

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Prácticas de laboratorio para la asignatura Comunicaciones Móviles

Autor: Norlen Meneses Fuentes

Tutor: Msc. Mario Alberto González Cartas

Santa Clara

Curso 2013-2014

"Año 56 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Prácticas de laboratorio para la asignatura Comunicaciones Móviles

Autor: Norlen Meneses Fuentes

nmeneses@uclv.edu.cu

Tutor: Msc. Mario Alberto González Cartas

mcartas@uclv.edu.cu

Santa Clara

Curso 2013-2014

"Año 56 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Nuestro conocimiento es una pequeña isla en el enorme océano del desconocimiento.

Isaac Bashevis

DEDICATORIA

A mis padres Jorge y María Elena, a mis hermanas Nailan y Nailena, a mi abuela Gloria, a mi abuelo Jesús donde quiera que este, se sienta orgulloso de verme realizar este sueño. A mi familia en general, de todo corazón sin dejar de mencionar a nadie.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia en general, mis padres, mis tíos y tías, primos, hermanas, abuelas, por todo el apoyo que han sido capaz de ofrecerme durante los momentos buenos como malos, por todo el esfuerzo y sacrificio que han tenido que realizar para ayudarme a transitar este largo camino y así cumplir con mi deseo y metas en la vida. A mi tutor, por su apoyo y guía imprescindible en la realización del presente trabajo. A todos mis compañeros y amigos, que de una forma u otra han compartido tantos momentos memorables conmigo, al Chino, el Gaby, el Wao, Leandro, Ernesto, Tirado, Yoanner, Pila, Aniladis, Pedro, Yosmaykel, Emilio, Barco, Carlos Andris, Lianet, Lilis, el Charlie, el Dani, el memo, Rachel, Daschel, Alejandro, Chongo, Robertos, Carlitos, el Barco, etc.

TAREA TÉCNICA

- Definir los presupuestos teórico-metodológicos de las prácticas de laboratorio.
- Realizar una caracterización de los principales sistemas móviles celulares existentes hoy en día.
- Describir las principales etapas del diseño de redes móviles.
- Caracterizar la herramienta de software Atoll 2.8.0.
- Implementar prácticas de laboratorios a partir de los elementos definidos.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

En el presente trabajo se lleva a cabo la conformación de prácticas de laboratorio para la asignatura Comunicaciones Móviles. Para ello se describen los aspectos necesarios para la confección de dicho tipo de clase; se caracterizan los estándares fundamentales existentes hoy en día en las comunicaciones móviles, como lo son GSM, UMTS y LTE. Además se describen las principales etapas a tener en cuenta para el diseño de redes móviles, sobre todo la etapa del dimensionamiento; se hace una caracterización del software Atoll y se analizan los resultados obtenidos en el laboratorio de simulación 4 referente a la tecnología LTE.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. Prácticas de laboratorio. Presupuestos teórico-metodológico	5
1.1 Definición de la práctica de laboratorio dentro del marco normativo de la Educación Superior Cubana.....	5
1.2 Caracterización e importancia de las prácticas de laboratorio.....	6
1.3 Tipos de prácticas de laboratorio en las Ciencias Tecnológicas.....	8
1.3.1 Plan de estudios D y asignatura Comunicaciones Móviles.....	9
1.4 Sistemas móviles celulares	10
1.4.1 Sistema GSM.....	10
1.4.1.1 Arquitectura de una red GSM	10
1.4.1.2 Sistema de conmutación de red (NSS)	11
1.4.1.3 Sistema de estaciones bases (BSS).....	12
1.4.1.4 Centro de Monitoreo de la Red	12
1.4.1.5 Método de Modulación.....	13
1.4.2 Modificaciones en el sistema GSM. El sistema GPRS.....	13
1.4.2.1 Características de las Conmutaciones de Circuitos y de Paquetes	14

1.4.2.2	Arquitectura de la red GPRS	14
1.4.3	El sistema UMTS.....	16
1.4.3.1	Requerimientos de un sistema 3G.....	16
1.4.3.2	Arquitectura general de la red UMTS	17
1.4.3.3	Red Central (CN)	18
1.4.3.4	Red Terrestre UMTS de Acceso de Radio (UTRAN)	18
1.4.4	Principales aspectos del sistema WCDMA.....	18
1.4.5	Tecnología WiMAX Móvil.....	20
1.4.5.1	WiMAX-Advanced	21
1.4.6	Tecnología LTE.....	21
1.4.6.1	LTE-Advanced.....	22
1.4.6.2	Arquitectura del sistema LTE	23
1.5	Conclusiones del capítulo	24
CAPÍTULO 2. Consideraciones generales.....		25
2.1	Dimensionamiento de una red móvil.....	25
2.1.1	Cobertura radioeléctrica	27
2.1.2	Capacidad	28
2.1.2.1	Pronóstico de tráfico	28
2.1.3	Ubicación de las Estaciones Base	29
2.2	Evaluación y Optimización	30
2.2.1	Planificación de frecuencia.....	31
2.3	Herramienta de software Atoll 2.8.0.....	32
2.3.1	Características fundamentales.....	33
2.3.2	Ventanas de Atoll.....	33

2.3.3	Ventana de exploración	34
2.4	Estructura de las Prácticas de Laboratorio	36
2.5	Conclusiones del capítulo	37
CAPÍTULO 3. Prácticas de laboratorio		38
3.1	Conformación de las prácticas de laboratorio.....	38
3.1.1	Laboratorio de Simulación 1 “Introducción al software Atoll 2.8.0”	39
3.1.2	Laboratorio de Simulación 2 “Tecnología GSM”	42
3.1.3	Laboratorio de Simulación 3 “Tecnología UMTS”	44
3.1.4	Laboratorio de Simulación 4 “Tecnología LTE”	47
3.1.5	Análisis del laboratorio de Simulación 4	49
3.2	Conclusiones del capítulo	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		55
Conclusiones		55
Recomendaciones		55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		56
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		58
ANEXOS		62
Anexo 1. Modelos de propagación.....		62
Anexo 2. Parámetros de GSM.....		64
Anexo 3. Parámetros de LTE.....		65

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones móviles, y en especial la telefonía móvil, han registrado un crecimiento espectacular en los últimos años. De hecho, se han convertido en una de las fuerzas motrices más importantes de la industria y los servicios de telecomunicaciones de hoy día. Este desarrollo vino aparejado, inicialmente, con la introducción e implementación de las redes móviles privadas o *Trunking*, y el sistema telefónico móvil avanzado, una vez hechos comerciales estos sistemas. Después llegó la telefonía móvil digital, las agendas personales, los computadores portátiles, los miniordenadores y un sin fin de dispositivos dispuestos a conectarse vía radio con otros dispositivos o redes. Posteriormente se dio paso a la fusión entre las comunicaciones móviles e Internet, el verdadero punto de inflexión tanto para uno como para otro (2010b). Los múltiples esfuerzos realizados que perseguían dicha extensión, tanto en los sectores industriales y de investigación, se pueden ver recompensados en las ampliamente desplegadas redes de tercera generación o 3G, las redes móviles actuales.

Inicialmente el objetivo de estos sistemas de comunicaciones móviles era otorgar movilidad a los servicios de telefonía. Pero desde entonces las comunicaciones móviles han pasado de mejorar la calidad de voz, a la adición de intercambios básicos, y de ahí, a la creación de bases tecnológicas para la utilización de servicios multimedia y el aumento de sus valores de eficiencia y desempeño (2011).

El advenimiento de los sistemas de tercera generación o Internet Móvil, han hecho posible muchos nuevos servicios y aplicaciones que han impactado tanto en el sector público como en el sector privado. Con la evolución de las redes móviles a la tercera generación, los

usuarios pueden interactuar en vivo, a través de voz y video, con sus familiares y amigos (Cuadrado, 2012).

Al mismo tiempo, los servicios de intercambio y las redes sociales han dado como resultado una multitud de texto, audio, video, que están siendo constantemente subidos a Internet. Los usuarios también pueden acceder a sus documentos de trabajo y finanzas en el camino, y conectarse a sus estaciones de trabajo localizadas en su oficina o en las “nubes” de Internet. Mientras tanto, en esferas como la salud, se puede monitorizar el estado de los pacientes remotamente o realizar operaciones conjuntas usando el servicio de videoconferencia. La tercera generación también permite a otros sectores disponer de servicios de localización en tiempo real para el seguimiento de vehículos y camiones de carga(2007a).

Ante este acelerado desarrollo tecnológico, es labor del docente ofrecer al alumnado formas organizativas de impartir la docencia que les permitan una mejor y más clara comprensión de los conceptos teóricos estudiados, teniendo en cuenta que, en ocasiones, el estudio de conceptos asociados a la propagación de señales de radio y al diseño sistemas de comunicaciones móviles es tratado de manera demasiado teórica, limitando el componente práctico que permitiría afianzar los conceptos estudiados.

Por ello, se demuestra la utilidad de hacer uso de aplicaciones como *software* de simulación que permitan afianzar diferentes conceptos sobre radiocomunicaciones, mediante casos prácticos y realistas. Existen actualmente aplicaciones que permiten llevar a cabo simulaciones de radio propagación, cobertura en un radioenlace, dimensionamiento de redes móviles, estudios de tráfico, etc. Estas herramientas, tienen en cuenta mapas de elevación (topográficos y urbanos) y diferentes modelos de propagación, lo que les permite arrojar resultados precisos y de esta forma propiciar que el estudiante evolucione en los razonamientos, y en base a ellos logre encontrar la solución a diferentes casos prácticos que se les podría plantear para resolver en dicho *software* de simulación. Con esto, se lograría complementar una etapa vital del proceso de aprendizaje, afianzando aún más los conocimientos adquiridos gracias al mayor acercamiento a la realidad(Gallosa, 2013).

Atendiendo a que la asignatura Comunicaciones Móviles es una de las asignaturas que poseen insuficiente material de estudio para contribuir al desarrollo de habilidades por parte de los estudiantes, como la simulación y diseño de redes móviles, se hace necesario la

conformación de otras herramientas que posibiliten la adquisición de conocimientos sobre las tecnologías que rodean el amplio sector de las comunicaciones móviles, por ello se propone el siguiente problema científico:

¿Cómo contribuir al desarrollo de habilidades de diseño y simulación de redes móviles en la asignatura de Comunicaciones Móviles de la carrera Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica mediante el uso del software Atoll 2.8.0?

Objetivo General: Diseñar prácticas de laboratorio para la asignatura Comunicaciones Móviles con el software Atoll 2.8.0.

Objetivos específicos:

- Caracterizar de las prácticas de laboratorio dentro del marco de la educación superior cubana.
- Describir las principales características de los sistemas móviles celulares existentes
- Describir las principales etapas del diseño de redes móviles.
- Caracterizar la herramienta de software Atoll 2.8.0.
- Elaborar un conjunto de prácticas de laboratorio apoyadas con el software Atoll 2.8.0 con el fin de incluirlas en el programa de la asignatura Comunicaciones Móviles.

Interrogantes Científicas:

- ¿Qué importancia poseen las prácticas de laboratorio en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Educación Superior?
- ¿Qué importancia poseen hoy en día los sistemas móviles celulares?
- ¿Qué aspectos son necesarios conocer a la hora de realizar el dimensionamiento de una red móvil?
- ¿Qué características posee el *software* Atoll 2.8.0 que lo hacen más provechoso para la simulación y diseño de redes móviles?
- ¿Cómo estructurar las prácticas de laboratorios para alcanzar un desarrollo en las habilidades y pensamiento del estudiante a la hora de dimensionar una red móvil?

Organización del Informe

El informe de la investigación se estructura en resumen, introducción, capitulario, conclusiones, referencias bibliográficas, bibliografía y anexos.

En la introducción se definirá introducirá la importancia, actualidad y necesidad de la investigación.

CAPÍTULO I: Se dedica a la definición y caracterización de las prácticas de laboratorio dentro del marco de la educación superior cubana. Además se ofrece una caracterización de los principales sistemas móviles celulares.

CAPÍTULO II: Se dedica a la definición de los aspectos necesarios a tener en cuenta para el diseño de redes móviles, se describe cada una de las etapas que intervienen en este proceso. También se definen los materiales y métodos necesarios para la implementación de las prácticas de laboratorio y se caracteriza la herramienta de software Atoll.

CAPÍTULO III: Se ofrece un conjunto de prácticas de laboratorio simulados basadas en el uso del *software* Atoll, donde se toma una como ejemplo y se le da solución, ofreciéndose un análisis de los elementos claves del diseño de una red móvil.

CAPÍTULO 1. Prácticas de laboratorio. Presupuestos teórico-metodológico

En este capítulo se plantean las bases teórico-metodológicas del proceso docente educativo de la educación Superior Cubana, haciendo énfasis en la práctica de laboratorio como una de las formas fundamentales de aprendizaje significativo. También se describen las características principales de los estándares de comunicaciones móviles existentes hoy en día, los cuales son necesarios conocer para la preparación de los estudiantes en la asignatura.

1.1 Definición de la práctica de laboratorio dentro del marco normativo de la Educación Superior Cubana.

La resolución No. 210/07 que establece el reglamento docente y metodológico de la Educación Superior Cubana, en su artículo 104, define las formas organizativas fundamentales del proceso docente-educativo en la educación superior. Estas son (Nieves, 2012):

- La clase.
- La práctica de estudio.
- La práctica laboral.
- El trabajo investigativo de los estudiantes.
- La autopreparación de los estudiantes.
- La consulta.
- La tutoría.

Con respecto a la clase como forma organizativa del proceso docente educativo, en el artículo 105 refiere que tiene como objetivos la adquisición de conocimientos, el desarrollo de

habilidades y la formación de valores e intereses cognoscitivos y profesionales en los estudiantes, mediante la realización de actividades de carácter esencialmente académico(2007c).

Las clases se clasifican sobre la base de los objetivos que se deben alcanzar y sus tipos principales son: la conferencia, la clase práctica, el seminario, la clase encuentro, la práctica de laboratorio y el taller.

En cada modalidad de estudio, el profesor debe utilizar adecuadamente las posibilidades que brinda cada tipo de clase para contribuir al logro de los objetivos educativos formulados en el programa analítico de la asignatura y del año académico en que se desarrolla(Nieves, 2012).

La práctica de laboratorio se define como el tipo de clase que tiene como objetivos que los estudiantes adquieran las habilidades propias de los métodos y técnicas de trabajo y de la investigación científica; amplíen, profundicen, consoliden, generalicen y comprueben los fundamentos teóricos de la disciplina mediante la experimentación, empleando para ello los medios necesarios.

Las prácticas de laboratorio se realizan en instalaciones propias de las universidades o en las que existen en las unidades docentes u otras entidades laborales. Como norma, en este tipo de clase se deberá garantizar el trabajo individual de los estudiantes en la ejecución de las tareas previstas(Nieves, 2012).

1.2 Caracterización e importancia de las prácticas de laboratorio

Este tipo de forma de enseñanza garantiza un aprendizaje significativo, pues da la oportunidad a los estudiantes de enfrentar en la práctica la solución de problemas científicos y el análisis de fenómenos aplicando los presupuestos teóricos, métodos y procedimientos de la disciplina así como los medios y herramientas disponibles.

El proceso de realización de las prácticas de laboratorio constituye parte integrante del trabajo independiente de los estudiantes, el cual está constituido por tres etapas (Cañedos Iglesias, 2008):

- Preparación previa a la práctica.
- Ejecución de la práctica.
- Conclusiones de la práctica.

La preparación previa se desarrolla fundamentalmente sobre la base del estudio teórico orientado por el profesor como fundamento de la práctica, así como el estudio de las técnicas y procedimientos de los experimentos correspondientes.

El desarrollo o ejecución de la práctica se caracteriza por el trabajo de los estudiantes con el material de laboratorio (utensilios, instrumentos, aparatos, y reactivos), la aplicación de las técnicas y métodos propios de cada actividad, el análisis de los fenómenos deseados, el reconocimiento de los índices característicos de su desarrollo, la anotación de las observaciones, entre otras tareas docentes(Nieves, 2012).

Durante las conclusiones el estudiante deberá analizar los datos de la observación y arribar a las conclusiones y generalizaciones que se derivan de la práctica en cuestión.

En las prácticas de laboratorio predominan la observación y la experimentación, lo que exige la utilización de métodos y procedimientos específicos para el trabajo.

En relación con esto, son significativas la observación, explicación, comparación, elaboración de informes, entre otras. La preparación de las prácticas de laboratorio exige del profesor una atención especial a los aspectos organizativos, ya que su realización se basa fundamentalmente, en la actividad individual o colectiva de los alumnos, de manera independiente.

Al igual que en otros tipos de clases, es necesario durante su preparación tener en cuenta respetar las etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje(Nieves, 2012):

- Motivación
- Orientación
- Ejecución
- Evaluación

Durante el proceso organizativo de la práctica se deben determinar con precisión las características de la actividad de los estudiantes y las habilidades que se van a desarrollar, garantizar las condiciones materiales que exige el cumplimiento de los objetivos propuestos y diseñar la estructura metodológica de la práctica de laboratorio(Nieves, 2012).

Resulta necesario además, determinar una secuencia de pasos que faciliten la dirección, por el profesor, de la realización de la práctica de laboratorio, entre los que se encuentran las siguientes(Nieves, 2012):

- Orientación de los objetivos y las tareas fundamentales a desarrollar y las técnica operatorias básicas que se utilizaran.
- Distribución de materiales.
- Trabajo independiente de los estudiantes.
- Discusión colectiva de los resultados obtenidos.

1.3 Tipos de prácticas de laboratorio en las Ciencias Tecnológicas

Los laboratorios se clasifican en función de dos criterios: (1) La forma de acceder a los recursos (local o remota) para propósitos de experimentación y (2) la naturaleza del sistema físico (real o virtual), con lo que los entornos de experimentación quedarían clasificados en(DORMIDO, 2004):

- Locales y reales: Laboratorios presenciales con plantas reales.
- Locales y virtuales: Laboratorios presenciales con plantas simuladas.
- Remotos y reales: Teleoperación de una planta real.
- Remoto y virtual: Laboratorios remotos con plantas simuladas.

Como alternativa a los laboratorios presenciales y remotos se pueden utilizar laboratorios virtuales. En este caso se usan los ordenadores para simular el comportamiento de los sistemas a estudiar haciendo uso de modelos matemáticos. Aunque en este caso no se interacciona con plantas reales, la experimentación con modelos simulados es comparable siempre que se cumplan las siguientes premisas: (1) Se usen modelos matemáticos realistas que representen al alumno los detalles importantes del sistema a analizar y (2) se complementen las gráficas que muestran la evolución temporal de los sistemas con animaciones que permitan a los alumnos visualizar y entender mejor el comportamiento del sistema.

Dentro de las ventajas reconocidas a los laboratorios virtuales se encuentran las siguientes(Calvo, 2009):

- 1) Dado que un laboratorio virtual se basa en modelos matemáticos que se ejecutan en ordenadores, su configuración y puesta a punto es mucho más sencilla que la configuración y puesta a punto de los laboratorios reales.
- 2) Presentan un grado de robustez y seguridad mucho más elevado ya que al no haber dispositivos reales éstos no pueden causar problemas en el entorno.

1.3.1 Plan de estudios D y asignatura Comunicaciones Móviles

Los cambios constantes y cada vez más rápidos en las esferas culturales, políticas y socio-económicas en Cuba han traído un desarrollo impetuoso en las Telecomunicaciones y la Electrónica produciéndose un salto tecnológico con la introducción de las técnicas más actuales. Esto ha hecho que se necesite formar profesionales integrales de perfil amplio, capaces de diseñar, explotar y gestionar sistemas de radiocomunicación y sistemas telemáticos y electrónicos, con un alto sentido ético y de consagración por la labor que realiza, y consciente de la necesidad de lograr una eficiencia económica acorde con los requerimientos de nuestra sociedad socialista, preservando el medio ambiente(2007b).

Tomando en cuenta lo anterior en septiembre de 2003 se aprobó en el Consejo de Dirección del MES (Ministerio de Educación Superior) el inicio de un nuevo proceso de transformación curricular con el protagonismo de las Comisiones Nacionales de carreras, bajo la dirección del centro rector y con la colaboración metodológica de la Dirección de Formación de Profesionales del organismo. Así, las carreras adscritas al MES culminaron en el curso 2008-2009 el proceso de elaboración y defensa pública de la cuarta generación de planes de estudio, Planes “D”, con una amplia y activa participación de los principales organismos empleadores(2010a).

En este nuevo plan de estudios se proponen variantes donde el estudiante tenga la posibilidad de aprender de forma no tan presencial, guiado por profesores y especialistas que orienten adecuadamente la materia que deben dominar. En la confección del mismo cada centro de estudio de la educación superior incluye, además del las asignaturas básicas del *curriculum* de estudio, asignaturas propias y asignaturas electivas, permitiendo una diferenciación acorde a las necesidades del territorio al cual el centro de estudio entrega a sus egresados.

La asignatura de Comunicaciones Móviles cuya aparición está dada en el Plan D siendo una asignatura propia de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la UCLV

(Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas). Esta materia contaba originalmente con 48 horas clases donde se caracterizaba los sistemas de comunicaciones básicos utilizados en el país; *Trunking* y GSM (*Global System for Mobile Communication*), y se brindaban las pautas y procesos para su dimensionamiento(2009). Sin embargo la rápida evolución de esta rama de las telecomunicaciones ha hecho que se haga necesario incorporar a la misma las nuevas tecnologías; UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), LTE (*Long Term Evolution*) y WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), que se implementan hoy en día en el mundo para que los futuros egresados adquieran los conocimientos básicos de estas y estén preparados para enfrentar el cambio tecnológico de las redes móviles en el país.

1.4 Sistemas móviles celulares

1.4.1 Sistema GSM

El sistema GSM fue diseñado como una plataforma independiente en donde no se especificaban los requisitos de hardware, pero si las funciones de red y sus interfaces en detalle. Esta flexibilidad en el hardware, les permitía a los operadores comprar equipos de diferentes proveedores y los diseñadores podían ser creativos en cuanto a la forma en que proporcionaban la funcionalidad de los mismos(Ericsson, 2009a).

1.4.1.1 Arquitectura de una red GSM

Una red GSM se divide en dos sistemas como se muestra en la figura 1.1 y cada sistema se compone por un número de unidades funcionales, las cuales son componentes individuales de la red móvil(Ericsson, 2009a).Estos dos sistemas se denominan:

- NSS (Network Switching Subsystem).
- BSS (Base Station Subsystem).

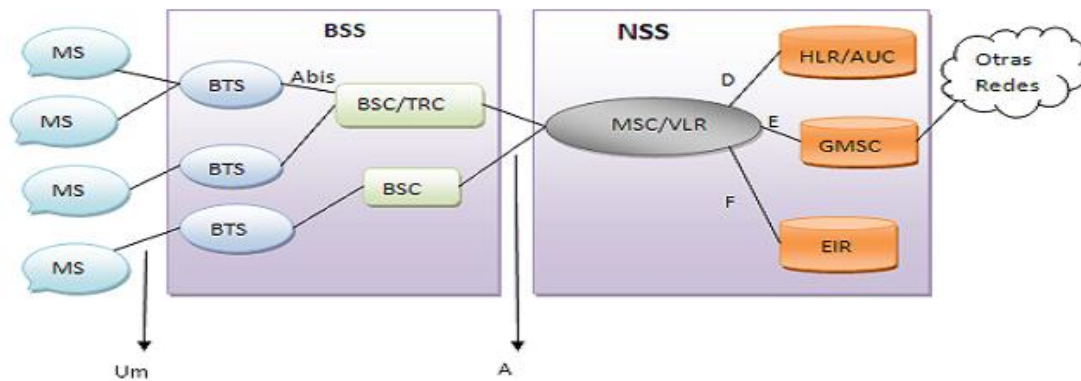


Figura 1.1 Arquitectura de red GSM(Ericsson, 2009a)

Como se muestra en la figura 1.1, una red GSM también cuenta con interfaces que se encargan de garantizar el correcto funcionamiento de la red. Estas interfaces se definen de la siguiente forma(Ericsson, 2009a):

Interfaz A: Se encarga de proporcionar información, señalización y tráfico, entre el MSC (Centro de Conmutación de Servicios Móviles) y el BSS (Sistema de Estaciones Bases).

Interfaz Abis: Es la responsable de transmitir información de tráfico y de señalización entre el BSC (Controlador de Estaciones Base) y las BTS (Estación Base de transmisión y recepción) de la red.

Interfaz Um: Es la interfaz de aire, se encarga de recibir y transmitir la información de tráfico y de señalización entre las BTS y las estaciones móviles. Esto lo hace empleando la técnica de TDMA (*Time Division Multiple Access*).

1.4.1.2 Sistema de conmutación de red (NSS)

El sistema NSS se encarga del procesamiento y conmutación de las llamadas en la red GSM, además contiene las bases de datos de los abonados para poder encargarse de las funciones relacionadas con cada usuario. El sistema NSS se compone de los siguientes subsistemas(Ericsson, 2009a):

- Centro de Conmutación de Servicios Móviles (MSC).

El MSC es el nodo primario de una red GSM. Este nodo es el encargado de controlar las llamadas desde y hacia las MSs (Mobile Station). Las principales funciones de un MSC son las siguientes(Ericsson, 2009a):

- Conmutación y encaminamiento de las llamadas.
- Tarificación.
- Suministro de los servicios.
- Control de las BSCs conectadas.
- Registro de Localización del Visitador (VLR).
- Registro de localización permanente (HLR).
- Registro de identificación de equipo (EIR).
- Centro de Autenticación (AUC).
- Compuerta MSC (GMSC).

1.4.1.3 Sistema de estaciones bases (BSS)

El BSS es el nodo encargado de realizar todas las funciones relacionadas con los enlaces de radio. El BSS suministra el canal entre los MSs y el MSC comunicándose con los MSs mediante la interfaz aérea (Um) y con el MSC mediante canales PCM a 2 Mbps. El BSS está compuesto por los siguientes elementos(Ericsson, 2009a):

- Estación Base de transmisión y recepción (BTS).
- Controlador de Estaciones Base (BSC).

1.4.1.4 Centro de Monitoreo de la Red

El centro de monitoreo de la red es una parte muy importante de la red GSM ya que se encarga de la supervisión de todas las unidades de la red. Este se compone de dos elementos(Cuadrado, 2012):

- Centro de Operación y Mantenimiento (OMC).
- Centro de administración de la RED (NMC).

El OMC es un centro de monitoreo computarizado que esta conectado a otros componentes de la red como los MSCs y BSCs. El OMC es el encargado de la información sobre el estado de la red y puede monitorear y controlar una variedad de parámetros del sistema.

En una red GSM se necesita un solo NMC y a este se le subordinan varios OMCs, la ventaja de esta forma jerárquica de control de red es que la NMC se utiliza para controlar la red de manera general, mientras que cada OMC se puede concentrar en el control específico de una región, o localidad en particular, de esta forma se puede administrar la red de forma más óptima (Cuadrado, 2012).

1.4.1.5 Método de Modulación

En GSM, el ancho de banda de la portadora es 200 KHz. Por regla general, utilizando técnicas simples de modulación, se puede transmitir 1 bit/s con un 1 Hz. Usando este método, sólo se podría transmitir 200 Kbit/s con 200 KHz de ancho de banda. Sin embargo, técnicas de modulación más desarrolladas están disponibles con las cuales se pueden transmitir más bits/s con 1Hz. La técnica de modulación usada en GSM se denomina GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). GMSK posibilita la transmisión de 270 Kbit/s dentro de un canal del 200 KHz (Cuadrado, 2012).

La capacidad del canal en GSM no se compara favorablemente con otras normas digitales para redes móviles, en las que se pueden acomodar más bits/s dentro de un canal. En este sentido la capacidad de otras normas móviles es más alta. Sin embargo, GSM tiene mayor tolerancia a la interferencia. Esto a su vez posibilita la reutilización más apretada de las frecuencias, lo cual conduce a una ganancia global en la capacidad por encima del desempeño de otros sistemas (Cuadrado, 2012).

□ Método de Acceso: Acceso múltiple por división del tiempo (TDMA).

En GSM, una trama TDMA consta de 8 ranuras de tiempo por lo tanto hay 8 canales físicos por cada frecuencia de portadora en GSM. Esto quiere decir que una portadora de radio de GSM puede transmitir 8 llamadas (Ericsson, 2009a).

1.4.2 Modificaciones en el sistema GSM. El sistema GPRS

El sistema GPRS (*General Packet Radio Service*) se diseñó con el objetivo de mejorar la calidad de los servicios de GSM ya que introducía la conmutación de paquetes como técnica para la transmisión de datos. El sistema GPRS es considerado una extensión de la red GSM que ofrece un servicio adicional a los usuarios que deseen tener acceso a Internet o a redes LAN (Local Area Network) utilizando un MS como dispositivo para conectarse.

1.4.2.1 Características de las Conmutaciones de Circuitos y de Paquetes

Mientras que el sistema GSM utiliza la conmutación de circuitos en la interfaz aérea para la telefonía, el sistema GPRS utiliza la conmutación de paquete, ambos según el estándar GSM.

En el sistema GSM para la comunicación mediante CS (Circuit Switching) la red le asigna un canal de radio a un MS para la transmisión de datos. Aunque el volumen de datos a transmitir sea pequeño el canal de radio se mantiene ocupado durante la conexión y el usuario debe pagar por el tiempo completo que esta dure. Esto provoca que los recursos de radio no se utilicen de forma eficiente desperdiciándose el ancho de banda disponible.

El sistema GPRS al igual que otros sistemas que utilizan PS (Packet Switch), se caracteriza por el hecho de que un canal de radio se comparte entre varios MSs. Cuando un MS genera un paquete de datos, la red lo envía a su destino en el primer canal de radio disponible. Cuando se transfiere un mensaje con grandes cantidades de datos, se divide el mensaje en varios paquetes. Una vez que los paquetes alcancen su destino, se vuelven a montar para formar el mensaje original. Todos los paquetes recibidos se almacenan en datos almacenadores intermediarios. Los paquetes de datos de los MSs pueden utilizar varios canales de radio para varios paquetes durante la transmisión. Todo esto provoca un uso eficiente de los escasos recursos de radio y por lo tanto un aumento de la capacidad y de la calidad de los servicios de la red(Ericsson, 2009b).

1.4.2.2 Arquitectura de la red GPRS

Como se mencionó anteriormente el sistema GPRS es una extensión de la red GSM y por lo tanto los componentes de la red GSM se mantiene igual. El sistema GPRS lo que hace es agregar a la red dos nuevos nodos como se muestra en la figura 1.2. Estos nodos son los encargados de realizar la conmutación de paquetes y se denominan(Ericsson, 2009b):

- SGSN (Serving GPRS Support Node).
- GGSN (Gateway GPRS Support Node).
- Nodo de Soporte de Servicios GPRS (SGSN).

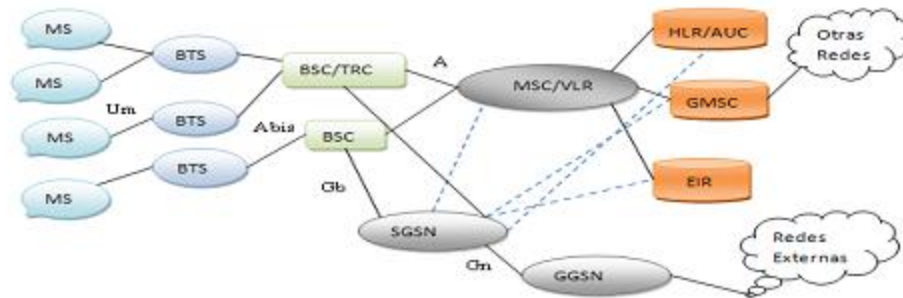


Figura 1.2 Componentes de la red GPRS(Ericsson, 2009b).

El SGSN es un componente primario usado en la red GSM por el sistema GPRS. El SGSN es el encargado de transferir y encaminar los paquetes de datos entrantes y salientes de los MSs que se encuentren dentro de su área de servicio. Además de esta función el SGSN se encarga de(Ericsson, 2009b):

- Autenticación y registro de los móviles.
- Actualización de la posición de los usuarios.
- Conexión con los demás nodos de la red GSM.
- Salida de los datos de facturación.
- Nodo de Soporte de Entrada GPRS (GGSN).

Al igual que el SGSN el GGSN es un nodo primario de la red GSM utilizado por el sistema GPRS y su principal función es la de proveer la interfaz hacia las redes externas IP. Por lo tanto GGSN es el encargado de la interconexión con los ISP (Proveedores de Servicios de Internet). Desde el punto de vista de las redes IP, el GGSN actúa como un router para las direcciones IP de los suscriptores que cuentan con el servicio de la red GPRS ya que oculta la infraestructura de la red GPRS al resto de las redes externas. Las principales funciones de GGSN son(Ericsson, 2009b):

- Mantener los datos de los usuarios: El nodo GGSN contiene información sobre cuál es el nodo SGSN al que está conectado el usuario para saber donde enviar los datos de Internet o intranet que este solicita.
- Asignación de direcciones IP a los terminales GPRS de forma estática o dinámica.
- Proporcionar los servicios básicos para el acceso a ISP.

- Garantizar la privacidad y seguridad para la red de transporte y el terminal GPRS.

1.4.3 El sistema UMTS

El sistema UMTS fue desarrollado por 3GPP (Proyecto de la Sociedad de Tercera Generación) con el objetivo de satisfacer la alta demanda de servicios de multimedia, mediante el uso eficiente de los recursos de radio. Este sistema ha tenido tanto éxito, que se ha convertido en la plataforma principal de las comunicaciones móviles y su implementación constituye la principal tarea de las compañías de telefonía celular. Los beneficios primarios de UMTS incluyen alta eficiencia espectral y soporte para aplicaciones de datos que requieren un elevado ancho de banda. Los operadores pueden utilizar una red central común que brinde soporte a múltiples redes de acceso de radio, entre ellas GSM, GPRS y WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). En redes con acceso disponible tanto a GSM como a WCDMA, la red puede conmutar usuarios entre estas redes. Esto resulta importante para administrar la capacidad ya que se puede seleccionar la red de acceso de radio más adecuada para el usuario, dependiendo de las preferencias del usuario y de la carga que tenga la red en ese momento (Pérez, 2012).

1.4.3.1 Requerimientos de un sistema 3G

Los principales requerimientos de un sistema de 3G son (Cuadrado, 2012):

- Alta velocidad en transmisión de datos, hasta 144 Kbit/s, velocidad de datos móviles (vehicular); hasta 384 Kbit/s, velocidad de datos portátil (peatonal) y hasta 2 Mbit/s, velocidad de datos fijos (terminal estático).
- Transmisión de datos simétrica y asimétrica.
- Servicios de conmutación de paquetes y conmutación de circuito.
- Calidad de voz comparable con la calidad ofrecida por los sistemas de telefonía fija.
- Mayor capacidad y mejor eficiencia del espectro con respecto a los sistemas actuales.
- Capacidad de proveer servicios simultáneos a usuarios finales y terminales.
- Incorporación de sistemas de segunda generación y posibilidad de coexistencia e interconexión con servicios móviles por satélite.
- Los sistemas de tercera generación deberán proveer soporte para aplicaciones como:
- Voz en banda estrecha a servicios multimedia en tiempo real y banda ancha.

- Apoyo para datos a alta velocidad para navegar por la world wide web, entregar información como noticias, tráfico y finanzas por técnicas de empuje y acceso remoto inalámbrico a Internet e intranets.
- Servicios unificados de mensajes como correo electrónico multimedia.
- Aplicaciones de comercio electrónico móvil, que incluye operaciones bancarias y compras móviles.
- Aplicaciones audio/video en tiempo real como videoteléfono, videoconferencia interactiva, audio y música, aplicaciones multimedia especializadas como telemedicina y supervisión remota de seguridad.

1.4.3.2 Arquitectura general de la red UMTS

Una red UMTS utiliza la misma red central de GSM pero con una interfaz de radio completamente diferente. La red está compuesta por dos partes fundamentales como se muestra en la figura 1.3(Castro, 2006).

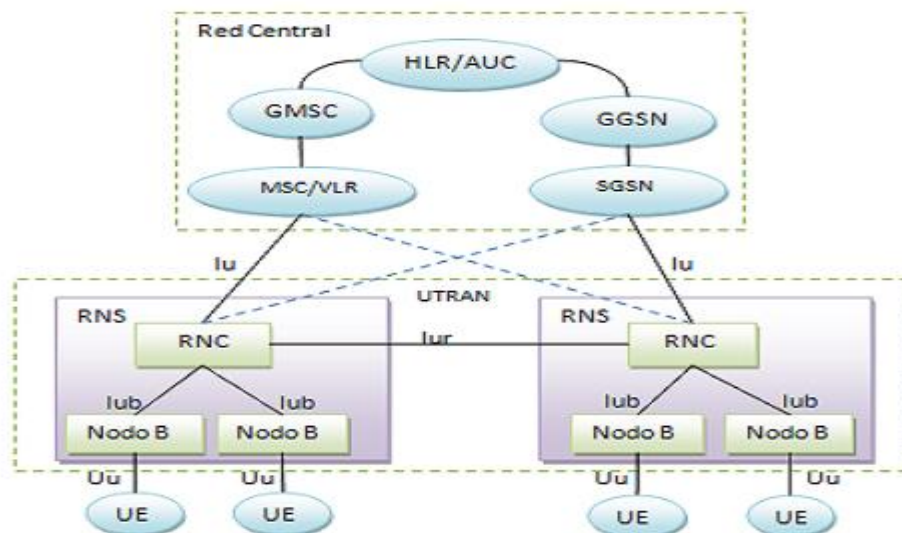


Figura 1.3 Arquitectura de la red UMTS(Castro, 2006)

En UMTS se distinguen varias tecnologías: TDD-WCDMA (*Time Division Duplex*), FDD-WCDMA (*Frequency Division Duplex*), TD-SCDMA (*Time Division-SCDMA*).

Para este trabajo se adoptó como tecnología de 3G a desplegar, la FDD-WCDMA, por ser la más universalmente disponible y utilizada a nivel mundial, por tanto, a partir de aquí, el término UMTS se referirá a esta tecnología en particular.

1.4.3.3 Red Central (CN)

La principal función de la Red Central es proporcionar la conmutación, el enrutamiento y el tránsito para el tráfico de los usuarios. También contiene las bases de datos y las funciones para la administración de la red. La arquitectura básica de una CN para UMTS está basada en la red GSM y GPRS. Pero todos los equipos son modificados mediante una actualización de software para las operaciones y los servicios de UMTS. La CN se divide en conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. Los elementos que utilizan la conmutación de circuito son el MSC y el VLR. Los elementos con conmutación de paquetes son los SGSN y el GGSN. Algunos elementos como el EIR, HLR, VLR y AUC son compartidos por ambos dominios (Castro, 2006).

1.4.3.4 Red Terrestre UMTS de Acceso de Radio (UTRAN)

La red UTRAN está compuesta por dos nodos principales:

- RNC (Controlador de la Red de Radio). Este nodo es el equivalente al nodo BSC de la red GSM.
- Nodo-B. Este nodo es el equivalente al nodo BTS de la red GSM. Los elementos funcionales definidos en UTRAN se comunican entre sí por una serie de interfaces (Castro, 2006):
 - Interfaz entre CN y RNS (Iu).
 - Interfaz entre los RNC (Iur).
 - Interfaz entre el RNC y Los Nodos-B (Iub).
 - Interfaz de radio (Uu).

1.4.4 Principales aspectos del sistema WCDMA

A la red UTRAN también se le conoce con el nombre de WCDMA (Amplio Acceso Múltiple por División de Códigos) debido a que esta es la tecnología que hace posible el aumento del ancho de banda y que se obtengan altas razones de transmisión de datos en la red de acceso de radio de UMTS.

El sistema WCDMA es uno de los principales adelantos que se introducen con las redes UMTS. Con este sistema se logra maximizar la capacidad de las redes móviles ya que hace posible que los usuarios trabajen a una sola frecuencia. Por ejemplo, con la tecnología TDMA de la red GSM es necesario dividir el ancho de banda asignado en varias portadoras de frecuencia para poder cubrir todo el área de servicio de la red, lo cual limita considerablemente la capacidad de la misma. Con el sistema WCDMA esto no es necesario ya que los usuarios trabajan a una misma frecuencia y por lo tanto se dispone de todo el ancho de banda en todos los sectores de la red. Esto se debe a que en WCDMA los usuarios se separan mediante códigos de extendido (*spreading*)(Pérez, 2012).

Para la red UTRAN existen dos códigos de extendido en su interfaz aérea: los códigos ortogonales y los códigos de pseudo-ruido. Ambos son usados tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada. Los códigos ortogonales son aquellos que en un ambiente ideal no interfieren unos con otros. Para lograr esto los códigos deben estar sincronizados en el tiempo. Por otra parte los códigos de pseudo-ruido son códigos con muy buena auto correlación. La auto correlación mide la correlación entre la señal y la versión de la misma que ha sido retardada en el tiempo. Si la señal recuperada en el receptor es multiplicada por el código de pseudo-ruido que la generó, debe haber una buena auto correlación siempre que la señal sea correcta(Pérez, 2012).

En la tabla 1.1 se evidencian las principales diferencias entre las tecnologías WCDMA y GSM, de acuerdo a ciertos parámetros, entre los que podemos mencionar la longitud de la portadora, el factor de reutilización utilizado, la diversidad de frecuencia, entre otros.

Tabla 1.1. Diferencias entre WCDMA y GSM(Cuadrado, 2012)

Aspectos	WCDMA	GSM
Longitud de la portadora	5 MHz	200 KHz
Factor de reutilización de frecuencias	1	1-18
Control de la calidad	Los recursos de radio se administran mediante software	Planificación de la red (Planificación de frecuencias)
Diversidad de frecuencia	5 MHz de ancho de banda posibilitan diversidad de multitrayecto	Saltando frecuencias
Paquetes de datos	Los paquetes se crean según la carga	Los paquetes se crean con GPRS según las ranuras de tiempo disponibles.
Diversidad transmitida en el enlace descendente	Soportada para mejorar la calidad del enlace descendente	No apoyado por el estándar, pero puede ser aplicado

1.4.5 Tecnología WiMAX Móvil

La tecnología WiMAX, ha emergido como una alternativa potencial de la tecnología celular para redes inalámbricas de gran área. La base de WiMAX móvil está en la familia de especificaciones IEEE 802.16 descritas para redes metropolitanas de banda ancha denominadas también como redesMAN inalámbricas de donde surge el estándar IEEE 802.16e que define el WiMAX móvil donde, además de la movilidad, se mejora el esquema de modulación hacia el estándar SOFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales Escalable). Esta tecnología está aprobada por IMT-2000 bajo el nombre de Red de Área MetropolitanaInalámbrica con Duplexado por División de Tiempo de OFDMA. WiMAX no es una tecnología simple si no una familia de tecnologías interrelacionadas operativamente. Utiliza solamente TDD y sus bandas asignadas, lo que lo limita en cuanto a disponibilidad global. Por otro lado emplea mecanismos de modulación de orden superior (64 QAM en el enlace de bajada y 16QAM en el de subida),

codificación eficiente, modulación y codificación adaptativa, al igual que HARQ (Cuadrado, 2012).

1.4.5.1 WiMAX-Advanced

Constituye la evolución a Cuarta Generación de la tecnología WiMAX. Sus características principales son (Cuadrado, 2012):

- Estructura de trama basada en subtramas para retransmisión rápida que reduce la latencia general en los planos de usuario y de control y mejora la experiencia VoIP (*Voice over IP*). Esquemas mejorados de subcanalización para reducir encabezados y aumentar la eficiencia de transmisión.
- Transmisión multiportadora en portadoras contiguas y no contiguas con una única instancia MAC (Control de acceso al medio). Esta característica permite utilizar anchos de banda de hasta 100 Mhz.
- Esquemas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) mejorados tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente. En el enlace descendente soporta MIMO de estación base única, MIMO con múltiple estaciones base y esquemas monousuario y multiusuario. En el enlace ascendente soporta MIMO monousuario con CSM (*Collaborative Spatial Multiplexing*).
- Servicios de difusión y Multicast mejorados utilizando combinaciones de portadoras Mixtas (tráfico y difusión/*multicast*) y portadoras dedicadas para difusión/*multicast*.

1.4.6 Tecnología LTE

El sistema LTE fue diseñado por la 3GPP con la idea de incrementar en gran medida las capacidades que ofrecían los sistemas de comunicaciones móviles anteriores. En este sentido, LTE es el primer sistema en ofrecer todos los servicios, incluida la voz sobre el protocolo IP dejando atrás la conmutación de circuitos para pasar a un nuevo sistema basado completamente en conmutación de paquetes. Además, las velocidades pico de la interfaz radio que introduce LTE superan ampliamente a aquellas conseguidas en los sistemas anteriores, soportando velocidades de al menos 100 Mbps en el *downlink* y 50 Mbps en el *uplink*, que permite a los usuarios la posibilidad de movilizarse a grandes velocidades y al mismo tiempo disfrutar de los servicios multimedia (Salas, 2012).

El sistema LTE se caracteriza por ofrecer una canalización flexible que permite alcanzar altas velocidades de transmisión y facilitar la migración gradual hacia LTE de bandas espectrales ocupadas por 2G y 3G. En este sentido, las posibles canalizaciones son: 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz y 20 MHz, siendo esta última la considerada para alcanzar velocidades de transmisión en el orden de 100 Mbps en el *downlink*. Además de la canalización flexible, LTE permite trabajar en bandas pareadas con FDD y no pareadas con TDD.

En vista de que el ancho de banda de 20 MHz introduciría elevadas distorsiones debido a la ISI (interferencia intersímbolo) ocasionada por la propagación multicamino, se adoptó la técnica de acceso múltiple OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) en el *downlink* que permite dividir el espectro en múltiples portadoras de banda estrecha ortogonales entre sí con una separación fija de 15 KHz(Salas, 2012).

1.4.6.1 LTE-Advanced

Al tiempo que las especificaciones de UMTS (*Release 99*) se estaban completando, la ITU (*International Telecommunication Union*) ITU-R (*ITU Radiocommunication Sector*) inició las primeras consideraciones en la concepción de soluciones más allá de IMT -2000, conocido actualmente como IMT-Advanced (*International Mobile Telecommunications*) y referido como 4G(Salas, 2012).

LTE se concibe como el punto de inicio para una transición suave hacia el acceso radio, o sea, LTE-Advanced es la evolución de LTE. En este sentido, LTE-Advanced debe asegurar toda una serie de requisitos en relación a la compatibilidad hacia atrás con LTE *Release 8*.

En cuanto a compatibilidad espectral, LTE-Advanced puede desplegarse en bandas ocupadas por LTE. Así mismo, al equipamiento LTE se le pueden incorporar las funcionalidades LTE-Advanced con una complejidad y coste razonablemente bajos. Algunas de las principales componentes técnicas de LTE-Advanced son las que se especifican a continuación(Salas, 2012):

- Agregación de banda hasta 100 MHz, por ejemplo a partir de agregar múltiples componentes de 20 MHz para poder alcanzar un ancho de banda de 100 MHz y así proporcionar las velocidades de transmisión más elevadas previstas en los requerimientos.
- Extensión de soluciones multi-antena, con hasta 8 niveles en el *downlink* y 4 niveles en el *uplink*, para así incrementar las velocidades de transmisión alcanzables sobre el enlace.

□ CoMP (Múltiples puntos de transmisión y recepción coordinados), que permite mejorar las prestaciones observables en el extremo de la celda a partir de efectuar la transmisión/recepción desde distintas celdas. CoMP es un término relativamente general, que incluye diferentes tipos de coordinación (*joint processing, coordinated scheduling/ coordinated beamforming*) entre transceptores separados geográficamente.

□ Repetidores, como mecanismo para mejorar la cobertura y reducir el coste de despliegue.

Los requerimientos de LTE-Advanced establecidos en TR 36.913 distinguen diferentes categorías: generales, capacidades (razón pico de datos, latencias), prestaciones del sistema (eficiencia espectral, *throughput* en el extremo de la celda, movilidad, cobertura, etc.), despliegue (espectro, coexistencia e interoperación con los sistemas legados, etc.), arquitectura E-UTRAN y migración, complejidad, coste, etc.(Salas, 2012).

1.4.6.2 Arquitectura del sistema LTE

La arquitectura del sistema LTE se diseñó en base a tres requisitos fundamentales: conmutación de paquetes únicamente, baja latencia y costos reducidos. Para lograr los objetivos, se planteó una arquitectura plana sin ningún nivel de jerarquización con la menor cantidad de nodos e interfaces posibles. La arquitectura de LTE comprende una nueva red de acceso denominada E-UTRAN (*Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y una nueva red troncal denominada EPC (*Evolved Packet Core*), la combinación de la red de acceso y la red troncal recibe el nombre de EPS (*Evolved Packet System*), también llamada bajo el término LTE.

En la figura 1.4 se ilustra de forma simplificada la arquitectura completa del sistema LTE,). Los diferentes componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no resulta necesario disponer de un componente adicional para la provisión de servicios en modo circuito. La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como, plataformas IMS y/o otras redes de telecomunicaciones como Internet. Formalmente, el servicio de transferencia de paquetes IP ofrecido por la red LTE entre el equipo de usuario y una red externa se denomina servicio portador EPS (*EPS BearerService*). Asimismo, la parte del

servicio de transferencia de paquetes que proporciona la red de acceso E-UTRAN se denomina E-UTRAN Radio Access Bearer (E-RAB)(Cuadrado, 2012).

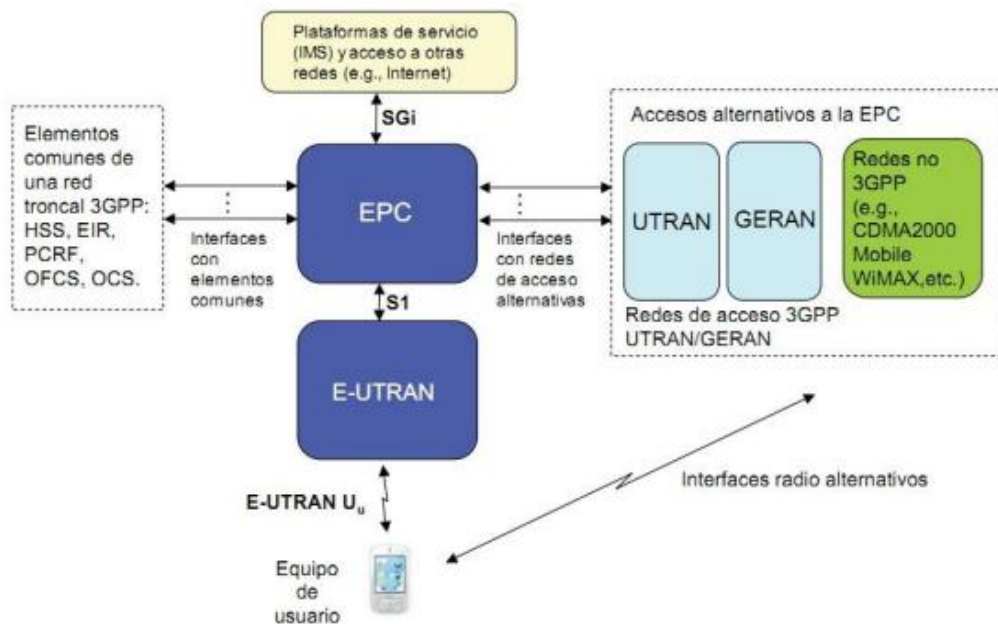


Figura 1.4 Arquitectura del sistema LTE(Cuadrado, 2012)

1.5 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se han descrito las formas organizativas fundamentales del proceso docente-educativo en la educación superior, destacando las prácticas de laboratorio como una de las formas fundamentales en el proceso de aprendizaje significativo. También se ha planteado los tipos fundamentales de prácticas de laboratorio en las ciencias tecnológicas, así como las etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje. Además se han caracterizado las principales tecnologías móviles destacando en cada una de ellas las ventajas sobre la anterior, destacando la tecnología LTE como el primer sistema en ofrecer todos los servicios, incluida la voz, sobre el protocolo IP dejando atrás la conmutación de circuitos para pasar a un nuevo sistema basado completamente en conmutación de paquetes.

CAPÍTULO 2. Consideraciones generales

En este capítulo se explicarán los aspectos necesarios para la conformación de las prácticas de laboratorio

- La descripción de las principales etapas del proceso de diseño de una red móvil.
- La descripción de la herramienta de software Atoll 2.8.0.

2.1 Dimensionamiento de una red móvil

La fase de dimensionamiento constituye un paso fundamental para el diseño de una red de radiocomunicaciones. En esta fase se estima el número máximo de BS en concordancia con los procedimientos teóricos de la tecnología. La figura 2.1 muestra la secuencia de pasos que describen el dimensionamiento de una red de radiocomunicaciones.



Figura 2.1 Fase de dimensionamiento(Cartas, 2014)

El análisis inicial es definido por el plan de negocios del operador, los parámetros específicos de BS (*Base Station*) y MS, los parámetros de *marketing* para los diferentes servicios, las regulaciones del espectro radioeléctrico y los modelos de propagación.

Durante este análisis, los diseñadores de la red emplean sus conocimientos teóricos y la experiencia tecnológica para definir una estrategia de dimensionamiento.

El plan de negocios del operador, tiene gran importancia pues puede generar incidencias en la fase de dimensionamiento y en fases posteriores del diseño de la red, además de influir directamente en el análisis económico. A continuación se muestra una lista con la información más común en un plan de negocios (Cartas, 2014):

1. *Área(s) de servicio*: Definida en forma de polígono, incluye el tamaño en Km² y los detalles de los perfiles del terreno (urbano, suburbano, rural, altura promedio de los edificios etc.).
2. *Tipo de cobertura*: Definida teniendo en cuenta la movilidad de los terminales (fijos, nómadas o móviles) y el entorno donde operan (interiores o exteriores).
3. *Perfiles de subscriptores*: Define los diferentes tipos de subscriptores (residenciales, pequeños negocios y empresas).
4. *Distribución de subscriptores*: Número de subscriptores por perfil, por área de servicio y por año de implementación, acorde al plan de escalabilidad de la red.
5. *Perfiles de servicios*: Contienen las características distintivas de un servicio: *codecs* VoIP, razones pico de información, factores de contención, etc.).
6. *Espectro permitido*: Definido por las regulaciones locales, permite proponer esquemas de canalización y duplexación.
7. *Infraestructura existente*: Definida por los sitios, el equipamiento y la red troncal que puedan reusarse.
8. *Datos cartográficos*: Mapas de alta resolución del terreno.
9. *Indicadores fundamentales de funcionamiento*: Definida principalmente por los objetivos de cobertura y servicio en términos de porcentajes del área de servicio.

Una vez definida una estrategia de dimensionamiento se pasa a determinar el número máximo aproximado de BS que garantizarían el cumplimiento de los indicadores fundamentales de funcionamiento de la red. Esto se hace realizando por separado un estudio en cuanto a cobertura y otro en cuanto a capacidad (Cartas, 2014).

2.1.1 Cobertura radioeléctrica

Para el estudio de cobertura es necesario determinar el tipo de área a cubrir. Se definen distintos tipos de *clutter* atendiendo a la caracterización del entorno en cuanto a edificaciones, espacios abiertos, vías urbanas, etc. a continuación se establece la siguiente clasificación de entornos junto a sus características(2011).

Urbano denso:

- Dentro del perímetro urbano o en sus alrededores, donde la densidad de edificios es alta pero de gran variedad, con un patrón de calles no definido, pudiendo ser regular o irregular.
- Altura media de edificios por debajo de 40 metros.
- Tráfico denso pero no uniforme (focalizado en los denominados *hot-spots*).

Urbano:

- Zonas de urbanizaciones, con patrón de calles regular y visible, donde predominan casas individuales y con zonas ajardinadas.
- Altura media de edificios por debajo de 20 metros.
- Tráfico medio y uniforme, aunque puede haber *hot-spots* en zonas industriales o comerciales.

Suburbano:

- Zonas de población dispersa, con construcciones de tamaño pequeño.
- Altura media de edificios por debajo de 20 metros.
- Tráfico bajo y no uniforme.

Además, es necesario determinar las condiciones de propagación, usando modelos establecidos, aplicando los factores de corrección necesarios y calculando márgenes de desvanecimiento.

La cobertura para los diferentes tipos de servicio se establece principalmente a través de márgenes (penetración, interferencia, desvanecimiento...) y probabilidades de cobertura en celdas. Una forma de evaluar la cobertura sería por su influencia en el área de la celda. Podemos distinguir entre cobertura zonal y perimetral. Ésta última corresponde a la

cobertura existente en el borde de la celda y la primera a la existente dentro del área de la celda. Valores típicos a considerar serían los siguientes(2011):

Cobertura excelente: 95% y 99% para probabilidad en el límite de celda y en el área de celda respectivamente.

Buena cobertura: 90% y 97% para probabilidad en el límite de celda y en el área de celda respectivamente.

Cobertura aceptable: 75% y 91% para probabilidad en el límite de celda y en el área de celda respectivamente.

También podemos tener en cuenta la probabilidad según el área de localización, con unos valores típicos que son los siguientes(2011):

- Cobertura en exteriores: 100%.
- Cobertura en interiores: 90% y 95% para tasas de bits alta y baja respectivamente.

Cobertura en coche: 90%.

2.1.2 Capacidad

Para la previsión de capacidad es necesario tener en cuenta un pronóstico de la tasa de crecimiento de mercado, información sobre la densidad de tráfico en cada zona y, fundamentalmente, el espectro de frecuencias disponible(2011).

2.1.2.1 Pronóstico de tráfico

Uno de los aspectos más importantes en el dimensionamiento de una red de telecomunicaciones es el tráfico esperado y la evolución del mismo en el futuro. La predicción de la demanda de tráfico no es en cualquier caso una tarea trivial, ya que viene influenciada por muchos aspectos y de muy diversa índole, como pueden ser los servicios ofrecidos, la política de precios, la evolución del número de abonados en la zona.

Para un análisis detallado del tráfico es necesario(2011):

- Dividir el total de la red en regiones.
- Clasificar a los clientes por tipo: particulares, empresas, grandes cuentas, etc...
- Analizar el número de clientes por área, la evolución de la cuota de mercado, etc.

- Analizar el crecimiento de la población y la economía en general.
- Medidas reales de tráfico: el operador puede realizar medidas que le indiquen el tráfico real que cursa su red. Las medidas se obtienen del equipo sobre el que se desea información mediante descargas a nivel de software. Cada fabricante pondrá a disposición del operador distintas funcionalidades y contadores para monitorizar el comportamiento del sistema en cuestión.

2.1.3 Ubicación de las Estaciones Base

La elección de las ubicaciones para la instalación de las estaciones bases deben cumplir los siguientes requisitos (Cartas, 2014):

- Lograr los objetivos propuestos en materia de cobertura.
- El lugar debe contar con las siguientes condiciones para poder realizar el montaje de una estación: Sitio preferentemente alto, con suelo firme que permita la instalación de mástiles o torres auto-soportadas, área libre de vegetación elevada, clima tranquilo, etc.
- Estar ubicada cerca de una instalación de cables de fibra óptica o con línea de vista a otra estación superior para el transporte de la comunicación.
- Tener una vía de acceso cerca, al menos a una distancia prudencial que permita su instalación y posterior operación técnica.
- Estar ubicada cerca de instalaciones de energía eléctrica para su alimentación.
- No tener cerca fuentes de interferencias radioeléctricas.

Cálculo de la cantidad de BS para cubrir un área dada

En la Tabla 2.1 se muestran los parámetros que es necesario conocer para calcular la cantidad de BSs para cubrir un área específica, también se indica la fuente de esos parámetros.

Tabla 2.1 Parámetros necesarios conocer para calcular la cantidad de BSs(2011)

Parámetro de entrada	Como obtenerlo
Área de cobertura Km ²	Link Budget
Usuarios: Cantidad, Tipo, Perfil, Factor de Reventa	Información de mercado
Consumos de los usuarios, Mbps	Información de mercado
Área total a cubrir	Información de mercado
Capacidad máxima de una BS	A calcular, en función de la tecnología

2.2 Evaluación y Optimización

Una vez finalizado en dimensionamiento, se pasa a la fase de evaluación y optimización del diseño donde el elemento fundamental es la herramienta RNP (*Radio Network Planning*). El esquema de esta fase se muestra en la figura 2.2.

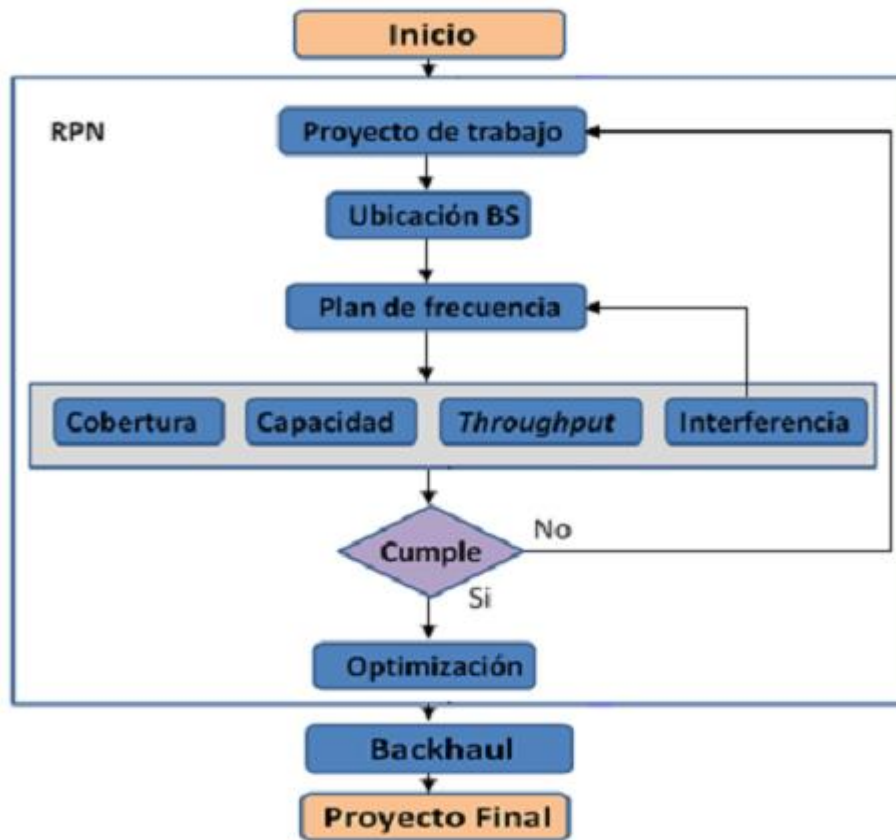


Figura 2.2 Fase de evaluación y optimización(Cartas, 2014)

En el inicio del proceso se procede a organizar la información para configurar, dentro de la herramienta RNP, los elementos de un proyecto de trabajo (antenas, BS, MS, servicios, etc.)(Cartas, 2014).

La información de esta etapa inicial está compuesta por:

- Los valores finales obtenidos en la fase de dimensionamiento.
- Los elementos del análisis inicial de la fase de dimensionamiento.
- Los mapas de trabajo obtenidos para la zona donde se implementará la red.

Con vistas a una mejor visualización y exactitud de los cálculos se considera adecuada la superposición de diferentes tipos de mapas, principalmente mapas *clutter*, mapas digitales del terreno a los que se pueden unir fotos satelitales del lugar.

Definidos los elementos de un proyecto de trabajo se pasa a la ubicación de las BS. Es importante destacar que el diseñador puede hacerlo manualmente, dado su conocimiento previo de la zona donde se desea implementar a la red o mediante las facilidades que tenga la herramienta RNP para elegir los mejores lugares(Cartas, 2014).

El próximo paso corresponde a la evaluación de la red a implementar mediante la simulación de aspectos importantes como la cobertura, la capacidad, el *throughput* y la interferencia. En el caso del estudio de interferencia, sus resultados pueden influir en la elección de un nuevo plan de frecuencias. Los resultados de estas simulaciones se comparan seguidamente con los indicadores de funcionamiento del plan de negocios del operador. En el caso de no cumplirlos habría que reconfigurar el proyecto de trabajo. De cumplirse entonces se pasaría a la optimización de la red, siempre teniendo en cuenta los indicadores de funcionamiento(Cartas, 2014).

El resultado del paso de optimización es prácticamente el diseño final de la red, solo le restaría sumarle los requerimientos necesarios de la red troncal o *backhaul*.

2.2.1 Planificación de frecuencia

La planificación de frecuencia es un procedimiento que se utiliza en las redes inalámbricas para minimizar la interferencia debido a la reutilización de las bandas de frecuencias. En el mismo, seleccionar el factor de reutilización de frecuencia y ubicar los canales para los

diferentes sectores de una estación base, son procesos importantes a tener en cuenta para la cobertura y capacidad de una red inalámbrica. En el caso del proceso de reutilización de frecuencia, este se modela bajo la nomenclatura $N \times S \times K$, donde N define el número de celdas con diferentes ubicaciones de frecuencia, S el número de sectores por celda y K el número de portadoras de frecuencia ubicadas por celda (Cartas, 2014).

2.3 Herramienta de software Atoll 2.8.0

Atoll es un software RNP desarrollado por la empresa *Forsk* y se presenta con un entorno de planificación de radio basado en ventanas, fácil de usar, que da soporte a operadores de telecomunicaciones inalámbricos durante todo el tiempo de la vida de la red. Desde el diseño inicial, hasta la fase de optimización y durante las distintas aplicaciones. Más que una herramienta de ingeniería, Atoll es un sistema de información técnico, abierto, escalable y flexible que puede integrarse fácilmente en otro sistema de telecomunicaciones, aumentando la productividad y disminuyendo los tiempos de desarrollo (Forsk, 2009).

Atoll está formado por un módulo principal, al que se le pueden ir añadiendo módulos de las diferentes tecnologías que poseen. En cada plantilla se proporciona una estructura adecuada a la tecnología en la que se basan. Las diferentes tecnologías que Atoll tiene disponible, dependiendo de la configuración instalada en el equipo, son (Forsk, 2009):

- **GMS/GPRS/EPRS:** Esta plantilla se utiliza para modelar y planificar tecnologías de segunda generación (2G), basadas en TDMA.
- **CDMA2000:** Esta plantilla se utiliza para modelar tecnologías de tercera generación (3G) basadas en CDMA2000 (evolución de CDMA).
- **IS-95 CDMAONE:** Esta plantilla se utiliza para modelar sistemas de segunda generación (2G) basados en CDMA.
- **Microwave Radio Links:** Permite modelar enlaces de radio, como parte de una red de telecomunicaciones para cualquier plantilla.
- **UMTS HSPA:** UMTS; HSDPA y HSUPA (estos últimos conocidos como HSPA) son sistemas de tercera generación (3G) que se basan en la tecnología WCDMA. Esta plantilla se utiliza para este tipo de sistemas, puesto que WCDMA y CDMA son incompatibles (a pesar de ser tecnologías similares).

- **WIMAX:** Esta plantilla ha sido desarrollada en cooperación con los proveedores de equipos WIMAX. Actualmente Atoll soporta los estándares IEEE 802.16d y 802.16e.

Por tanto, mediante Atoll se posee una gran variedad de tecnologías disponible a planificar. En concreto, mediante el módulo WIMAX que nos proporciona esta herramienta, podemos planificar y diseñar redes WIMAX para usuarios fijos, así como para usuarios móviles.

2.3.1 Características fundamentales

-Propiedades avanzadas en el diseño de redes: Herramientas para el cálculo de propagaciones de altas prestaciones, soporta redes multicapas y jerárquicas, modelado de tráfico, planificación automática de frecuencia, códigos y optimización de red.

-Arquitectura abierta y flexible: Soporta entornos multiusuario gracias a una base de datos innovadora, que permite compartir datos, gestionar la integridad de dichos datos, y una sencilla integración con otros sistemas de telecomunicaciones(Gallosa, 2013).

-Cálculos distribuidos y paralelos: Atoll permite el reparto de cómputos de tareas entre distintas estaciones de trabajo y soporta cálculos en paralelos en servidores multiprocesador reduciendo significativamente los tiempos de simulación y de predicción, sacando el máximo posible del hardware disponible.

-GIS de última generación: Atoll soporta datos geográficos multi-formatos, multi-resolución y la integración con herramientas GIS. Permite cargar complejas bases de datos con información geográfica y mostrarlas de manera interactiva con múltiples capas.

Mediante la implementación de herramientas de planificación podremos disponer de base de datos topográficos de gran resolución y acceder a ellos para obtener perfiles de terreno y datos que se utilizaran para realiza los cálculos de propagación. Nos permitirá emplear métodos de predicción de la propagación radioeléctrica más elaboradas y con cálculos muchos más laboriosos. Además nos facilitara la planificación al poder comprobar distintas posibilidades de configuración de red (variar emplazamientos, potencias, orientación de antenas, etc.), simplificando el proceso de optimización(Gallosa, 2013).

2.3.2 Ventanas de Atoll

En ATOLL existen dos tipos de ventanas(Forsk, 2009):

- ❖ Ventanas de documento: Contienen el mapa, además de tablas de datos específicos e informes.
- ❖ Ventanas acopladas: Muestran el contenido del proyecto activos, por ejemplo la ventana del explorador. La interfaz del ATOLL, con ejemplos de ambos tipos de ventanas se muestra en la siguiente figura:

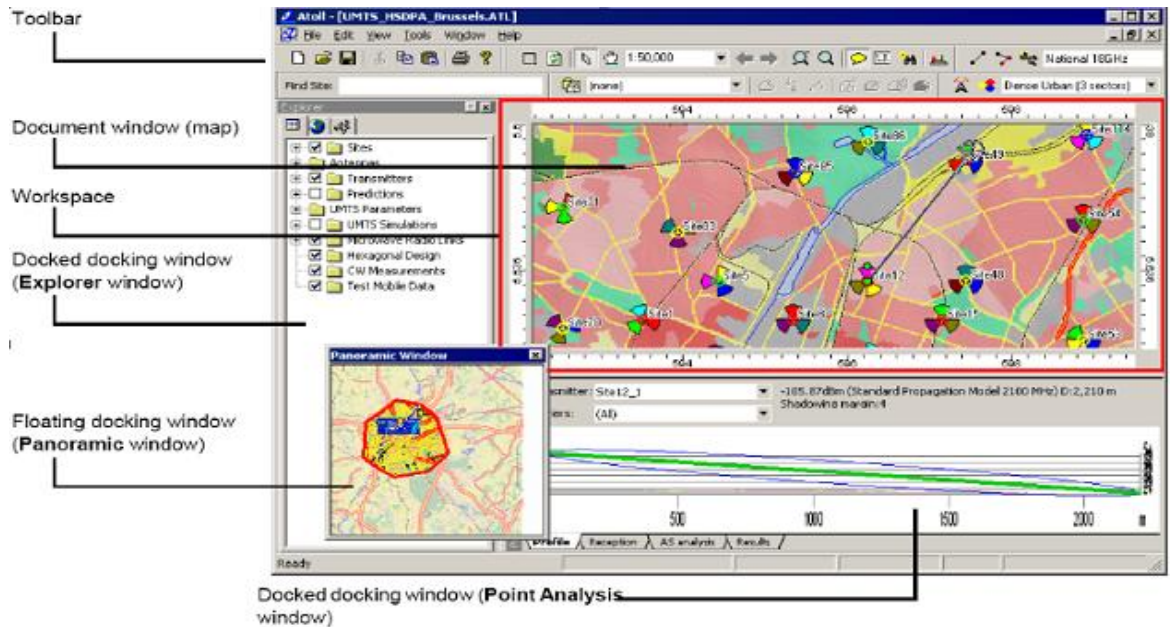


Figura 2.3 Ventanas de exploración(Forsk, 2009)

2.3.3 Ventana de exploración

La ventana de exploración es una ventana acoplada que representa el papel principal en ATOLL. Contiene los datos y los objetos del proyecto, distribuidos en carpetas. Cada objeto y carpeta tienen un menú específico al que se puede acceder pulsando con el botón derecho del ratón sobre él. Los elementos pueden ser modificados desde el nivel superior con cambios que afecten a todos los de la misma carpeta o se pueden acceder y modificarlos individualmente. Además la mayoría del contenido de las carpetas pueden ser accedido desde tablas, permitiendo un manejo sencillo de grandes cantidades de datos(Gallosa, 2013).

La ventana de exploración tiene tres tablas(Forsk, 2009):



Datos: Permite manejar los datos y cálculos de radiocomunicación. Dependiendo de los módulos instalados con ATOLL, se tendrán las siguientes carpetas:

- *Sites* (emplazamientos)
- *Antennas* (antenas)
- *Transmitters* (transmisores)
- *Predictions* (predicciones)
- *UMTS, cdmaOne/CDMA2000 Parameters, GSM/GPRS/ WiMAX 802.16d/802.16e Parameters*
- *Traffic analysis* (análisis de tráfico)
- *Hexagonal design* (diseño hexagonal)
- *Microwave links* (enlaces de microondas)
- *CW Measurements and Test mobile data* (datos de medidas CW y pruebas de móviles)



Geo: Permite manejar los datos geográficos. El número de carpetas dependerá del número y tipo de datos geográficos que se importen o se creen:

- *Clutter class*
- *Clutter heights*
- *Digital Terrain Model (DTM)*
- *Population data*
- *Any generic geo data map*
- *Traffic*



Módulos: Permite manejar los modelos de propagación y módulos adicionales.

La carpeta de Modelos de propagación contiene:

- Longley-Rice
- Okumura-Hata
- Costa-Hata
- Standard Propagation Model
- ITU 526-5
- ITU 370-7 (Vienna 93)
- WLL

2.4 Estructura de las Prácticas de Laboratorio

Para un funcionamiento armónico del proceso docente educativo en la asignatura de Comunicaciones Móviles, las Prácticas de Laboratorio implementadas en este trabajo, han de considerarse como la vía para integrar los conocimientos impartidos en las formas docentes de la Conferencia y la Clase Práctica. Bajo esta actividad educativa el estudiante puede experimentar y apreciar "en vivo" lo que sucede en un sistema de comunicación móvil ante variaciones de un parámetro o condiciones anómalas del terreno.

Con vistas a motivar no solo la experimentación de los sistemas móviles utilizando el software Atoll sino el estudio independiente y la formación de conocimientos sólidos las Prácticas están conformadas por una estructura definida en: objetivos, materiales y métodos, preparación previa, técnica operatoria y conclusiones.

Respecto a los tres primeros elementos de la estructura se puede decir que tributan al objetivo de lograr un profesional integral que tenga un amplio dominio de la teoría asociada a los sistemas de comunicaciones móviles, desde GSM hasta LTE. Además, conforman el vínculo entre las actividades docentes impartidas en el aula y las prácticas simuladas.

Por su parte la Técnica Operatoria se enfoca en los tres tipos de análisis esenciales en el dimensionamiento y optimización de un sistema de comunicaciones móviles: el análisis de cobertura de las BS, el estudio de interferencia o ruido presentes en la red y por último el estudio de la capacidad del sistema. Teniendo esto en cuenta, se realiza por el estudiante cambios en características puntuales de la red que permiten observar el comportamiento de

la misma. Por último las conclusiones se plantean en formas de preguntas integradoras que permiten integrar lo aprendido a lo largo del desarrollo de las Prácticas de Laboratorio.

2.5 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se han fundamentado los elementos necesarios para la implementación de las prácticas de laboratorio, haciendo una descripción de las etapas principales en el diseño de redes móviles, sobre todo del proceso de dimensionamiento de una red móvil y los estudios de cobertura que se tiene que llevar a cabo para hacer la elección más apropiada. También se ha analizado otros aspectos esenciales como la ubicación de las estaciones bases y la planificación de frecuencias. Por otra parte se ha hecho una caracterización de la herramienta de software Atoll 2.8.0 teniendo en cuenta sus posibilidades para la implementación y simulación de redes móviles.

CAPÍTULO 3. Prácticas de laboratorio

En este capítulo se lleva a cabo la conformación de prácticas de laboratorio sobre las principales tecnologías referentes a las comunicaciones móviles, de las cuales se realiza un análisis de la práctica correspondiente a la tecnología LTE. Para el montaje y ejecución de las prácticas de laboratorio que se proponen en este trabajo resulta necesario acudir a la herramienta de software Atoll 2.8.0 y seguir un procedimiento para la simulación del estándar móvil que se vaya a implementar, el cual queda plasmado en la primera práctica de laboratorio confeccionada.

3.1 Conformación de las prácticas de laboratorio

3.1.1 Introducción al software Atoll 2.8.0: Desarrollo de conocimientos básicos en el manejo del software Atoll 2.8.0

3.1.2 Tecnología GSM: Interpretación de parámetros que caracterizan el comportamiento de un sistema de comunicaciones móviles basado en la tecnología GSM. Desarrollo de habilidades de diseño de un sistema de comunicaciones móviles empleando el software Atoll 2.8.0

3.1.3 Tecnología UMTS: Interpretación de parámetros que caracterizan el comportamiento de un sistema de comunicaciones móviles basado en la tecnología UMTS. Desarrollo de habilidades de diseño de un sistema de comunicaciones móviles empleando el software Atoll 2.8.0

3.1.4 Tecnología LTE: Interpretación de parámetros que caracterizan el comportamiento de un sistema de comunicaciones móviles basado en la tecnología LTE. Desarrollo de habilidades de diseño de un sistema de comunicaciones móviles empleando el software Atoll 2.8.0

3.1.1 Laboratorio de Simulación 1 “Introducción al software Atoll 2.8.0”

Objetivos

Desarrollar conocimientos básicos en el manejo del software Atoll 2.8.0

Materiales y Métodos

1. Manual del usuario del software Atoll 2.8.0
2. Atoll 2.8.0 *Getting Started*
3. Materiales de estudio para la Asignatura Comunicaciones Móviles, disponible en:
\\10.12.1.64\docs\FIE\Asignaturas\Tele\Optativa Comunicaciones Móviles

Preparación Previa

- Defina y caracterice las principales características de las herramientas RPN.
- Describa las características de los tipos de datos geográficos que emplean estas herramientas de simulación.

Técnica Operatoria

Configure el entorno de trabajo del software Atoll teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- 1- Cree un nuevo proyecto, para esto ATOLL tiene definido unas plantillas (*Templates*) con parámetros específicos a cada tecnología. Como ejemplo seleccione WiMAX 802.16e.

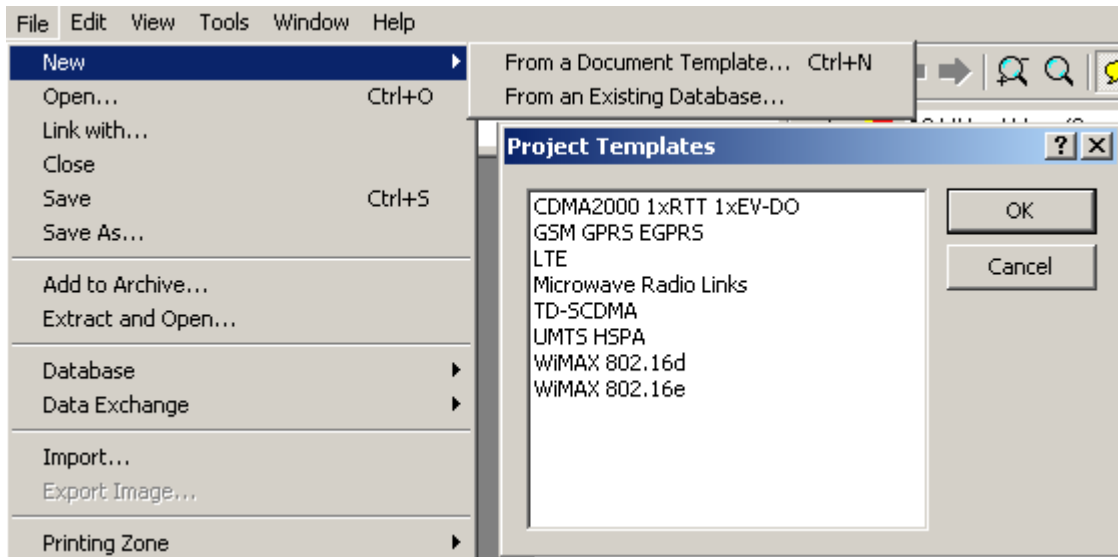


Figura 3.1 Tecnologías que ofrece el software Atoll

Incorpore el tipo de tipo de dato geográfico (mapa): File > Import > Mapa seleccionado

2- Configure una plantilla de BS o simplemente modifique una de las existentes. En Atoll por defecto se accede a la opción "manejo de plantillas" como se muestra en la figura.

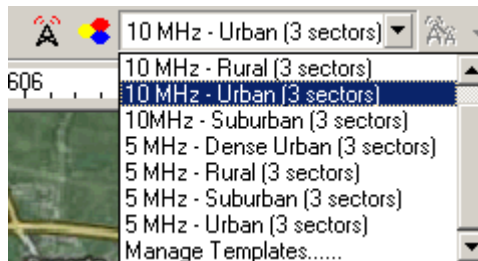


Figura 3.2 Manejo de plantillas

3- Diga las opciones que se observan en la ventana "explorer", así como su importancia en el trabajo de diseño de sistemas de comunicaciones.

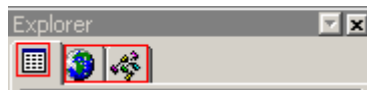


Figura 3.3 Ventana *explorer*

4- Una vez configurada la plantilla, accionar el botón (antena) de la esquina superior izquierda de la figura anterior y accionarlo de nuevo sobre el mapa de trabajo para ubicar la BS.

5- Configure los transmisores teniendo en cuenta la cantidad de sectores, la altura de la antena, el tipo de antena el modelo de propagación que se emplea, la potencia del TX y la banda de frecuencia: Datos > Transmitters > Seleccionar el Transmisor > Click derecho > Propiedades

6- Dado que ya hay una BS en el mapa de trabajo, se pueden realizar algunos análisis tanto de cobertura como de interferencia: Datos > Click derecho > Predictions > New

- Defina cada tipo de análisis.
- Realice un análisis de cobertura por nivel de señal.

7- Para realizar estudios de capacidad, realizar los siguientes pasos:

Cree un mapa de trafico: Ventana Explorer > Geo > Traffic > Click derecho > New map. Aquí se tienen 2 opciones, la primera hacer un mapa de trafico basado en los entornos de los perfiles de los usuarios y el segundo basado en la densidad de los perfiles de usuarios.

Una vez creado el mapa de trabajo se realizan las simulaciones del comportamiento de la red: Datos > “Nombre de la tecnología” Simulations > New

8- Observe y edite los campos que aparecen en la carpeta “Nombre de la tecnología” Parameters

Conclusiones

1. Diga los aspectos esenciales que hacen del software Atoll una herramienta adecuada para el dimensionamiento de sistemas de comunicaciones móviles. Fundamente su respuesta
2. ¿Qué importancia revisten, desde el punto de vista del dimensionamiento los análisis de cobertura, interferencia y capacidad en un sistema móvil?
3. Diga qué importancia reviste la utilización de diferentes tipos de datos geográficos en el diseño de un sistema de comunicación.

3.1.2 Laboratorio de Simulación 2 “Tecnología GSM”

Objetivos

1. Interpretar parámetros que caracterizan el comportamiento de un sistema de comunicaciones móviles basado en la tecnología GSM.
2. Desarrollar habilidades de diseño de un sistema de comunicaciones móviles empleando e software Atoll 2.8.0

Materiales y Métodos

1. Manual del usuario del software Atoll 2.8.0
2. Materiales de estudio para la Asignatura Comunicaciones Móviles, disponible en:
\\10.12.1.64\docs\FIE\Asignaturas\ Tele\Optativa Comunicaciones Móviles

Preparación Previa

Defina y caracterice las principales características que definen a la tecnología GSM en cuanto a:

- Arquitectura de red
- Bandas de frecuencias
- Modulación y acceso al medio
- Canalización
- Potencia de transmisión tanto de la BS como de la MS
- Sensibilidad en los terminales
- Modelos de propagación
- Razones de datos
- Servicios

Técnica Operatoria

1. Cree un nuevo proyecto en Atoll 2.8.0 para el diseño de redes GSM. Para ello utilice como mapa de trabajo la ciudad de su preferencia (Santa Clara, Cienfuegos, Santis Spiritus, Ciego de Ávila o Camagüey). En el mismo configure una plantilla de BS con los datos ofrecidos en siguiente tabla y defina los parámetros de los terminales (Tipo de antena).

Tabla 3.1 Parámetros a tener en cuenta para el diseño de la red GSM

Parámetros	Valor
Entorno	Urbano
Sectores	3
Altura	30 m
Antena	65deg 17dBi 4Tilt 900 MHz
Modelo de Propagación	Okamura-Hata
Máxima Potencia de TX	30 dB
Banda de Frecuencia	900 MHz

2- Ubique una BS en el mapa de trabajo y efectúe los siguientes análisis:

Cobertura por transmisor

- Cobertura por nivel de señal
- Analice el comportamiento de los análisis realizados al variar la potencia de transmisión.

3- Adicione dos o más BS al mapa de trabajo (relativamente cercanas a la primera colocada) realizando manualmente el proceso de canalización.

- ¿Qué aspectos distintivos en este proceso se requieren en el software Atoll 2.8.0?
- Realice un análisis de cobertura por nivel $C/(I+N)$ y cheque los niveles de interferencia en la red.
- Realice un análisis que muestre las zonas interferidas. ¿Qué soluciones se le puede brindar a ese problema?

4- Basado en la cobertura obtenida en el diseño del ejercicio anterior y en los entornos que trae por defecto configurado el software Atoll, elabore un mapa de tráfico. Después realice un análisis de tráfico y de sus resultados:

Mencione las características que considere más importante. Valore su impacto en un escenario de optimización de la red.

5- Utilice la herramienta planificación automática de celdas. Compare los resultados con las simulaciones anteriores.

6- Repita los ejercicios del 2 al 4 tomando en consideración variaciones en la red GSM en aspectos como:

- Cantidad de Sectores: 4 y 6
- Entornos: Urbano Denso, Suburbano y Rural
- Antenas: Omni 11 dBi y 30deg 18dbi
- Bandas de frecuencia: 1800MHz

Llegue a conclusiones en cada aspecto.

Conclusiones

1. ¿Qué características de son de vital importancia a la hora del dimensionamiento y posterior optimización de una red GSM?
2. ¿Qué criterios justifican la elección de una banda de frecuencia determinada en un sistema móvil?
3. ¿Qué importancia revisten, desde el punto de vista del dimensionamiento los análisis de cobertura, interferencia y capacidad en un sistema móvil?
4. ¿Qué aspectos tener en cuenta para mejorar las prestaciones de un sistema móvil saturado en algunos de sus transmisores?

3.1.3 Laboratorio de Simulación 3 “Tecnología UMTS”

Objetivos

1. Interpretar parámetros que caracterizan el comportamiento de un sistema de comunicaciones móviles basado en la tecnología UMTS.
2. Desarrollar habilidades de diseño de un sistema de comunicaciones móviles empleando e software Atoll 2.8.0

Materiales y Métodos

1. Manual del usuario del software Atoll 2.8.0
2. Materiales de estudio para la Asignatura Comunicaciones Móviles, disponible en:
\\10.12.1.64\docs\FIE\Asignaturas\Tele\Optativa Comunicaciones Móviles

Preparación Previa

1. Defina y caracterice las principales características que definen a la tecnología UMTS en cuanto a:
 - Arquitectura de red
 - Bandas de frecuencias
 - Modulación y acceso al medio
 - Canalización
 - Potencia de transmisión tanto de la BS como de la MS
 - Sensibilidad en los terminales
 - Modelos de propagación
 - Razones de datos
 - Servicios

Técnica Operatoria

1. Cree un nuevo proyecto en Atoll 2.8.0 para el diseño de redes UMTS. Para ello utilice como mapa de trabajo la ciudad de su preferencia (Santa Clara, Cienfuegos, Santis Spíritus, Ciego de Ávila o Camagüey). En el mismo configure una plantilla de BS con los datos ofrecidos en la tabla 1 y defina los parámetros de los terminales (Tipo de antena).

Tabla 3.2 Parámetros a tener en cuenta para el diseño de la red UMTS

Parámetros	Valor
Entorno	Urbano
Sectores	3
Altura	30 m
Antena	65deg 17dBi 2Tilt 900 MHz
Modelo de Propagación	Cost-Hata
Máxima Potencia de TX	43 dB
Banda de Frecuencia	2110 MHz

- 2- Ubique una BS en el mapa de trabajo y efectúe los siguientes análisis:

- Cobertura por transmisor

- Cobertura por nivel de señal
 - Cobertura por *Throughput*
- a) Analice el comportamiento de los análisis realizados al variar la altura de la antena.
- 3- Adicione dos o más BS al mapa de trabajo (relativamente cercanas a la primera colocada) y realice un análisis del ruido total en el enlace descendente.
- a) Repita lo anterior variando la potencia de los transmisores empleados. Compare y llegue a conclusiones.
- 4- Basado en la cobertura obtenida en el diseño del ejercicio anterior y en los entornos que trae por defecto configurado el software Atoll, elabore un mapa de tráfico. Después realice un análisis de tráfico y de sus resultados:
- a) Modifique los parámetros de la red UMTS (servicios específicos, perfiles de usuarios, densidad de subscriptores) y compare con los resultados iniciales.
- 5- Repita los ejercicios del 2 al 4 tomando en consideración variaciones en la red LTE en aspectos como:
- a) Cantidad de Sectores: 4 y 6
 - b) Entornos: Urbano Denso, Suburbano y Rural
 - c) Antenas: Omni 11 dBi y 30deg 18dbi
- Llegue a conclusiones en cada aspecto.
- 6- Optimice de forma automática la red implementada.

Conclusiones

1. ¿Qué características son de vital importancia a la hora del dimensionamiento y posterior optimización de una red UMTS?
2. ¿Se reflejan los valores máximos especificados por la tecnología UMTS, en cuanto a razones de datos, en los resultados obtenidos (*throughput*)?. Explique.
3. ¿Qué importancia reviste la selección del emplazamiento en el dimensionamiento de un sistema de comunicaciones móviles?

4. Explique porque en los sistemas UMTS solo se realiza el análisis del ruido total en el enlace descendente en vez de un análisis de nivel de interferencia.

3.1.4 Laboratorio de Simulación 4 “Tecnología LTE”

Objetivos

1. Interpretar parámetros que caracterizan el comportamiento de un sistema de comunicaciones móviles basado en la tecnología LTE.
2. Desarrollar habilidades de diseño de un sistema de comunicaciones móviles empleando e software Atoll 2.8.0

Materiales y Métodos

1. Manual del usuario del software Atoll 2.8.0
2. Materiales de estudio para la Asignatura Comunicaciones Móviles, disponible en:
\\10.12.1.64\docs\FIE\Asignaturas\ Tele\Optativa Comunicaciones Móviles

Preparación Previa

Defina y caracterice las principales características que definen a la tecnología LTE en cuanto a:

- Arquitectura de red
- Bandas de frecuencias
- Modulación y acceso al medio
- Canalización
- Potencia de transmisión tanto de la BS como de la MS
- Sensibilidad en los terminales
- Modelos de propagación
- Razones de datos
- Servicios

Técnica Operatoria

- 1- Cree un nuevo proyecto en Atoll 2.8.0 para el diseño de redes LTE. Para ello utilice como mapa de trabajo la ciudad de su preferencia (Santa Clara, Cienfuegos,

Santis Spiritus, Ciego de Ávila o Camagüey). En el mismo configure una plantilla de BS con los datos ofrecidos en la tabla 1 y defina los parámetros de los terminales (Tipo de antena).

Tabla 3.3 Parámetros a tener en cuenta para el diseño de la red LTE

Parámetros	Valor
Entorno	Urbano
Ancho de Banda	5 MHz
Sectores	3
Altura	30 m
Antena	65deg 17dBi 2Tilt 900 MHz
Modelo de Propagación	Cost-Hata
Máxima Potencia de TX	40 dB
Banda de Frecuencia	925 FDD – 5 MHz

2- Ubique una BS en el mapa de trabajo y efectúe los siguientes análisis:

- Cobertura por transmisor
- Cobertura por nivel de señal
- Cobertura por *Throughput*

b) Analice el comportamiento de los análisis realizados al variar la inclinación de las antenas (*Tilt*).

3- Adicione dos o más BS al mapa de trabajo (relativamente cercanas a la primera colocada) y realice un análisis de cobertura por nivel $C/(I+N)$ y cheque los niveles de interferencia en la red.

- b) Repita lo anterior realizando un proceso de canalización manual de la red. Compare resultados.
- c) Utilice la herramienta para la planificación automática de frecuencia. Compare los resultados con las simulaciones anteriores.
- d) Realice un análisis de solapamiento y diga que influencia puede tener este aspecto en la comunicación.

4- Basado en la cobertura obtenida en el diseño del ejercicio anterior y en los entornos que trae por defecto configurado el software Atoll, elabore un mapa de tráfico. Después realice un análisis de tráfico y de sus resultados:

- b) Mencione las características que considere más importante. Valore su impacto en un escenario de optimización de la red.

5- Repita los ejercicios del 2 al 3 tomando en consideración variaciones en la red LTE en aspectos como:

- d) Cantidad de Sectores: 4 y 6
- e) Entornos: Urbano Denso, Suburbano y Rural
- f) Ancho de Banda 10 y 20 MHz
- g) Antenas: Omni 11 dBi y 30deg 18dbi
- h) Bandas de frecuencia: 1850 y 2110 MHz

Llegue a conclusiones en cada aspecto.

Conclusiones

1. ¿Qué características son de vital importancia a la hora del dimensionamiento y posterior optimización de una red LTE?
2. ¿Qué criterios utilizar para el uso de la herramienta de planificación automática de frecuencia?
3. ¿Se reflejan los valores máximos especificados por la tecnología LTE, en cuanto a razones de datos, en los resultados obtenidos (*throughput*)?. Explique.

3.1.5 Análisis del laboratorio de Simulación 4

Para lograr un buen desarrollo de las prácticas de laboratorio lo primero es tener una sólida base teórica. Para que el estudiante logre ese propósito adquiere gran importancia la realización de la preparación previa, en lo cual es fundamental la utilización de los materiales de consulta y las notas de la conferencia y clase prácticas. Ya con esa base el estudiante puede enfrentarse a la resolución de las problemáticas planteadas en la técnica operatoria.

En el primer enunciado de la técnica operatoria, la configuración de una plantilla de trabajo para las BS, de los transmisores y de los terminales móviles es una base para la aplicación de los conocimientos teóricos esenciales referidos a la tecnología estudiada. Además de que muestra la evolución del estudiante en el manejo del software. En el segundo enunciado ya se comienzan a realizar análisis de cobertura y *throughput* de la BS ubicada en el mapa de trabajo. Sin embargo lo importante aquí es que el estudiante evolucione en su pensamiento y comprenda que sucede al variarse la inclinación de la antena transmisora de la BS.

Como se puede apreciar en la figura 3.4, a medida que se aumenta la inclinación de la antena ya sea de forma mecánica o eléctrica, disminuye el área de cobertura, sin embargo mejora el nivel de señal alrededor de la BS. En el caso de la figura se varió 2 grados la inclinación de la antena de forma mecánica y 3 grados de forma eléctrica. Similares resultados se aprecian en los análisis de los análisis de nivel de señal y *throughput*.

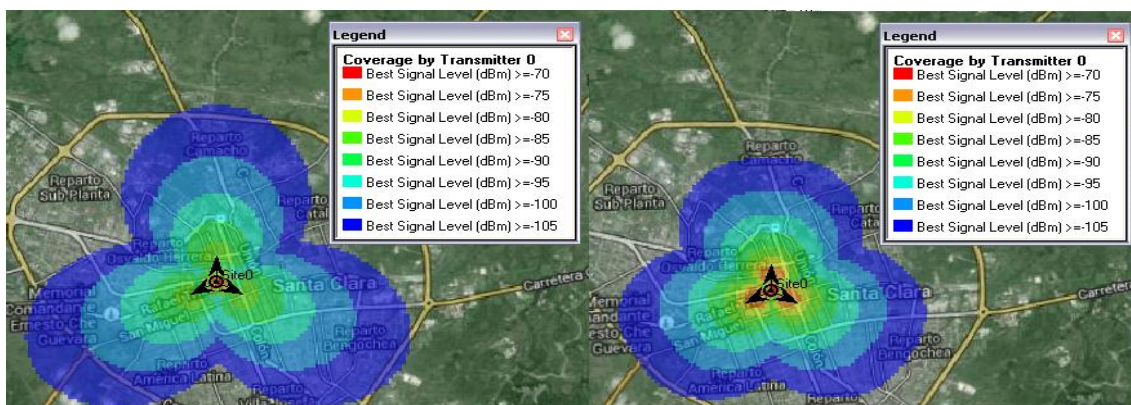


Figura 3.4 Área de cobertura según la inclinación de la antena

La tercera problemática se enmarca en visualizar los niveles de interferencia que ocurren en una red móvil si no se tiene en cuenta la canalización de la misma. La figura 3.5 muestra como quedaría la red en cuanto a niveles de $C/(N+I)$ si todos los transmisores utilizaran el mismo canal.

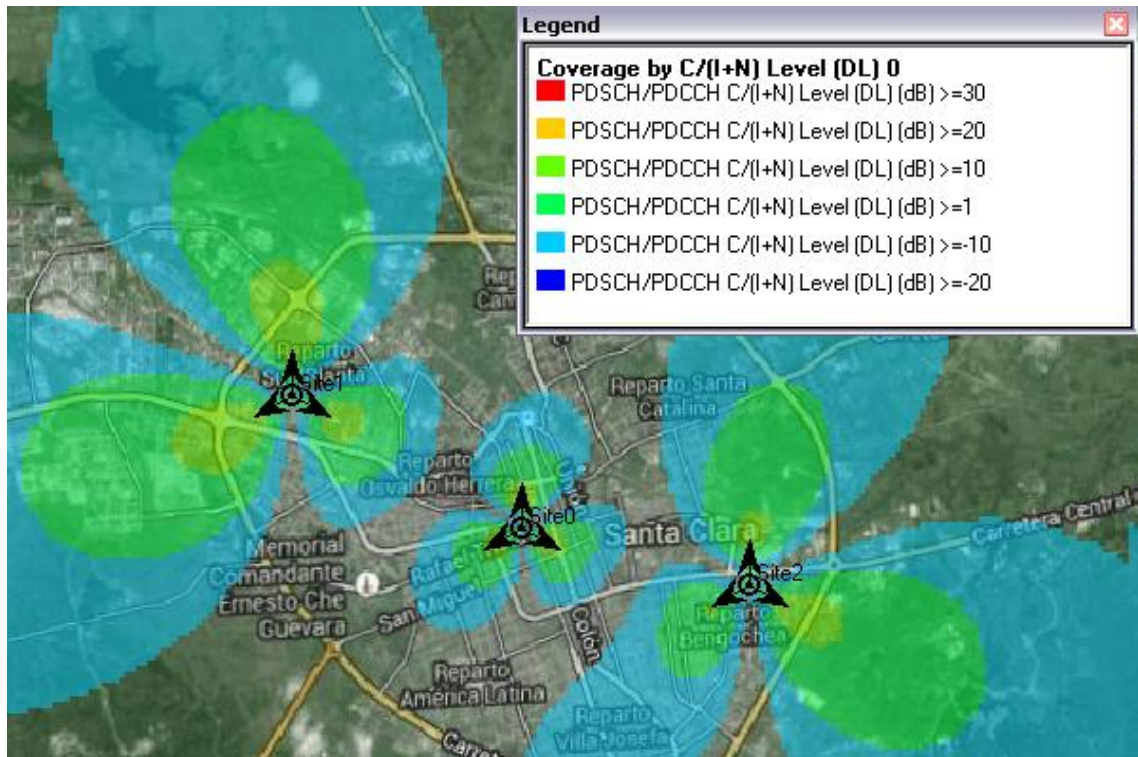


Figura 3.5 Niveles de interferencia [C/ (I+N)]

Como se observa en la figura 3.5, el nivel de interferencia de la red no permitiría en muchos casos la conexión aunque se obtenga buenos resultados en cuanto a cobertura. Sin embargo a realizar una canalización manual eficiente o si nos auxiliamos de la herramienta de planificación automática de frecuencia los resultados serían evidentemente mejores, tal como se muestra en la figura 3.6.

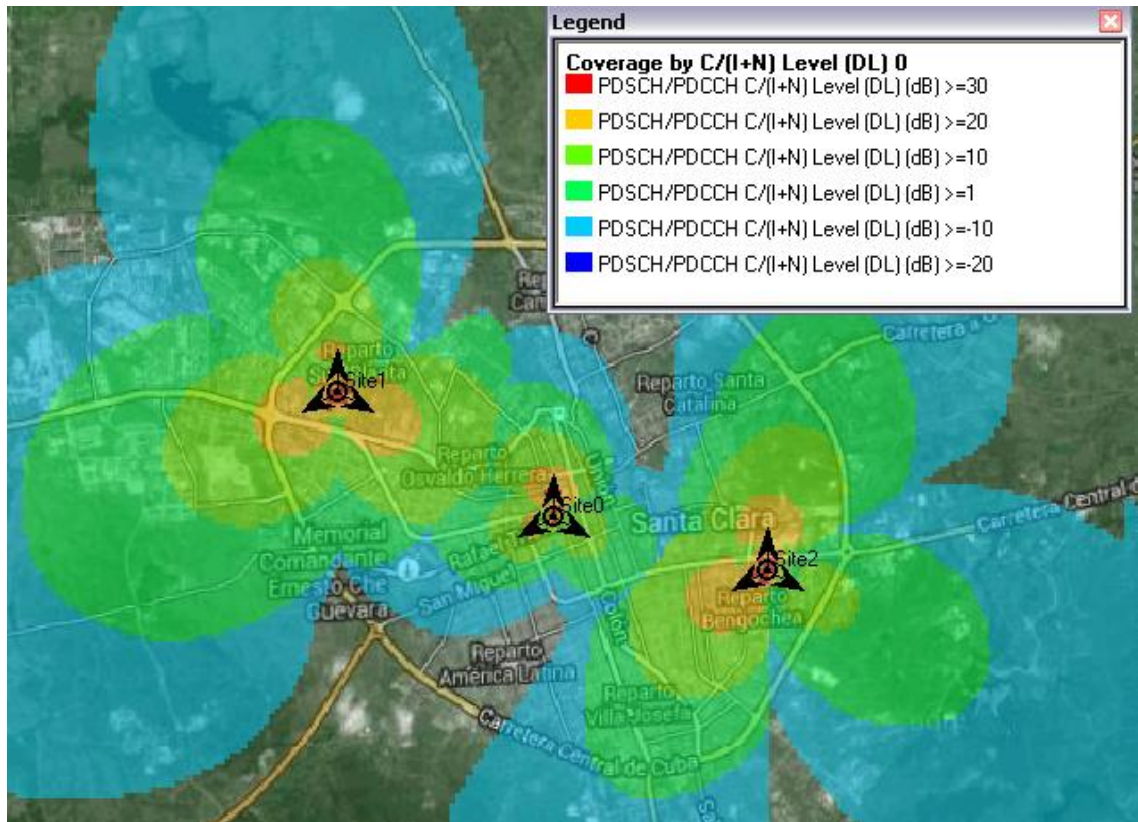


Figura 3.6 Niveles de interferencia mediante la planificación automática

Después de ver los estudios de interferencia, el cuarto enunciado se enfoca en los estudios de capacidad de la red mediante el empleo de mapas de tráfico. Una vez realizado las simulaciones del comportamiento de la red, es importante saber los datos que definirían el comportamiento de la red y aquellos que ya brinden señales de alerta sobre transmisores o BS con mucha carga de tráfico. Este último dato requiere de vital importancia pues es medidor para saber si se incluye o no en el diseño un nuevo emplazamiento.

En la figura 3.7 se muestra el promedio de todas las simulaciones del comportamiento de la red realizadas. Los datos enmarcados en rojo son de vital importancia pues indican la razón de rechazo o en ese caso el por ciento de usuarios que no se pudieron conectar a la red. En el caso real de diseño de la red este es un parámetro de calidad de la misma.

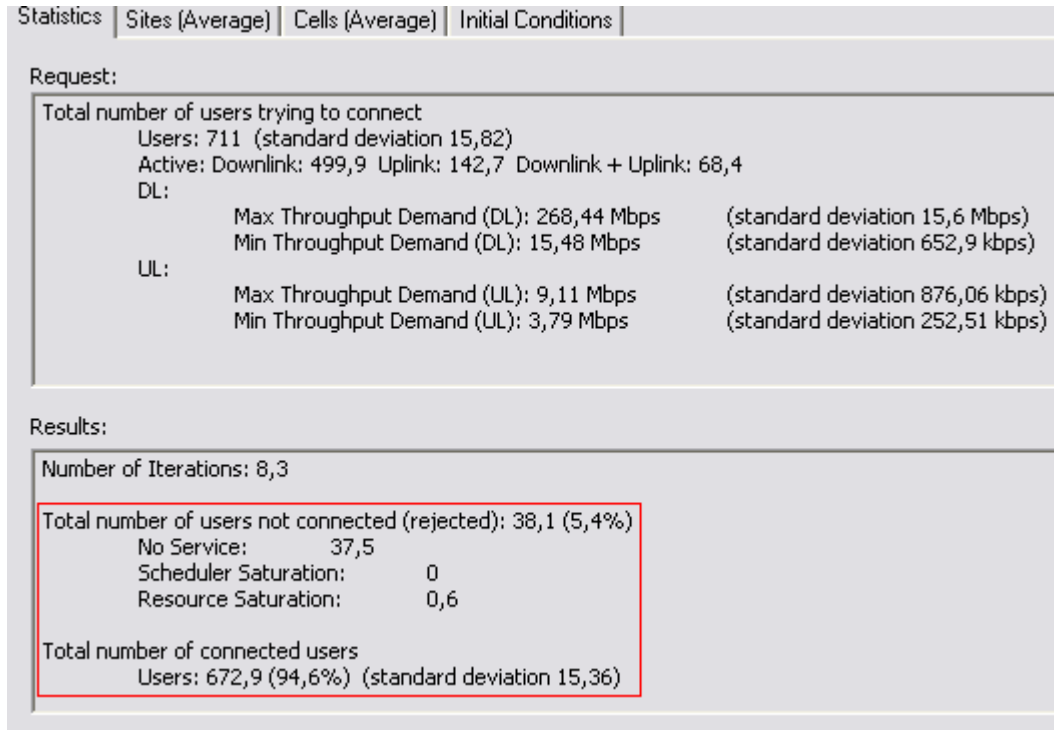


Figura 3.7 Estudio de capacidad de la red

Para el caso que se quiera saber el nivel de carga de tráfico de los elementos de la red solo habría que desplazarse hacia la pestaña *Cell* tal como muestra la figura 3.8. Lo enmarcado en rojo indica, en por ciento, la carga de cada transmisor de la red.

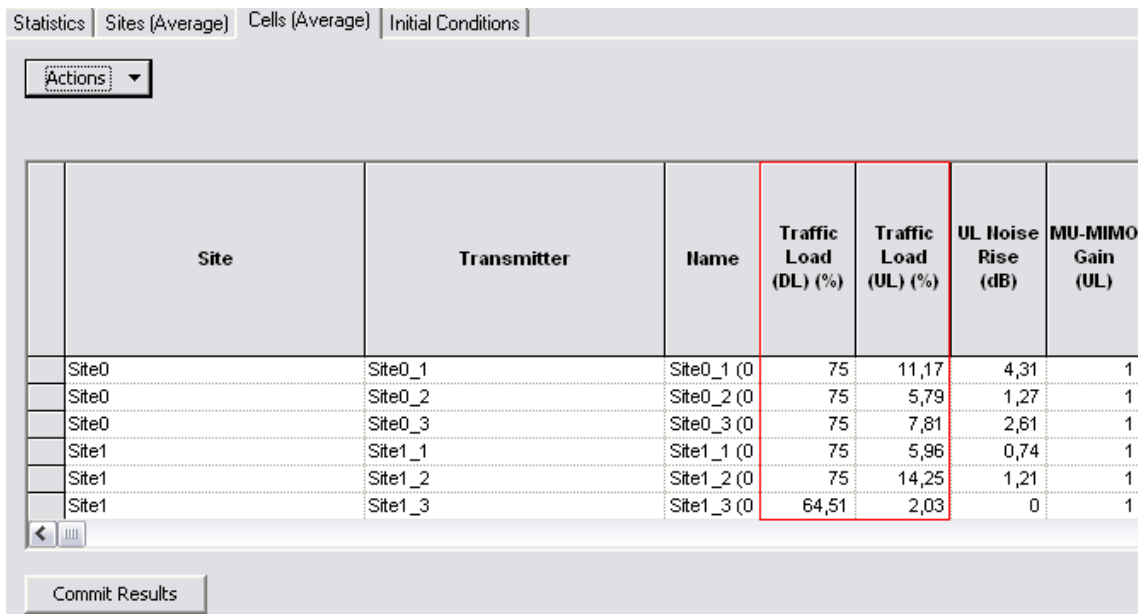


Figura 3.8 Estudio de capacidad de la red. Pestaña Cell

Por último el quinto enunciado lo que pretende es llevar al estudiante a ver el comportamiento de la red bajo otros parámetros. Así, mediante este ejercicio el estudiante puede reafirmar sus conocimientos e intentar por si solo diseños más eficientes.

3.2 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se han conformado prácticas de laboratorio que abarcan cada una de las tecnologías de las comunicaciones móviles, tal es el caso de GSM, UMTS y LTE. Además se ha confeccionado una primera práctica de laboratorio en la cual se describen los pasos para el trabajo con el software Atoll 2.8.0 y por último se ha analizado los resultados brindados en el laboratorio de simulación 4 “Tecnología LTE”.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 La evolución de los sistemas de comunicaciones móviles es cada vez más inminente, llegando hasta ahora a un sistema 4G capaz de ofrecer todos los servicios, soportando velocidades de al menos 100 Mbps en el *downlink* y 50 Mbps en el *uplink*, que permite a los usuarios la posibilidad de movilizarse a grandes velocidades y al mismo tiempo disfrutar de los servicios multimedia.
- 2 Se ha podido evaluar la efectividad del *software* Atoll en el dimensionamiento de redes móviles abriendo con ello nuevos campos para el entendimiento de la materia y posibilitando así un mejor y más completo aprendizaje.
- 3 La asignatura Comunicaciones Móviles cuenta con prácticas de laboratorio que posibilitaran el desarrollo de habilidades de diseño y simulación de redes móviles.
- 4 Con estas actividades, se tiene un material que favorece el auto aprendizaje del estudiante en la materia Comunicaciones Móviles preparándolo para el ámbito profesional.

Recomendaciones

- 1) Profundizar en las posibilidades que brinda la herramienta de software Atoll 2.8.0 que no han sido objeto de estudio en este trabajo, y así tratar de obtener el mejor provecho posible.
- 2) Utilizar como base las prácticas de laboratorio para el desarrollo de diseños personalizados para un proyecto de curso de la asignatura Comunicaciones Móviles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2007a. *Importancia de las Comunicaciones Móviles* [Online]. Available: <http://es.Wikipedia/Import Comunicac Moviles> [Accessed 10/03/2014].
- 2007b. PLAN D, CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA, CARACTERIZACIÓN DE LA CARRERA. Ministerio de Educación Superior.
- 2007c. *Reglamento de Trabajo Docente Metodológico. Resolución 210*, La Habana, Ministerio de Educación Superior.
2009. P1 Asignaturas Comunicaciones Móviles.
- 2010a. Dictamen 140. El currículo base del Plan del Proceso Docente. . Ministerio de Educación Superior.
- 2010b. *Sistemas de Comunicaciones Móviles* [Online]. Available: <http://es.wikipedia.org> [Accessed 25/04/14].
2011. *Dimensionamiento de Redes Móviles* [Online]. Available: [http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion telecomunicaciones](http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_telecomunicaciones) [Accessed 25/04/2014].
- CALVO, I. 2009. Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao UPV/EHU
- CARTAS, M. A. G. 2014. *Metodología para el diseño de una red WiMAX Móvil*. Universiadd Central "Marta Abreu de las Villas".
- CASTRO, J. P. 2006. *The UMTS Network and Radio Access Technology*.
- CUADRADO, D. N. 2012. *Propuesta de una estrategia para la transición hacia Cuarta Generación de los Servicios Móviles en Cuba*. Universiadd Central "Marta Abreu de las Villas".
- DORMIDO, S. 2004. Control Learning: Present and Future. Annual Reviews in control.
- ERICSSON 2009a. GSM SYSTEM SURVEY. *In: SYSTEMS*, E. R. (ed.).
- ERICSSON 2009b. GPRS SYSTEM SURVEY. *In: SYSTEMS*, E. R. (ed.).
- FORSK 2009. Atoll 2.8.0 User Manual Radio
- GALLOSA, A. P. 2013. *Estudio del software Atoll como propuesta docente a la asignatura Sistemas de Radio I* Universiadd Central "Marta Abreu de las Villas".
- NIEVES, Y. G. 2012. *Prácticas de laboratorio con el software Altera MAX+Plus II y el Kit*

de desarrollo KHF-E5 Universiadd Central "Marta Abreu de las Villas".

PÉREZ, R. H. 2012. *Propuesta para implementar redes UMTS, utilizando enlaces de microonda*. Universiadd Central "Marta Abreu de las Villas".

SALAS, C. E. G. 2012. PLANIFICACIÓN DE UNA RED LTE CON LA HERRAMIENTA ATOLL Y ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS ESTRATEGIAS DE PACKET SCHEDULING

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Términos	Definición
2G	Segunda Generación de Comunicaciones Móviles
3G	Tercera Generación de Comunicaciones Móviles
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i> (Proyecto de la Sociedad de Tercera Generación)
ACM	<i>Adaptive Coding and Modulation</i> (Codificación y Modulación Adaptativa)
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> (Modo de Transmisión Asíncronico)
AUC	<i>Authentication Centre</i> (Centro de Autenticación).
BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i> (Canal de Control para Difusión)
BSC	<i>Base Station Controller</i> (Controlador de Estaciones Base)
BSS	<i>Base Station Subsystem</i> (Sistema de Estación Base)
BTS	<i>Base Transceiver Station</i> (Estación Base de transmisión y recepción)
CCDP	<i>Co-Channel Dual Polarized Links</i> (Acoplamientos Polarizados Duales del Co-Canal)
CN	<i>Core Network</i> (Red Central)
CS	<i>Circuit Switching</i> (Conmutación de Circuito)

IDU	<i>Indoor Unit</i> (Unidad Interior)
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i> (Fuerza de Trabajo de Ingeniería de Internet)
IFG	<i>Interframe Gap</i> (Espacios entre tramas)
INU	<i>Node Indoor Units</i> (Unidades de Interior del Nodo)
ISP	<i>Internet Service Provider</i> (Proveedores de Servicios de Internet)
Iu	Interfaz entre RNC y CN
Iub	Interfaz entre RNC y Nodo B
Iu-CS	Interfaz entre RNC y MSC
Iu-PS	Interfaz entre RNC y SGSN
Iur	Interfaz entre RNC y RNC
LLC	<i>Logical Link Control</i> (Enlace Lógico de Control)
MAC	<i>Medium Access Control</i> (Control de Acceso al Medio)
MS	<i>Mobile Station</i> (Estación Móvil)
MSC	<i>Mobile Switching Center</i> (Centro de Conmutación de Servicios Móviles)
NE	<i>Network Element</i> (Elementos de Red)
NMC	<i>Network Management Center</i> (Centro de administración de la Red)
NSS	<i>Network Switching Subsystem</i> (Sistema de Conmutación de Red)
OAM	<i>Operations, Administration, and Management</i> (Operaciones

RLC	<i>Radio Link Control</i> (Control de Enlaces de Radio)
RNC	<i>Radio Network Controller</i> (Controlador de la Red de Radio)
RNS	<i>Radio Network Subsystem</i> (Subsistema de Red de Radio)
SCH	<i>Synchronisation CHannel</i> (Canal de Sincronización)
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i> (Nodo de Soporte de Servicios GPRS)
SMS	<i>Short Message Service</i> (Servicio de Mensajes Cortos)
SNDCP	<i>Subnetwork Dependent Convergence Protocol</i> (Protocolo Dependiente de la Convergencia de Subred)
TBF	<i>Temporary Block Flow</i> (Flujo Temporal de Bloques)
TCH	<i>Traffic CHannel</i> (Canal de Tráfico)
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i> (Multiplexación por División del Tiempo)
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> (Acceso Múltiple por División del Tiempo)
TFI	<i>Transport Format Indicator</i> (Indicador del Formato de Transporte)
TRC	<i>Transcoder Controller</i> (Controlador de Transcodificación)
TS	<i>Time Slot</i> (Ranura de tiempo)
TTI	<i>Transmission Time Interval</i> (Intervalo del Tiempo de Transmisión)
UE	<i>User Equipment</i> (Equipo de Usuario)
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)

UTRAN	<i>Terrestrial Radio Access Network</i> (Red Terrestre UMTS de Acceso de Radio)
USF	<i>Uplink State Flag</i> (Bandera de Estado del Uplink)
VLR	<i>Visitor Location Register</i> (Registro de Localización del Visitador)
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i> (Acceso Múltiple por División de Códigos en Banda Ancha)

ANEXOS

Anexo 1. Modelos de propagación

Tabla 1. Modelos de propagación

Modelos	Bandas de frecuencias	Uso recomendado
Longley-Rice(teórico)	aprox 40 MHz	1) Superficie planas 2) Muy bajas frecuencias
ITU 370-7 Viena 93	100-400 MHz	1) Largas distancias (d<10km)
ITU 526-5(Teórico)	30-10000 MHz	1) Receptores fijos 2)Enlace de microondas 3) WIMAX
WLL	30-10000 MHz	1) Receptores fijos 2) Enlace de microonda 3) WIMAX

Okumura-Hata	150-1000 MHz	1) $1 < d < 20 \text{ km}$ 2) GSM 900 3) LTE
Cost-Hata	1500-2000 MHz	1) $1 < d < 20 \text{ km}$ 2) GSM 1800 3) UMTS 4) LTE
ITU 529-3	300-1500 MHz	1) $1 < d < 100 \text{ km}$ 2) GSM, CDMA
Standard Propagation Model	150-3500 MHz	1) $1 < d < 20 \text{ km}$ 2) GSM(900,1800), UMTS, CDMA 200 y WIMAX
Erceg-Greenstein (SUI) Model	1900-6000 MHz	1) $100 \text{ m} < d < 8 \text{ km}$ 2) WIMAX

Anexo 2. Parámetros de GSM

Tabla 2. Canales de Tráfico y Lógicos en GSM

Banda	Nombre	Canales	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Notas
GSM 850	GSM 850	128 - 251	824,0 - 849,0	869,0 - 894,0	Usada en los EE.UU., Sudamérica y Asia.
GSM 900	P-GSM 900	0-124	890,0 - 915,0	935,0 - 960,0	La banda con que nació GSM en Europa y la más extendida
	E-GSM 900	974 - 1023	880,0 - 890,0	925,0 - 935,0	<i>E-GSM</i> , extensión de GSM 900
	R-GSM 900	n/a	876,0 - 880,0	921,0 - 925,0	<i>GSM ferroviario (GSM-R)</i> .
GSM1800	GSM 1800	512 - 885	1710,0 - 1785,0	1805,0 - 1880,0	
GSM1900	GSM 1900	512 - 810	1850,0 - 1910,0	1930,0 - 1990,0	Usada en Norteamérica, incompatible con GSM-1800 por solapamiento de bandas.

Anexo 3. Parámetros de LTE

Tabla 3. Parámetros de la estación base LTE

PARAMETRO	Unidades	Valor
Banda de trabajo LTE	NA	1
Identificador de canal (N_{DL} , N_{UL})	NA	(50, 18050)
Frecuencia de portadora DL	MHz	2115
Frecuencia de portadora UL	MHz	1925
Ancho de Banda	MHz	10
Potencia de transmisión PTX	dBm	41.46 (15 W) [4]
Ganancia elemento radiante	dBi	15 [4]
Antenas TX	NA	2
Antenas RX	NA	2
Sistema MIMO en el DL	NA	2x2
Figura de ruido	dB	5 [4]
Altura de la antena	m	33

Tabla 4. Parámetros de la estación móvil LTE

PARAMETRO	Unidades	Valor
Banda de trabajo LTE	NA	1
Identificador de canal (N_{DL} , N_{UL})	NA	(50, 18050)
Frecuencia de portadora DL	MHz	2115
Frecuencia de portadora UL	MHz	1925
Ancho de Banda	MHz	10
Potencia de transmisión P_{TX}	dBm	23 (200 mW) [2]
Ganancia elemento radiante	dBi	0 [4]
Antenas TX	NA	1
Antenas RX	NA	2
Ganancia por elementos del arreglo	dB	0
Sistema MIMO en el DL	NA	2x2
Figura de ruido	dB	9 [4]
Altura de la antena	m	1.7