ancho de Banda:	2,70377638	MHz	
Eficiencia espectral:	5,5547	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	15,0186667	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,001833333	GB/s	
Referencia a la BH:	6,600	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,300	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	22,00	GB/h	
Tráfico en un mes:	660,00	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1980	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	1,5	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	440		
Aforo Aproximado	733	Personas	
Conectados simultáneamente 60%	439,8	Personas	
Número de eNB	1		
Número de eNB (inverso)	1		
Personas por eNB	439,8		
posibles eNB	0,90122951		

Para esta localización, se trabajará un ancho de banda de 3 MHz, con un tráfico por usuario de 1,5 GB/mes y tan solo un eNB que gestionará el tráfico de 488 usuarios, cada uno de ellos.

Facultad de filosofía y letras I

Ancho de Banda:	3	MHz	
Eficiencia espectral:	4,5234	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	13,5702	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00165652	GB/s	
Referencia a la BH:	5,963	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	2,982	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	19,88	GB/h	
Tráfico en un mes:	596,35	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1789,04004	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	298		

Cálculos inversos			
Ancho de Banda:	2,76684696	MHz	
Eficiencia espectral:	4,5234	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	12,5155556	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00152778	GB/s	
Referencia a la BH:	5,500	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	2,750	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	18,33	GB/h	
Tráfico en un mes:	550,00	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1650	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	275		
Aforo Aproximado	916	Personas	
Conectados simultáneamente 60%	549,6	Personas	
Número de eNB	2		
Número de eNB (inverso)	2		
Personas por eNB	274,8		
posibles eNB	1,8442953		

Para esta localización, se trabajará un ancho de banda de 3 MHz, con un tráfico por usuario de 2 GB/mes y dos eNB que gestionará el tráfico de 298 usuarios, cada uno (550 personas totales aproximadamente).

Edificio Ciencias II

Ancho de Banda:	3	MHz	
Eficiencia espectral:	5,5547	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	16,6641	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00203419	GB/s	
Referencia a la BH:	7,323	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,662	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	24,41	GB/h	
Tráfico en un mes:	732,31	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	2196,92725	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	1,75	GB/mes	

Nº usuarios por eNB:	418		
Cálculos inversos			
Ancho de Banda:	2,96800907	MHz	
Eficiencia espectral:	5,5547	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	16,4864	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,0020125	GB/s	
Referencia a la BH:	7,245	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,623	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	24,15	GB/h	
Tráfico en un mes:	724,50	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	2173,5	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	1,75	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	414		
Aforo Aproximado	690	Personas	
Conectados simultáneamente 60%	414	Personas	
Número de eNB	1		
Número de eNB (inverso)	1		
Personas por eNB	414		
posibles eNB	0,99043062		

Para esta localización, se trabajará un ancho de banda de 3 MHz, con un tráfico por usuario de 1,75 GB/mes y tan solo un eNB que gestionará el tráfico de 414 usuarios (por debajo de los 418 que es capaz de soportar el eNB).

Aulario III

Ancho de Banda:	10	MHz	
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	19,141	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00233655	GB/s	
Referencia a la BH:	8,412	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	4,206	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	28,04	GB/h	
Tráfico en un mes:	841,16	GB/mes	

Tráfico en un mes con 3 sectores:	2523,47168	GB/ubicación/mes
Tráfico por usuario:	2	GB/mes
Nº usuarios por eNB:	420	
Cálculos inversos		
Ancho de Banda:	9,55826063	MHz
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz
Capacidad de la celda:	18,2954667	Mb/s
Capacidad (en GB):	0,00223333	GB/s
Referencia a la BH:	8,040	GB (BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	4,020	GB
% tráfico diario en la BH: (15%)	26,80	GB/h
Tráfico en un mes:	804,00	GB/mes
Tráfico en un mes con 3 sectores:	2412	GB/ubicación/mes
Tráfico por usuario:	2	GB/mes
Nº usuarios por eNB:	402	
Aforo Aproximado	1340	Personas
Conectados simultáneamente 60%	804	Personas
Número de eNB	2	
Número de eNB (inverso)	2	
Personas por eNB	402	
posibles eNB	1,91428571	

Para esta localización, se trabajará un ancho de banda de 10 MHz, con un tráfico por usuario de 2 GB/mes y dos eNB que gestionará el tráfico de 402 usuarios cada uno, teniendo un total de 804 usuarios a los que prestar servicio.

Facultad de derecho

Ancho de Banda:	5	MHz
Eficiencia espectral:	3,3223	bit/s/Hz
Capacidad de la celda:	16,6115	Mb/s
Capacidad (en GB):	0,00202777	GB/s
Referencia a la BH:	7,300	GB (BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,650	GB

% tráfico diario en la BH: (15%)	24,33	GB/h	
Tráfico en un mes:	730,00	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	2189,99268	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	364		
Cálculos inversos			
Ancho de Banda:	4,64385115	MHz	
Eficiencia espectral:	3,3223	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	15,4282667	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00188333	GB/s	
Referencia a la BH:	6,780	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,390	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	22,60	GB/h	
Tráfico en un mes:	678,00	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	2034	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	339		
Aforo Aproximado	1695	Personas	
Conectados simultáneamente 60%	1017	Personas	
Número de eNB	3		
Número de eNB (inverso)	3		
Personas por eNB	339		
posibles eNB	2,79395604		

Para esta localización, se trabajará un ancho de banda de 5 MHz, con un tráfico por usuario de 2 GB/mes y tres eNB que gestionarán el tráfico de 339 usuarios cada uno (en total se estiman unos 1017 usuarios simultáneos).

Biblioteca General Universitaria

Ancho de Banda:	5	MHz	
Eficiencia espectral:	2,7305	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	13,6525	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00166656	GB/s	

Referencia a la BH:	6,000	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,000	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	20,00	GB/h	
Tráfico en un mes:	599,96	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1799,89014	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	299		
Cálculos inversos			
Ancho de Banda:	4,50027467	MHz	
Eficiencia espectral:	2,7305	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	12,288	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,0015	GB/s	
Referencia a la BH:	5,400	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	2,700	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	18,00	GB/h	
Tráfico en un mes:	540,00	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1620	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	2	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	270		
Aforo Aproximado	900	Personas	
Conectados simultáneamente 60%	540	Personas	
Número de eNB	2		
Número de eNB (inverso)	2		
Personas por eNB	270		
posibles eNB	1,80602007		

Para el caso de la Biblioteca General, se estiman unas 540 personas conectadas simultáneamente, para ello se establecerán dos eNB que trabajarán a 5MHz y cada usuario dispondrá de 2 GB/mes. Cada uno de los eNB será capaz de soportar 299 personas.

Paraninfo

Ancho de Banda:	5	MHz	
Eficiencia espectral:	2,4063	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	12,0315	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00146869	GB/s	
Referencia a la BH:	5,287	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	2,644	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	17,62	GB/h	
Tráfico en un mes:	528,73	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1586,18408	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	0,5	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	1057		

En el caso del Paraninfo, situado en la Facultad de derecho, se dispondrá de un solo eNB, que trabajara bajo un ancho de banda de 5 MHz, y dará servicio a 1000 personas con un tráfico por usuario de 300 Mb/mes.

Politécnica I

Ancho de Banda:	5	MHz	
Eficiencia espectral:	2,7305	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	13,6525	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00166656	GB/s	
Referencia a la BH:	6,000	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	3,000	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	20,00	GB/h	
Tráfico en un mes:	599,96	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1799,89014	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	4	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	149		

En este caso se seleccionara por el tipo de usuario y el tipo de tráfico que existe en este recinto un ancho de banda de 5MHz para cada uno de los dos eNB de los que se dispondrán.

Cada uno de los usuarios tendrá 4 GB/mes y será posible dar servicio a un total de 149 personas.

Politécnica II y III

Ancho de Banda:	5	MHz	
Eficiencia espectral:	1,9141	bit/s/Hz	
Capacidad de la celda:	9,5705	Mb/s	
Capacidad (en GB):	0,00116827	GB/s	
Referencia a la BH:	4,206	GB	(BH: Busy Hour)
Carga media en la BH:	2,103	GB	
% tráfico diario en la BH: (15%)	14,02	GB/h	
Tráfico en un mes:	420,58	GB/mes	
Tráfico en un mes con 3 sectores:	1261,73584	GB/ubicación/mes	
Tráfico por usuario:	4	GB/mes	
Nº usuarios por eNB:	105		

Estos dos edificios atienden a la misma configuración. El emplazamiento de ambos es relativamente cercano y sus habitáculos se destinan a despacho de profesorado.

El uso de la red por parte de los usuarios es prácticamente similar, por lo tanto se dota a cada uno de estos recintos con dos eNB por emplazamiento, cada uno de ellos operando a 5 MHz y 4 GB/mes por usuario.

El total de usuarios por eNB que se podrá registrar estará en torno a los 105, teniendo un máximo de 210 personas por edificio.

5. Despliegue de la red y frecuencias de operación

En este capítulo, se describirá el despliegue que se ha realizado de la red. Para ello, se mostrarán los mapas de cobertura celular de la red edificio y quedarán estipuladas todas las decisiones que se han realizado para este tipo de despliegue.

5.1. Mapa de colores y reutilización de frecuencias

Como se ha comentado en capítulos anteriores el despliegue, para abastecer a toda una región de un servicio de estas características, debe estar bien estructurado.

En este caso el tipo de despliegue que se realizará, será disponer cada una de las antenas de la red más voluminosa (Red edificios) de una manera celular.

Es por ello, que no se ha podido realizar un estudio frecuencial de las posibles interferencias por antenas colindantes y la disposición de la banda de frecuencia completa (por el mismo motivo) para el desarrollo del proyecto.

Aclarado el punto anterior, en primera instancia se planeó la disposición de cada uno de los nodos por separado.

Es decir cada antena estaría ubicada sobre una torre en una ubicación determinada para prestar servicio en su rango de acción (zona de cobertura).

Esta opción quedó descartada. El motivo, un incremento en el coste del despliegue extremadamente elevado, tanto por el uso de una torre por nodo, como por la utilización de demasiadas antenas.

Además de ello, no se dispone de tanto espectro en la banda de frecuencias para poder tratar el número de antenas que se habían desplegado.

La segunda y última solución que se adoptó, fue la reorganización de los nodos en torres trisectorizadas.

Con este método, se eliminaron algunas de las antenas de las que se disponían en la anterior solución, ya que se tomó la decisión de que eran innecesarias y, además se conseguía un abaratamiento en el coste total del despliegue de la red como consecuencia directa de utilizar un mismo emplazamiento y torre para el emplazamiento de tres, dos o un nodo, según la necesidad.

Una vez realizado el despliegue físico de la red, se necesitó ubicar las frecuencias a las que trabajaría cada nodo.

Este es uno de los procesos más tediosos y complicados que se realizan en el despliegue de una red de estas características.

Para ello, como anteriormente se mencionó en el capítulo 2.2.8, se realizará un estudio de la banda de frecuencias a repartir y hacer uso de reutilización de las frecuencias utilizadas.

Esta técnica permitirá no congestionar el espectro radioeléctrico a consecuencia de la reutilización de las frecuencias de nodos alejados a una ubicación determinada.

Además, serán de vital importancia los cálculos de capacidad que se han descrito en el capítulo anterior para la correcta asignación de las frecuencias en los nodos.

El resultado de esta solución se puede apreciar en la figura 39.

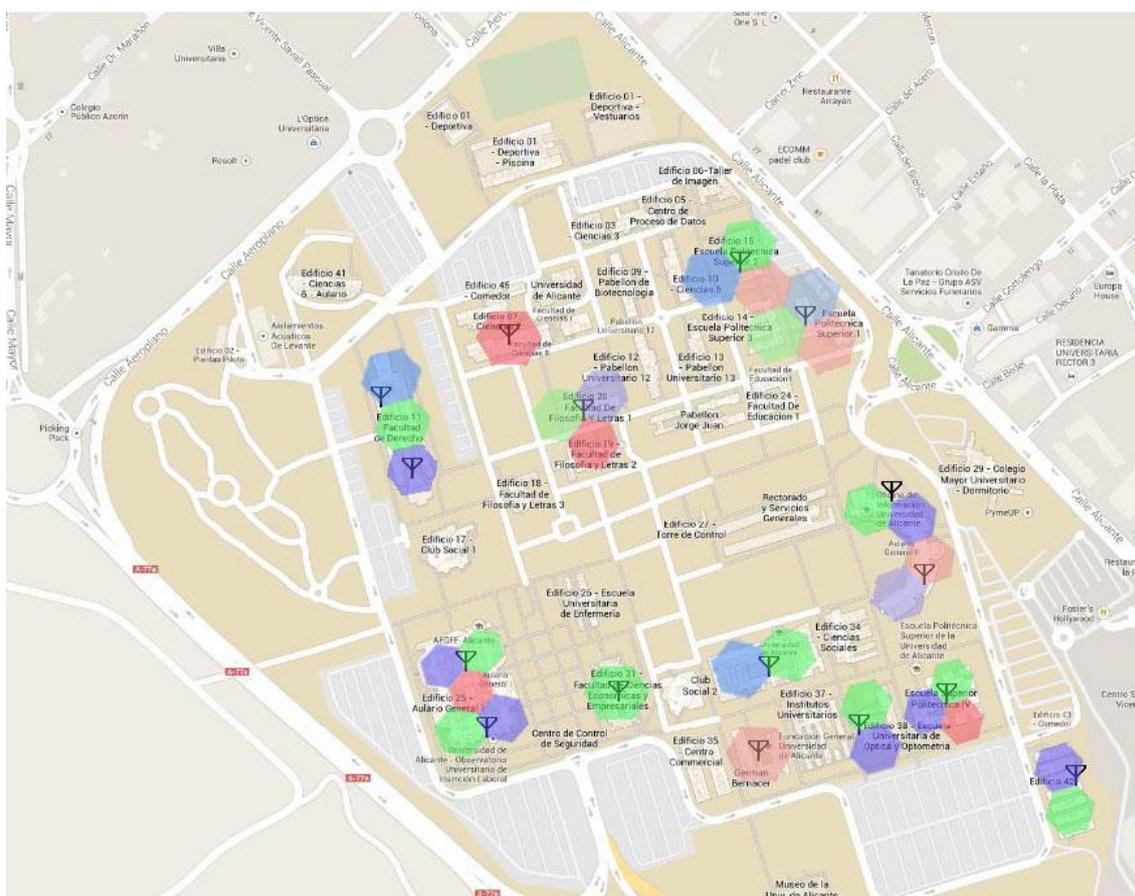


Figura 39: Disposición celular de la red “edificios”, ubicada en la Universidad de Alicante.

Como aclaración para evitar errores en la lectura del proyecto, mencionar que los colores mostrados en la figura 39, meramente se refieren a la disposición de una nueva celda, con el fin de distinguir las.

El color de cada una de las celdas es inherente a la frecuencia que utilizan. Para aclarar cada una de las frecuencias que utilizan las celdas, se describe la siguiente tabla.

RED EDIFICIOS			
NUMERO	SUBIDA (MHz)	BAJADA (MHz)	ANCHO DE BANDA (MHz)
1	1710 - 1725	1805 - 1820	15
2	1726 - 1741	1831 - 1836	15
3	1742 - 1757	1837 - 1852	15
4	1748 - 1773	1853 - 1868	15
5	1774 - 1884	1869 - 1879	10
6	1710 - 1720	1805 - 1815	10

7	1721 - 1731	1816 - 1826	10
8	1732 - 1742	1827 - 1837	10
9	1743 - 1753	1838 - 1848	10
10	1754 - 1759	1849 - 1854	5
11	1760 - 1765	1854 - 1859	5
12	1766 - 1771	1860 - 1865	5
13	1772 - 1777	1866 - 1871	5
14	1760 - 1770	1854 - 1864	10
15	1771 - 1781	1865 - 1875	10
16	1710 - 1715	1805 - 1810	5
17	1716 - 1721	1811 - 1816	5
18	1722 - 1727	1817 - 1822	5
19	1728 - 1733	1823 - 1828	5
20	1734 - 1739	1829 - 1834	5
21	1740 - 1745	1835 - 1840	5
22	1746 - 1751	1841 - 1846	5
23	1752 - 1757	1847 - 1852	5
24	1758 - 1761	1853 - 1856	3
25	1761 - 1764	1857 - 1860	3
26	1765 - 1768	1861 - 1864	3
27	1769 - 1772	1865 - 1868	3
28	1772 - 1777	1866 - 1871	5
29	1778 - 1783	1872 - 1877	5
30	1760 - 1765	1854 - 1859	5
31	1766 - 1771	1860 - 1865	5
32	1742 - 1747	1842 - 1847	5
33	1748 - 1753	1848 - 1853	5

RED PRINCIPAL UA			
NUMERO	SUBIDA (MHz)	BAJADA (MHz)	ANCHO DE BANDA (MHz)
34	832 - 852	791 - 811	20

RED PARANINFO			
NUMERO	SUBIDA (MHz)	BAJADA (MHz)	ANCHO DE BANDA (MHz)
35	2510 - 2515	2630 - 2635	5

Para ubicar correctamente cada una de las celdas con su respectiva frecuencia de trabajo, se realiza una referencia numérica en cada una de las celdas mostradas en la figura 40.

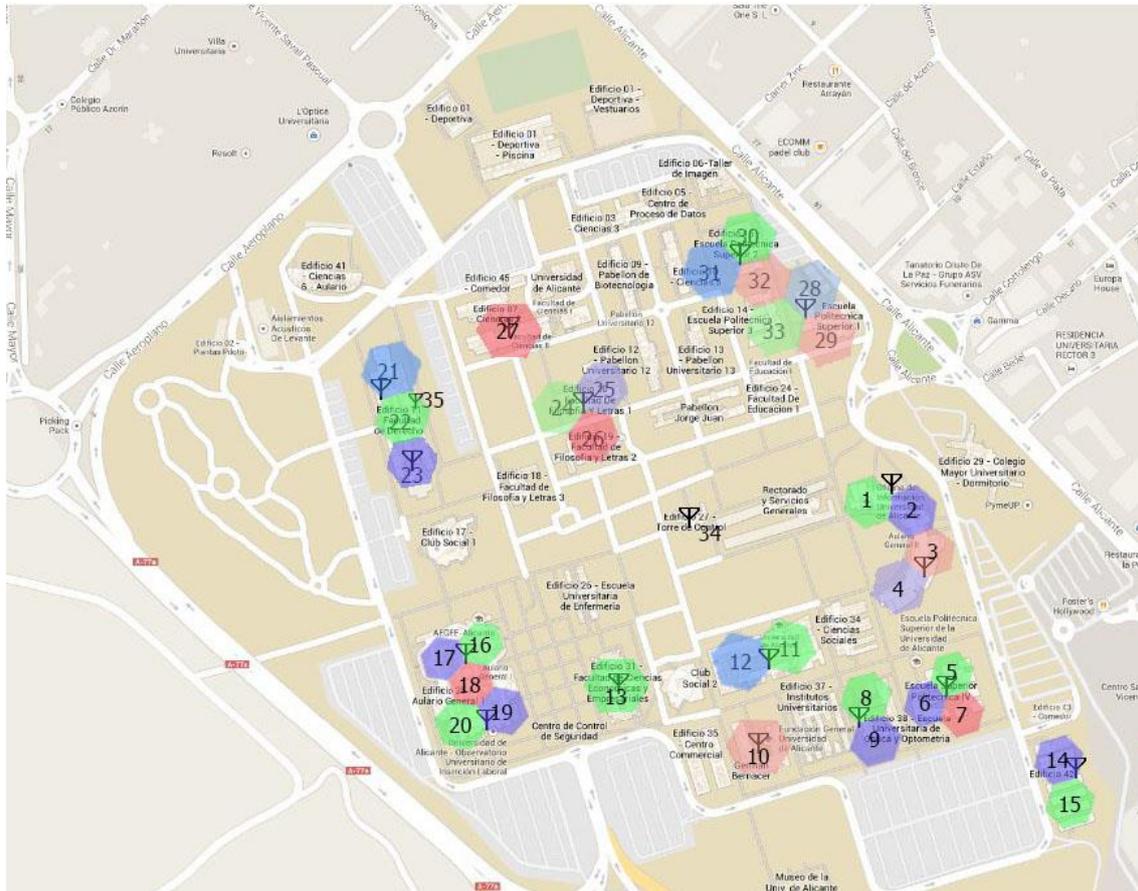


Figura 40: Disposición celular con referencia numérica a la tabla de frecuencias

Recordamos que tanto la referencia al nodo 34 (Estación base principal), como la referencia al nodo 35 (nodo parainfo), tendrán como objetivo prestar servicio a toda la universidad y al aula concreta, respectivamente.

5.2. Diagramas de cobertura

Como último punto en el estudio de un despliegue de tecnología LTE, es de vital importancia realizar un estudio de cobertura de cada uno de los nodos.

El motivo de este estudio es obligatoriamente necesario, aunque el problema con el que se trabaja es la capacidad de la red y la cobertura queda relegada a un segundo plano (para

una zona tan “reducida” con los nodos dispuestos, se dispondrá de cobertura), ya que mediante dichos diagramas de cobertura se determinará la posibilidad de reutilizar una o varias frecuencias.

Recapitulando, siempre que el radio de cobertura de un nodo no interfiera con el del nodo a reutilizar, será posible el reutilización de la frecuencia/s.

Para ello se muestran algunos ejemplos de las diferentes redes del proyecto que nos ocupa.

A continuación, se detallan algunas capturas de los diagramas de cobertura de algunos de los nodos de manera didáctica. De este modo se comprenderá el solapado de algunas de los nodos entre sí y con los nodos cercanos para evitar el solapamiento de rangos de frecuencia.

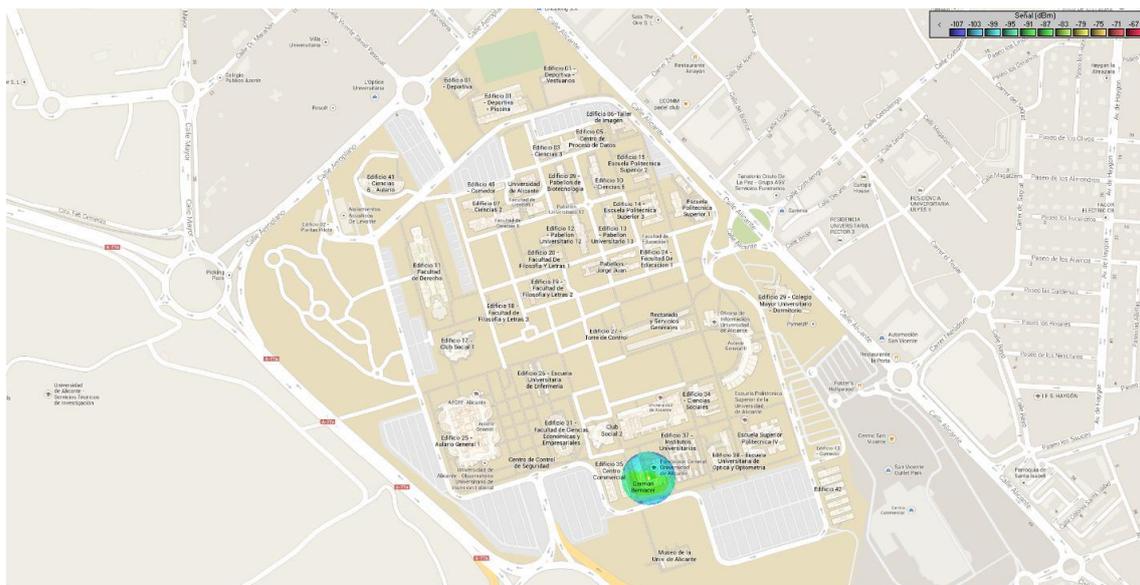


Figura 41: Diagrama de cobertura Nodo Germán Bernacer

En este primer diagrama de cobertura, mediante la herramienta que proporciona el programa, se muestra en la esquina superior derecha una leyenda bajo colores, en la que se hace referencia al decrecimiento de la cobertura con la distancia en dBm.

Como se puede apreciar la cobertura para el propio edificio variará entre -79 dBm (zonas próximas al nodo) y -103 dBm (zonas más alejadas a la antena emisora), incluso se

pueden apreciar pequeñas zonas donde la cobertura desciende por debajo de los -107 dBm (perdida de señal).

Bajo estos resultados, se puede afirmar que para todas las zonas próximas al nodo, como es nuestro objetivo, se prestará servicio sin ningún problema siempre que se respeten los rangos de frecuencia, es decir, evitar el solapamiento de las mismas.

En la figura 42, se refleja el solapamiento de coberturas entre nodos vecinos (nodo Germán Bernacer y Escuela universitaria de óptica y optometría), que se solventa mediante la utilización de frecuencias distintas entre ellos, tanto para el enlace de subida como para el de bajada.

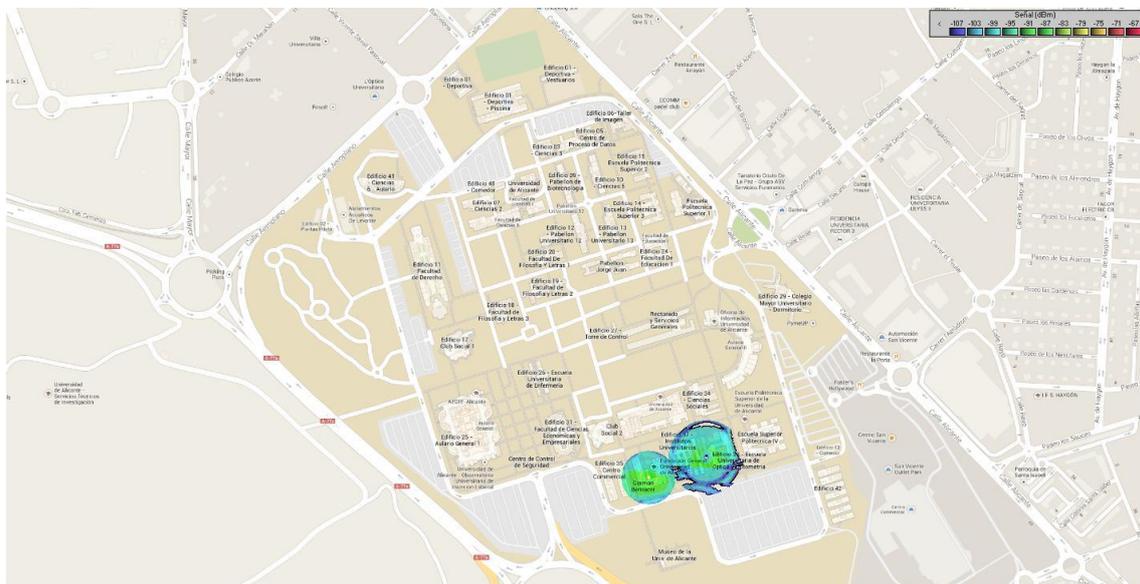


Figura 42: Solapamiento de coberturas entre nodos.

Otro de los problemas en cuanto a solapamiento de cobertura, se da entre eNB que pertenecen al mismo emplazamiento.

En la figura 43, se aglutinan bajo un mismo emplazamiento los diagramas de cobertura de las tres antenas que pertenecen a la Facultad de Filosofía y Letras I y II.

También se muestra el cercano solapamiento entre ellas y el nodo vecino perteneciente al edificio de Ciencias II.

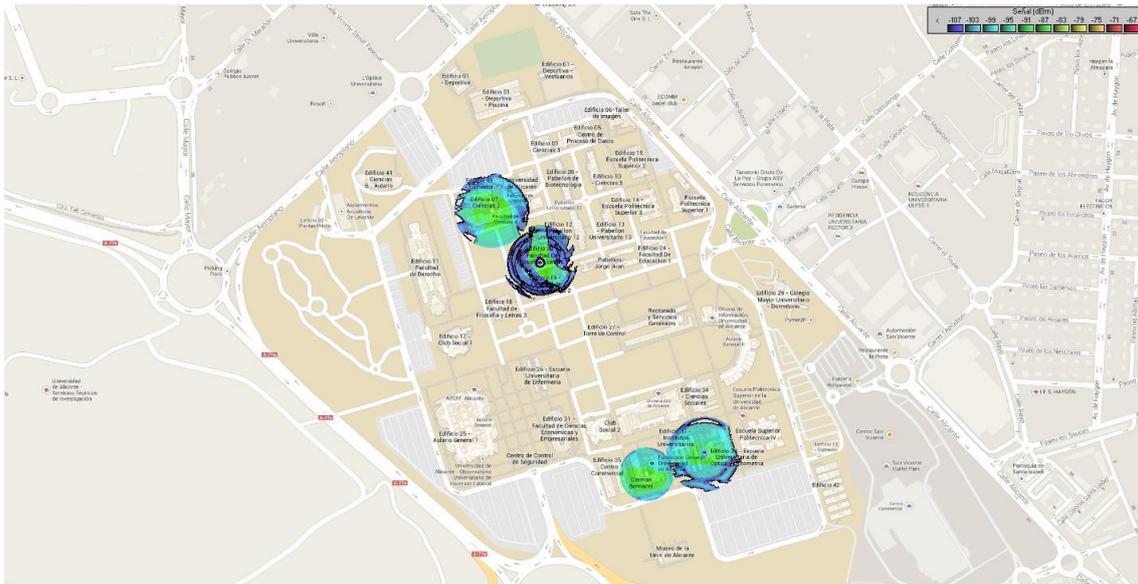


Figura 43: Solapamiento de coberturas entre antenas del mismo emplazamiento y nodo vecino.

El modo de operación para el resto de antenas, sigue el mismo proceso.

- Comprobación del rango de cobertura de cada antena particularmente.
- Comprobar si existe solapamiento con nodos vecinos.
- Asignación de frecuencias distintas a las antenas que solapen sus diagramas para evitar interferencias entre celdas y por ende pérdida del servicio.

En el caso de la red Principal UA y la red Paraninfo, no hay problemas de esta índole ya que operan en una banda de frecuencias completamente distinta entre sí y respecto a la Red Edificios.

Su rango de operación se muestra bajo la figura 44 y 45, respectivamente.

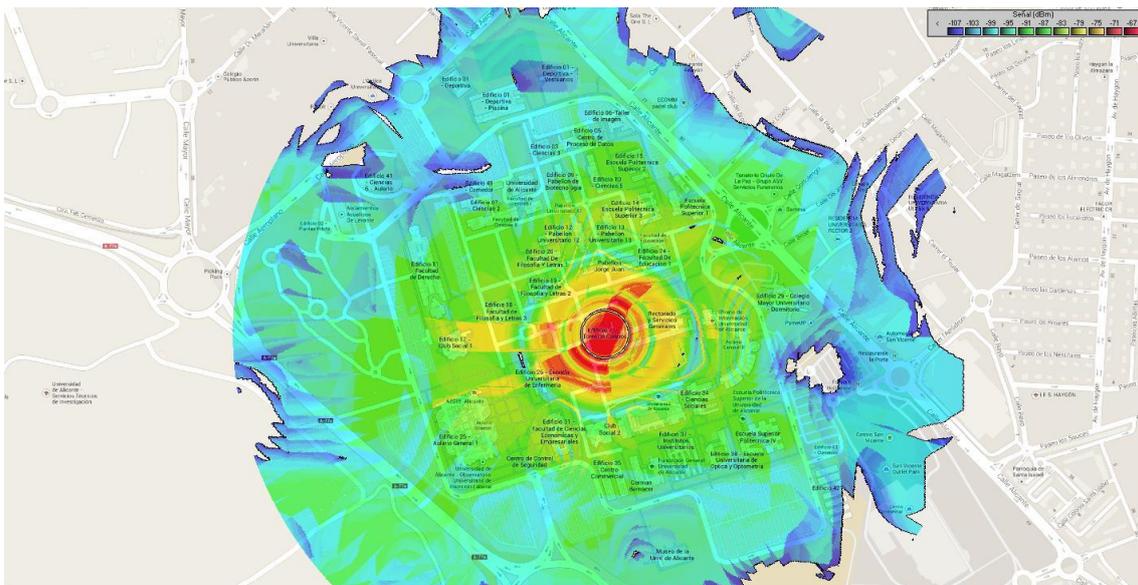


Figura 44: Rango de cobertura de la red “Principal UA”.

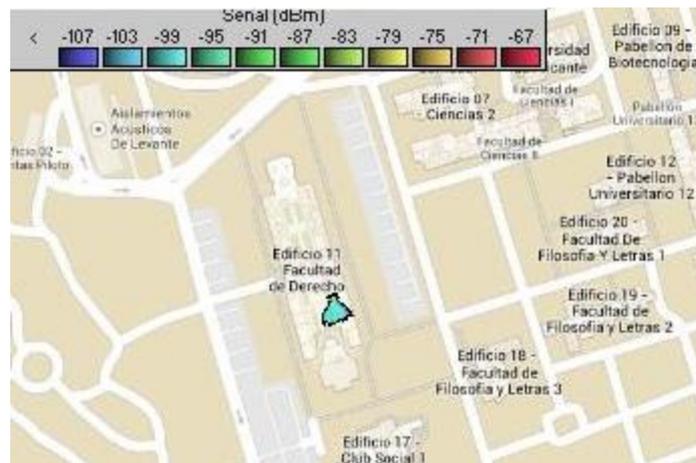


Figura 45: Rango de cobertura de la red “Paraninfo”.

5.3. Resultados obtenidos

Con el fin de comprobar que las distintas redes propuestas funcionan de manera adecuada y todos los enlaces radio son viables, se muestran algunos resultados (realizados mediante las herramientas del propio software) certificando que son realizables.

Para el primero de los casos, se propone certificar que tanto el enlace de subida como el de bajada, son viables para un usuario ubicado en la Politécnica III (celda 33).

En la Figura 46 y 47 se muestran los resultados obtenidos para el enlace de subida y en la Figura 48 y 49 los datos pertenecientes al enlace de bajada.

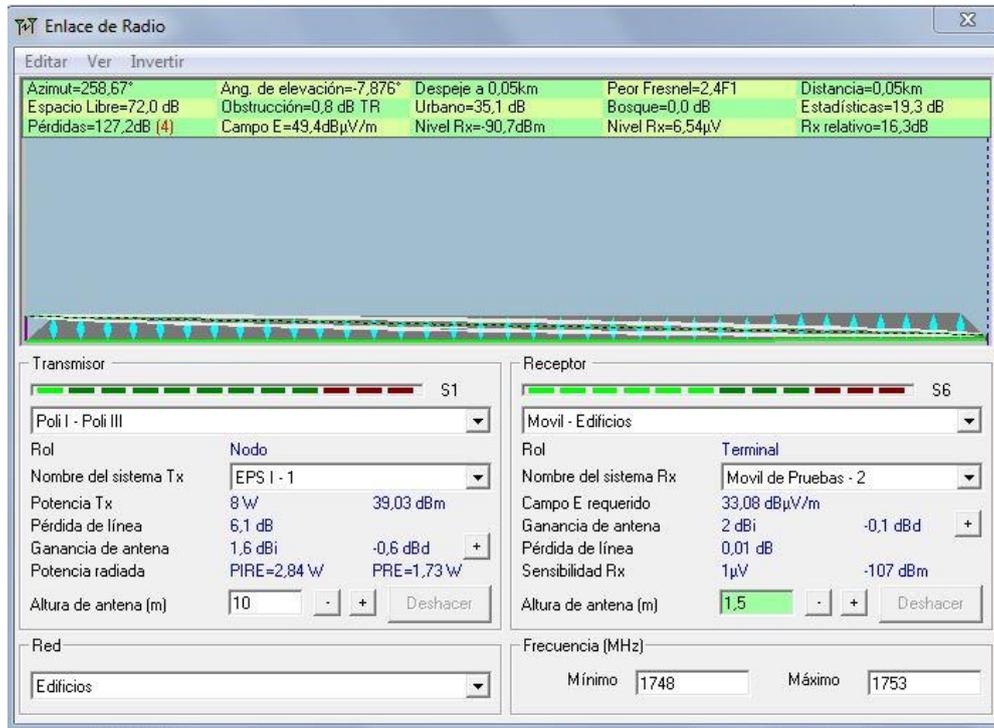


Figura 46: Enlace de subida, perfil del terreno

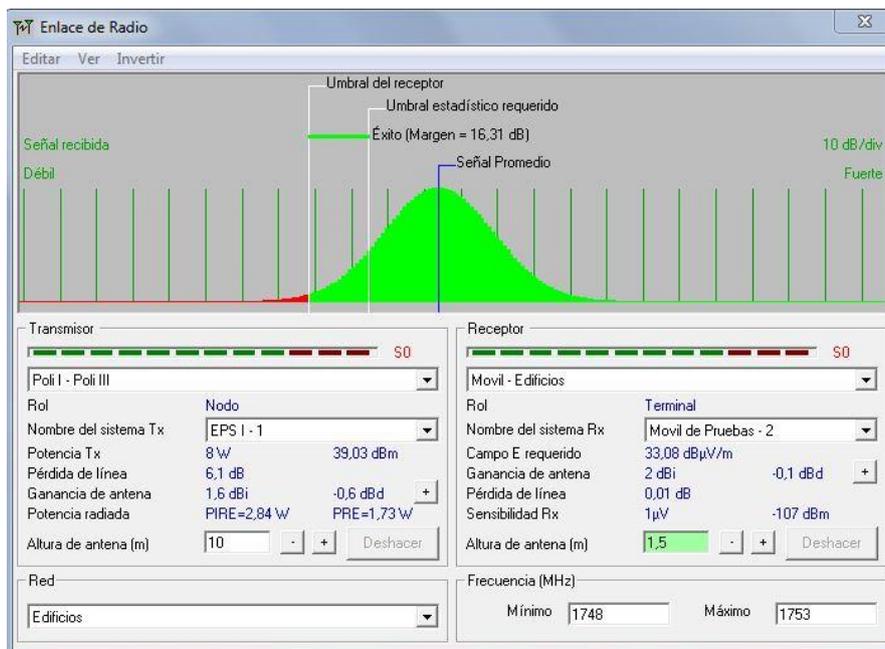


Figura 47: Enlace de subida, Distribución del enlace.

A la luz de los resultados, trabajando en el intervalo de frecuencias asociado a la celda 33, se puede observar que la comunicación entre nodo-terminal tendría un margen de éxito de 16,31 dB para el enlace de subida.

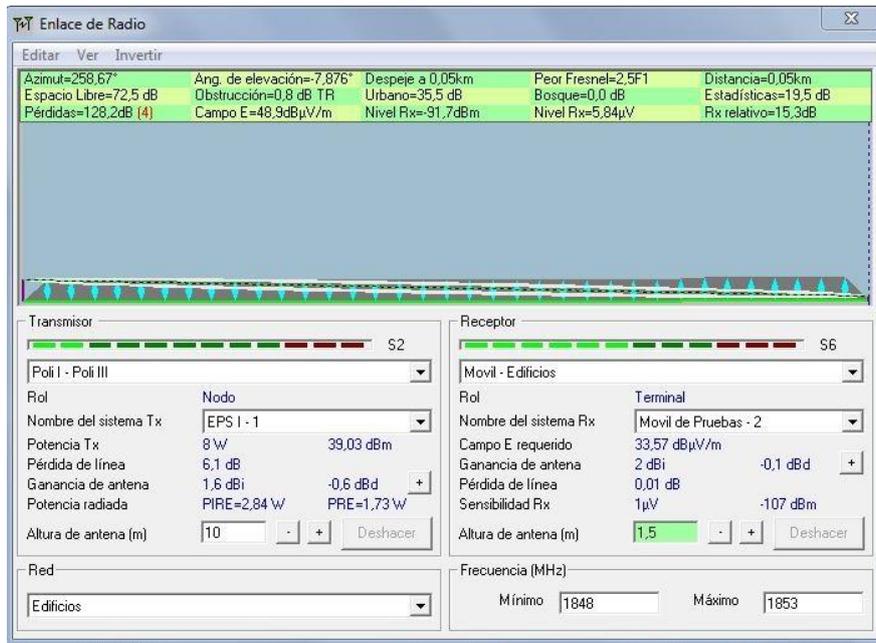


Figura 48: Enlace de bajada, perfil del terreno

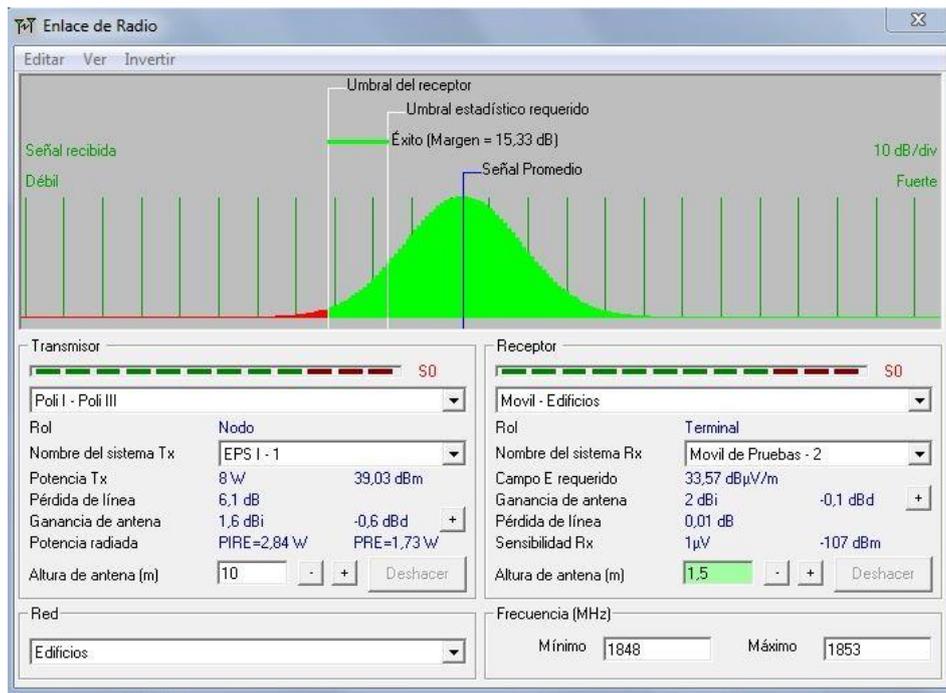


Figura 49: Enlace de bajada, Distribución del enlace.

En este caso, el umbral de éxito en la comunicación del enlace radio sería de 15,33 dB para el enlace de bajada y las mismas condiciones y bajo el perfil de terreno que se muestra en la figura 48.

El proceso para la red “Principal UA” y para la red “Paraninfo”, es prácticamente idéntico, salvo que en cada uno de estos casos se opera en otra banda de frecuencias.

A continuación se muestran dos ejemplos referentes a la distribución del enlace radio para la subida en la red “Principal UA” (Figura 50) y la distribución del enlace de bajada para la red “Paraninfo” (Figura 51).

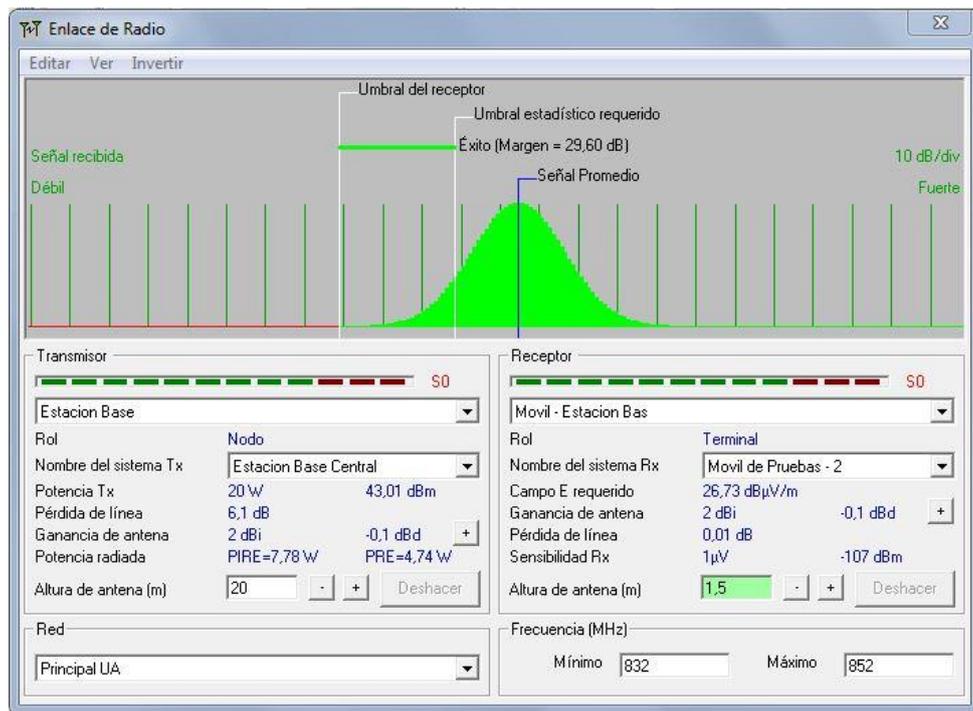


Figura 50: Distribución del enlace radio Red principal (Enlace de subida)

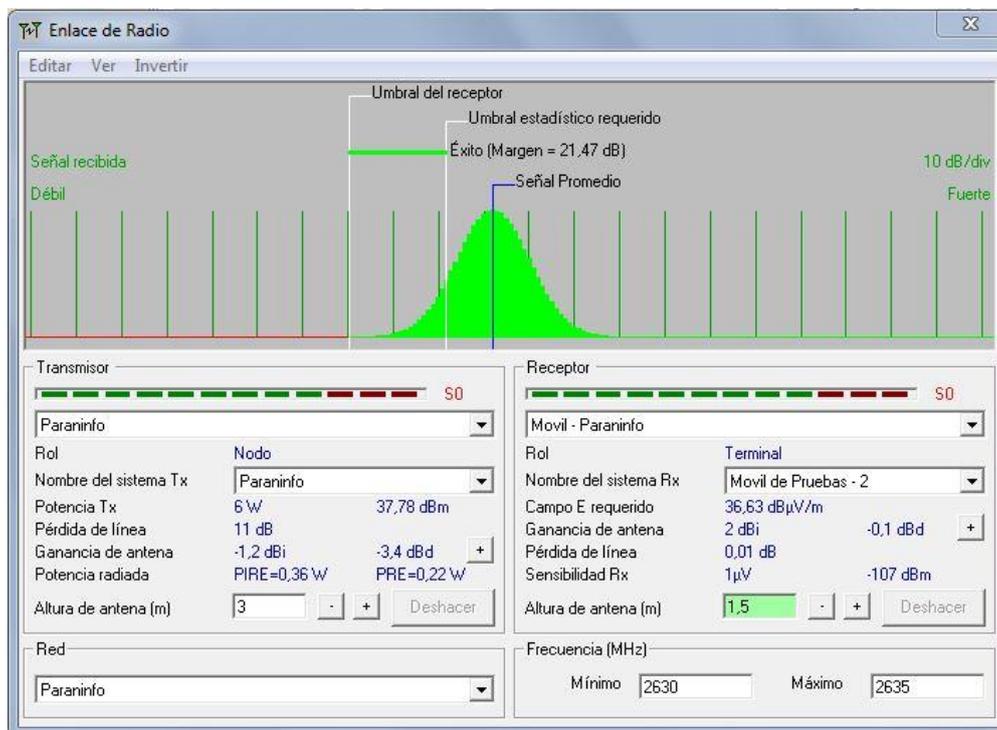


Figura 51: Distribución del enlace radio Red Paraninfo (Enlace de bajada)

6. Conclusiones y líneas futuras

A lo largo de todo el desarrollo del proyecto, han surgido distintas vicisitudes que han requerido del ingenio y del estudio para solventarlas.

De este modo, algunas de las conclusiones que se obtienen fruto del desarrollo del mismo, han estado relacionadas con esos problemas que han surgido en el camino.

Se puede determinar que el modelo hexagonal, para las celdas de operación es el más eficiente.

Mediante el método de utilización de celdas hexagonales, se evita el exceso de utilización de antenas (congestión del espectro disponible) y se aprovecha de una manera más eficiente el espacio.

Otro de los aspectos imprescindibles, una vez realizada la distribución de los eNB, es crucial un estudio de cobertura para evitar futuros problemas de pérdida de la señal, al mismo tiempo que problemas con la asignación de las frecuencias.

Por otra parte, aunque por criterio del ingeniero que ha desarrollado la red, se ha decidido no optar por la utilización de las técnicas MIMO, sería interesante realizar un estudio minucioso para determinar si la utilización de las mismas optimizaría notablemente la red.

Teniendo en cuenta las técnicas MIMO mencionadas en el párrafo anterior, aún podría mejorar notablemente el diseño ofrecido.

Mediante la utilización de software profesional, se desarrollaría una red más real (la nuestra es una aproximación lo más veraz posible) y que además nos permitiría:

- Estudio minucioso en la señal transmisor-receptor en los bordes de la celda.
- Trabajo con mapas de mayor precisión.
- Elevación de los edificios para cálculo de pérdidas por obstáculo de manera más eficiente.

Además de lo citado, sería interesante realizar la planificación de la red que prestaría servicio a la red que ha sido diseñada.

7. Bibliografía

- [1] Teléfonos móviles: ya son casi 7.000 millones. ¿Tenemos todos un teléfono? <https://itunews.itu.int/Es/3780-Telefonos-moviles-ya-son-casi-7000-millones-br-Tenemos-casi-todos-un-telefono.note.aspx>
- [2] Robles Martínez, Pedro José; Bleda Pérez, Sergio. 'Implementación de un codificador de voz CELP'. Proyecto fin de carrera. Universidad de Alicante (2012).
- [3] Huidobro, José Manuel. 'Comunicaciones Móviles'. Sistemas GSM, UMTS y LTE. Editorial Ra-ma. (2012).
- [4] R. Agustí, 'LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles', Fundación Vodafone España.
- [5] Robles Martínez, Pedro José; Toledo Prieto Israel; Torregrosa Seller, Francisco. 'Proyecto sobre comunicaciones móviles'. Tecnologías de las radiocomunicaciones. Universidad de Alicante (2014).
- [6] Fernández López, Ignacio; Umbert Juliana, Anna. 'Planning and dimensioning of an LTE network'. Universidad Politécnica de Cataluña. (2013).

8. ANEXOS

8.1. Pliego de condiciones técnicas

Como el objetivo de este proyecto consiste en la planificación del despliegue de una red de tecnología LTE, se limitara a exponer las características de los elementos requeridos para dicho objetivo.

Queda fuera de los objetivos del mismo, la prestación de servicio de red a la propia red planificada. Este último, se llevara a cabo por otra empresa a convenir, que realizará el despliegue pertinente, con sus propios equipos para prestar servicio a la red que se ha descrito a lo largo de esta memoria.

Para la red planificada, se dispondrán de eNBs que serán emplazados sobre una torre, distribuidos a lo largo del campus (Figura 40) y el cable necesario para realizar la conexión con cada uno de los racks que se alojan en cada edificio.

A priori, no serán necesario, incluir ningún elemento terciario ya que se disponen de los elementos necesarios en los racks ya existentes, y por otra parte tampoco será necesario realizar obra alguna para el transporte del cable vía eNB-rack, ya que se utilizarán las propias canalizaciones existentes, con el fin de abaratar costes.

8.2. Presupuestos

MEDICIONES

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD
CAPÍTULO 01 INSTALACION DE RED LTE							
DESP	UD DESPLAZAMIENTOS, TRANSPORTE Y CARTOGRAFIA Ud. Jornada de desplazamientos a obra por personal de trabajo en obras de telecomunicaciones, compuesto por vehículo turismo para movilización por carreteras, Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas. Transporte inferior a 50 km. Incluye desplazamiento de ida y vuelta. Costes indirectos incluidos. Trabajos de instalación de eNB's durante un mes	30				30,00	30,00
GEST	UD GESTION DE LA OBRA Ud. Gestión de obra, control y seguimiento de la misma, por equipo formado por Ingeniero de Telecomunicaciones y peon especialista en telecomunicaciones. Se contempla, la gestión de autorización, tramites y dirección de obra, así como la elaboración de informes y seguimiento de los trabajos. Costes indirectos incluidos. Gestión de la obra, seguimiento y control Ingeniero 2 horas/día durante un mes Peon especialista 1 hora/día durante un mes	1				1,00	1,00
ENBS1	UD INSTALACIÓN DE eNB'S con Microcélula Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y microcélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grúa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos. Instalación de eNB'S con microcélulas	34				34,00	34,00
ENBS2	UD INSTALACIÓN DE eNB'S con Macro célula Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y macrocélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grúa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos. Instalación de eNB'S con Macro célula	1				1,00	1,00

CUADRO DE DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	CANTIDAD UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
CAPÍTULO 01 INSTALACION DE RED LTE					
DESP	UD	DESPLAZAMIENTOS, TRANSPORTE Y CARTOGRAFIA			
		Ud. Jornada de desplazamientos a obra por personal de trabajo en obras de telecomunicaciones, compuesto por vehículo turismo para movilización por carreteras, Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas. Transporte inferior a 50 km. Incluye desplazamiento de ida y vuelta. Costes indirectos incluidos.			
INGENIERO	1,000 h	Ingeniero de Telecomunicaciones con más de 5 años de experiencia	25,00	25,00	
PEON	1,000 h	Peon especialista en instalaciones de telecomunicación	15,00	15,00	
VEHICULO	1,000 jor	Vehículo turismo para movilización por carretera	65,00	65,00	
%CI	2,500 %	Costes indirectos	105,00	2,63	
		TOTAL PARTIDA.....			107,63
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO SIETE EUROS con SESENTA Y TRES CÉNTIMOS					
GEST	UD	GESTION DE LA OBRA			
		Ud. Gestión de obra, control y seguimiento de la misma, por equipo formado por Ingeniero de Telecomunicaciones y peon especialista en telecomunicaciones. Se contempla, la gestión de autorización, tramites y dirección de obra, así como la elaboración de informes y seguimiento de los trabajos. Costes indirectos incluidos.			
INGENIERO	60,000 h	Ingeniero de Telecomunicaciones con más de 5 años de experiencia	25,00	1.500,00	
PEON	30,000 h	Peon especialista en instalaciones de telecomunicación	15,00	450,00	
%CI	2,500 %	Costes indirectos	1.950,00	48,75	
		TOTAL PARTIDA.....			1.998,75
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS con SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS					
ENBS1	UD	INSTALACIÓN DE eNB'S con Microcélula			
		Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y microcélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grúa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos.			
INGENIERO	2,000 h	Ingeniero de Telecomunicaciones con más de 5 años de experiencia	25,00	50,00	
PEON	4,000 h	Peon especialista en instalaciones de telecomunicación	15,00	60,00	
TORRE	0,500 ud	Torre con soporte para hasta 3 antenas	215,94	107,97	
GRUA	0,900 jor	Alquiler de grúa elevadora (50-80 Tn)	32,80	29,52	
ANTENA	1,000 ud	Trabajos de conexión de antena	26,61	26,61	
CABLE	29,500 m	Suministro e instalación de cable	0,10	2,95	
MICROCELULA	1,000 ud	Suministro e instalación de microcélula	225,50	225,50	
%CI	2,500 %	Costes indirectos	502,60	12,57	
		TOTAL PARTIDA.....			515,12
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINIENTOS QUINCE EUROS con DOCE CÉNTIMOS					
ENBS2	UD	INSTALACIÓN DE eNB'S con Macrocelula			
		Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y macrocélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grúa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos.			
INGENIERO	2,000 h	Ingeniero de Telecomunicaciones con más de 5 años de experiencia	25,00	50,00	
PEON	4,000 h	Peon especialista en instalaciones de telecomunicación	15,00	60,00	
TORRE	1,000 ud	Torre con soporte para hasta 3 antenas	215,94	215,94	
GRUA	0,900 jor	Alquiler de grúa elevadora (50-80 Tn)	32,80	29,52	
ANTENA	1,000 ud	Trabajos de conexión de antena	26,61	26,61	
CABLE	29,500 m	Suministro e instalación de cable	0,10	2,95	
MACROCELULA	1,000 ud	Suministro e instalación de macrocélula	265,50	265,50	
%CI	2,500 %	Costes indirectos	650,50	16,26	
		TOTAL PARTIDA.....			666,78
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEISCIENTOS SESENTA Y SEIS EUROS con SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS					

CUADRO DE PRECIOS 1

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
CAPÍTULO 01 INSTALACION DE RED LTE			
DESP	UD	DESPLAZAMIENTOS, TRANSPORTE Y CARTOGRAFIA	107,63
		Ud. Jornada de desplazamientos a obra por personal de trabajo en obras de telecomunicaciones, compuesto por vehículo turismo para movilización por carreteras, Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas. Transporte inferior a 50 km. Incluye desplazamiento de ida y vuelta. Costes indirectos incluidos.	
			CIENTO SIETE EUROS con SESENTA Y TRES CENTIMOS
GEST	UD	GESTION DE LA OBRA	1.998,75
		Ud. Gestión de obra, control y seguimiento de la misma, por equipo formado por Ingeniero de Telecomunicaciones y peon especialista en telecomunicaciones.	
		Se contempla, la gestión de autorización, tramites y dirección de obra, así como la elaboración de informes y seguimiento de los trabajos. Costes indirectos incluidos.	
			MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS con SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS
ENBS1	UD	INSTALACIÓN DE eNB'S con Microcélula	515,12
		Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y microcélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grupa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos.	
			QUINIENTOS QUINCE EUROS con DOCE CENTIMOS
ENBS2	UD	INSTALACIÓN DE eNB'S con Macrocélula	666,78
		Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y macrocélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grupa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos.	
			SEISCIENTOS SESENTA Y SEIS EUROS con SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS

CAPÍTULO 01 INSTALACION DE RED LTE

DESP	UD DESPLAZAMIENTOS, TRANSPORTE Y CARTOGRAFIA		
	Ud. Jornada de desplazamientos a obra por personal de trabajo en obras de telecomunicaciones, compuesto por vehiculo turismo para movilización por carreteras, Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas. Transporte inferior a 50 km. Incluye desplazamiento de ida y vuelta. Costes indirectos incluidos.		
		Mano de obra.....	40,00
		Resto de obra y materiales.....	67,63
		TOTAL PARTIDA.....	107,63
GEST	UD GESTION DE LA OBRA		
	Ud. Gestión de obra, control y seguimiento de la misma, por equipo formado por Ingeniero de Telecomunicaciones y peon especialista en telecomunicaciones. Se contempla, la gestión de autorizacion, tramites y dirección de obra, así como la elaboración de informes y seguimiento de los trabajos. Costes indirectos incluidos.		
		Mano de obra.....	1.950,00
		Resto de obra y materiales.....	48,75
		TOTAL PARTIDA.....	1.998,75
ENBS1	UD INSTALACIÓN DE eNB'S con Microcélula		
	Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y microcélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grupa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos.		
		Mano de obra.....	110,00
		Maquinaria.....	29,52
		Resto de obra y materiales.....	375,60
		TOTAL PARTIDA.....	515,12
ENBS2	UD INSTALACIÓN DE eNB'S con Macrocélula		
	Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y macrocélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grupa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos.		
		Mano de obra.....	110,00
		Maquinaria.....	29,52
		Resto de obra y materiales.....	527,26
		TOTAL PARTIDA.....	666,78

CAPÍTULO 01 INSTALACION DE RED LTE					
DESP	UD DESPLAZAMIENTOS, TRANSPORTE Y CARTOGRAFIA				
	Ud. Jornada de desplazamientos a obra por personal de trabajo en obras de telecomunicaciones, compuesto por vehículo turismo para movilización por carreteras, Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas. Transporte inferior a 50 km. Incluye desplazamiento de ida y vuelta. Costes indirectos incluidos.				
	Trabajos de instalación de eNB's durante un mes	30	30,00		
				30,00	107,63
					3.228,90
GEST	UD GESTION DE LA OBRA				
	Ud. Gestión de obra, control y seguimiento de la misma, por equipo formado por Ingeniero de Telecomunicaciones y peon especialista en telecomunicaciones.				
	Se contempla, la gestión de autorización, tramites y dirección de obra, así como la elaboración de informes y seguimiento de los trabajos. Costes indirectos incluidos.				
	Gestión de la obra, seguimiento y control				
	Ingeniero 2 horas/día durante un mes				
	Peon especialista 1 hora/día durante un mes	1	1,00		
				1,00	1.998,75
					1.998,75
ENBS1	UD INSTALACIÓN DE eNB'S con Microcélula				
	Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y microcélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grúa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos.				
	Instalación de eNB'S con microcélulas	34	34,00		
				34,00	515,12
					17.514,08
ENBS2	UD INSTALACIÓN DE eNB'S con Macrocélula				
	Ud. Instalación de RED LTE, compuesta por torre con soporte de antenas variable (1 a 3), antena y suministro de cableado y macrocélula. Trabajos realizados por equipo formado por 1 Ingeniero de Telecomunicaciones y 4 peones especialistas en instalaciones de telecomunicación. Incluye alquiler de grúa elevadora de 50 a 80 Tn para trabajos en altura, así como cualquier herramienta y material auxiliar. Costes indirectos incluidos.				
	Instalación de eNB'S con Macrocélula	1	1,00		
				1,00	666,78
					666,78
	TOTAL CAPÍTULO 01 INSTALACION DE RED LTE				23.408,51
	TOTAL				23.408,51

RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
01	INSTALACION DE RED LTE	23.408,51	100,00
	TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	23.408,51	
	13,00 % Gastos generales	3.043,11	
	6,00 % Beneficio industrial	1.404,51	
	SUMA DE G.G. y B.I.	4.447,62	
	21,00 % I.V.A.	5.849,79	
	TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA	33.705,92	
	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	33.705,92	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de TREINTA Y TRES MIL SETECIENTOS CINCO EUROS con NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS

, a 4 de Septiembre de 2014

LA PROPIEDAD

LA DIRECCION FACULTATIVA