

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Estudio del software Atoll como propuesta docente
a la asignatura Sistemas de Radio I**

Autor: Alfredo Pérez Gallosa

Tutor: Ing. Mario Alberto González Cartas

Santa Clara

Curso 2012-2013

"Año 55 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Estudio del software Atoll como propuesta docente
a la asignatura Sistemas de Radio I**

Autor: Alfredo Pérez Gallosa

apgallosa@uclv.edu.cu

Tutor: Ing. Mario Alberto González Cartas

mgcartas@uclv.edu.cu

Santa Clara

Curso 2012-2013

"Año 55 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 Telecomunicaciones y Electrónica, 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 Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“Lo poco que se, se lo debo a la ignorancia.”

Platón

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A mi Papa por su cariño, y por guiarme para que no me perdiera.

A mi Mama por darme ese cariño que se entiende bien solo cuando eres padre.

A Alejandro por ser el mejor hermano del mundo.

A Yadiana por quererme de la forma tan increíble con que lo hace.

A Dios por todo lo que me ha dado.

Y en especial a mi niñita por darle sentido a mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecerles en especial a mis padres quienes han dedicado toda su vida a mi formación profesional y de valores, guiándome siempre por el camino correcto.

A Yadi por todo su apoyo y amor como amiga incondicional y maravillosa amante en todo este tiempo juntos.

A mi hermano, y a todos mis familiares que me han brindado su incondicional apoyo para seguir adelante.

A mis hermanos no sanguíneos pero no menos importantes Mario , Rafa, Asiel, Josema, Amaury, Raimar, Tinto gracias por aceptarme como amigo.

A Any, Aimé, Cludias, por su amistad incondicional.

A Erik y Osledi por ser tremendos amigos.

Al Rafa (marcio), por ser mi amigo y por la labtop.

Al Combo (Valdivia, Palo, Tito) por darme su ayuda cuando se las pedí.

A mis compañeros de Tele y profesores que tan importante papel desempeñaron durante todos estos años juntos.

Desde mi corazón, a todas aquellas personas que de una forma u otra ayudaron en la construcción de este sueño.

Y al 2013 por darme tantas alegrías juntas.

Sinceramente Gracias

TAREA TÉCNICA

1. Definir los las características fundamentales del software Atoll
2. Elaborar el procedimiento de trabajo para el diseño en Atoll de enlaces de microondas redes WiMAX móvil.
3. Evaluar el desempeño de Atoll en el dimensionamiento de enlaces de microondas y redes WiMAX móvil, a partir de simular casos reales ya implementados o redes dimensionadas teóricamente.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

En el presente trabajo de diploma se hace una revisión de la aplicación Atoll 2.8.0 para ser presentada como propuesta docente en las asignaturas de Sistemas de Radio I debido a que permite la simulación de gran variedad de redes de radiocomunicaciones. Además, el software es presentado como una herramienta que facilitará complementar el enseñar de los diferentes conceptos sobre sistemas de radiocomunicaciones. En el trabajo se describe el procedimiento para el diseño de enlaces de microondas y redes WiMAX teniendo en cuenta los parámetros característicos de estos tipos de redes, además se da una breve explicación sobre los modelos digitales de elevación y otras opciones, modelándose algunos ejemplos teórico-prácticos implementados en tesis de cursos anteriores.

ÍNDICE

<i>PENSAMIENTO</i>	i
<i>DEDICATORIA</i>	ii
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	iii
RESUMEN	vi
ÍNDICE	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE ATOLL 2.8.0.....	4
1.1 Introducción a las RNPs (Radio Network Planning)	4
1.1.1 Componentes de un RNP	6
1.1.2 El software Atoll	7
1.2 Instalación de Atoll	9
1.2.1 Ventanas de Atoll.....	12
1.2.2 Ventana de exploracion (Explorer window)	13
1.3 Tipos de datos geográficos.....	14
1.3.1 Modelo Digital del Terreno	16
1.3.2 Mision STMR	16
1.3.3 Modelo GTOPO30/SRTM30.....	16
1.3.4 Modelos SRTM de mayor resolución	17

1.3.5	Modelo DTED	17
1.4	Modelo GLOBE	18
1.5	Cartografía pública básica.....	19
1.6	Global Mapper	20
1.7	Características de los modelos de propagación.....	20
1.8	Consideraciones	21
CAPÍTULO 2. Configuración de una red en Atoll		22
2.1	Modelo de propagación ITU 526-5.....	22
2.2	Modelo de propagación Erceg-Greenstein.....	23
2.3	Configuración de una plantilla para Enlaces de Microondas.....	26
2.3.1	Configuración de un Sitio	27
2.3.2	Configuración de un enlace	27
2.3.3	Configuración del equipamiento.....	30
2.3.4	Configuración de antenas.....	30
2.3.5	Configuración de cables y Guías de onda.....	31
2.3.6	Tipos de Análisis	32
2.4	Configuración de una plantilla para una red WiMAX móvil.....	33
2.4.1	Configuración de una Zona.....	34
2.4.2	Parámetros de Diseño	34
2.4.3	Servicios.....	35
2.4.4	Terminales	36
2.4.5	Perfiles de usuario.....	36
2.4.6	Tipos de movilidad	37
2.4.7	Entornos.....	37

2.4.8	Transmisores	38
2.4.9	Modelos de cobertura.....	39
2.4.10	Estudios de capacidad de la red	41
2.4.11	Consideraciones	43
CAPÍTULO 3. Simulación de redes inalámbricas con Atoll		44
3.1	Caso de estudio 1	44
3.1.1	Simulación	46
3.2	Caso de estudio 2	47
3.3	Consideraciones	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		52
Conclusiones		52
Recomendaciones		52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		53
ANEXOS		54
Anexo I: Especificaciones técnicas del CPE <i>Huawei</i> BM8201.....		54
Anexo II: Especificaciones técnicas del BS <i>Huawei</i> DBS3900 V300R002.....		55
Anexo III Hoja de datos del sistema de microondas SuperStar.....		56
Anexo IV: Hoja de datos de la antena DA2-W71BD		57

INTRODUCCIÓN

La primera transmisión por radio fue llevada a cabo por Guglielmo Marconi en 1895, marcando el inicio del desarrollo de las radiocomunicaciones. Desde entonces, las tecnologías para las comunicaciones inalámbricas no han dejado de evolucionar a un ritmo vertiginoso, y han marcado el desarrollo tecnológico actual. Actualmente es posible estar conectado en casi cualquier lugar del mundo, y acceder a cualquier información en tan solo unos segundos. Por lo que los sistemas para las comunicaciones inalámbricas son de vital importancia en el marco de la sociedad actual (Pacheco, 2010).

Ante este acelerado desarrollo tecnológico, es labor del docente ofrecer al alumnado medios tecnológicos 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 de radioenlaces fijos y 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 (Pacheco, 2010).

En este trabajo de diploma se plantea el uso del *software* Atoll 2.8.0 como un excelente complemento en las disciplinas de Radio, en especial en la asignatura de Sistemas de Radio I, debido a que ofrece un nivel de complejidad idóneo. Con este software se permitirá diseñar casos prácticos de redes, con los que lograrán reafirmar conceptos sobre los fundamentos de la radio propagación, la creación de radioenlaces y la realización de estudios de cobertura e interferencia.

Por todo lo antes mencionado se ha planteado como objetivo general:

Elaborar un procedimiento para la utilización del programa Atoll 2.8.0 en la asignatura Sistemas de Radio I.

Los objetivos específicos de este trabajo responden a las tareas técnicas a realizar, los mismos se listan a continuación:

1. Definir las características principales del software Atoll 2.8.0.
2. Elaborar un procedimiento para la utilización del Programa Atoll 2.8.0, para diseños de enlaces de microondas y redes WiMAX móvil.
3. Simular y analizar radioenlaces de microondas reales y redes WiMAX móvil.

Organización del informe

La estructura del siguiente Trabajo de Diploma consiste en Resumen, Introducción, Capitularios, Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos. El Capitulario consta de tres capítulos divididos por epígrafes cada uno con temas específicos e interrelacionados entre sí. A continuación se describen dichos capítulos:

Capítulo 1: Introducción al software Atoll 2.8.0

En este capítulo se exponen los principios de un software RNP adentrándose a continuación las principales características del software Atoll. Además se hace referencia a los modelos de propagación que utiliza y describe los modelos digitales del terreno que se puede utilizar.

Capítulo 2: Configuración de una red en Atoll

En este capítulo se realiza un procedimiento para el diseño de redes WiMAX y enlaces de microondas con el *software* Atoll 2.8.0, donde se explica la configuración y la utilización de las herramientas de diseño.

Capítulo 3: Simulación de redes inalámbricas con Atoll

En el capítulo se utiliza Atoll 2.8.0 en el dimensionamiento de enlaces microondas, mostrándose los resultados de la simulación de un enlace de microondas real. Además se realiza el dimensionamiento de una red hipotética WIMAX para explotar la opción del cálculo de cobertura del *software*. De esta forma se realiza la validación de Atoll 2.8.0 para ser utilizado en la asignatura Sistemas de radio I.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE ATOLL 2.8.0

El diseño de radioenlaces es una disciplina que involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, los tipos de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o el conocimiento de las distintas modalidades y fenómenos de propagación radioeléctricas, entre otras. Realizar este proceso de forma manual es algo engorroso por lo que la utilización de aplicaciones informáticas de simulación con cartografías digitales del terreno constituye una potente herramienta de ayuda en la planificación.

En el ámbito docente este tipo de aplicaciones son de gran importancia pues permiten al estudiantado acercarse a la parte práctica de su profesión. Algo que para la carrera de Telecomunicaciones y Electrónica es casi que imposible ya que sus módulos reales siempre están operativos dada la importancia de las comunicaciones en cualquier país.

En este capítulo se recogen elementos teóricos y características importantes que se tuvieron en cuenta para la realización del software Atoll 2.8.0. Además se realizó una búsqueda bibliográfica de todo lo referente a los elementos necesarios a destacar para introducir al lector en el uso de Atoll 2.8.0.

1.1 Introducción a las RNPs (Radio Network Planning)

Las herramientas de planificación siempre han jugado un papel importante en el trabajo diario de los operadores de redes. Cuando los requisitos comerciales por demanda de servicio están basados en planes comerciales, la tarea de los planificadores de redes es cumplirlos objetivos con la menor inversión posible (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

Generalmente, los parámetros de entrada incluyen requisitos relacionados con la calidad, la capacidad y la cobertura de cada servicio. La mayoría de las redes de Segunda Generación ofrecen solo servicios de voz. En Tercera Generación, hay varios tipos de servicios (voz y datos), cada uno con diferentes requisitos. De este modo, la importancia de estas herramientas es mayor en tercera generación que en la segunda. Es necesario encontrar un punto medio óptimo entre calidad, capacidad y cobertura para todos estos servicios. Así las herramientas RNP son uno de los principales soportes para conseguir esta optimización (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

En las aplicaciones modernas, todas las herramientas requeridas están normalmente integradas en un sólo paquete. Si éste está formado correctamente, el usuario final, en este caso el planificador de red, ignorará que él o ella está usando varias herramientas cuando realiza actividades de planificación. Esta sección muestra los requisitos de cualquier aplicación RNP que soportará las distintas fases del proceso (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

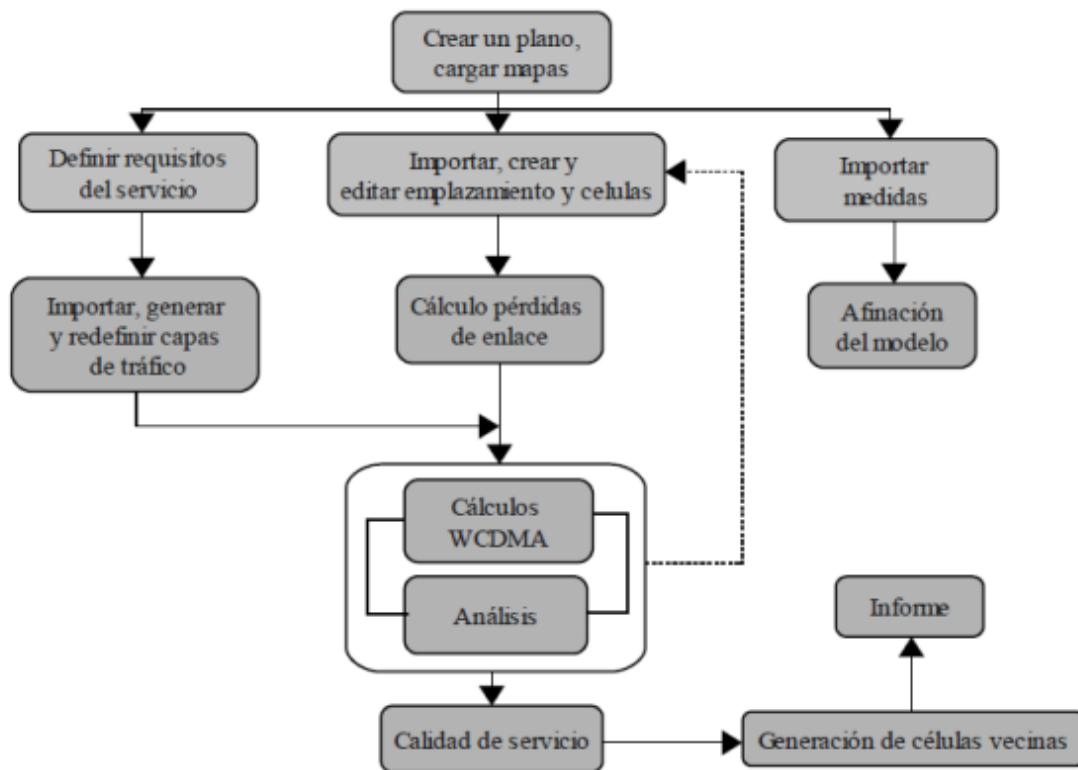


Figura 1.1: Diagrama de flujo de cualquier RNP (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009)

1.1.1 Componentes de un RNP

Mapa Digital:

El requisito más importante de una herramienta RNP es el mapa geográfico del área de planificación. El mapa es necesario para las predicciones de cobertura y modelado de tráfico, cuyos datos serán posteriormente usados en la fase de cálculo y en utilidades de análisis. Un mapa de RNP debe incluir al menos datos topográficos (altura del terreno), de forma (tipo de terreno) y situación de los edificios y datos de altura, en forma de mapas *raster*. Además, es importante que incluya datos vectoriales de edificios para la localización digital de estos en el mapa (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

Proyecto:

Un proyecto es una combinación de varios objetos que forman un paquete entendible por el planificador de red. Está generalmente definido por los siguientes elementos:

- Mapa digital
- Propiedades del mapa.
- Área a planificar
- Tecnología de acceso elegida
- Parámetros de entrada para cálculos
- Modelos de antenas.

Un proyecto es creado y definido antes de que empiecen las actividades de planificación. Este incluirá todas las configuraciones y parámetros de los elementos de la red. En la práctica contendrá todos los datos de las estaciones bases y celdas que serán finalmente desplegadas en la red real. Una herramienta RNP deberá ser capaz de crear, definir, guardar y recuperar diversos proyectos, de esta forma, distintas versiones de una misma área podrá ser comparada en términos criterios de calidad, capacidad y cobertura (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

Editor de Antenas:

En herramientas RNP, Antena es un concepto lógico que incluye modelos de radiación de antena y parámetros como ganancia y banda de frecuencia. Una vez que la antena está definida, puede ser entonces asignada y usada por las celdas y predicciones de cobertura. La definición de una antena comienza importando los modelos de radiación hacia la

aplicación RNP. Los vendedores de antenas proporcionan a los operadores los modelos por medio de *datasheets* (hojas de características). Gracias a estos datos, se dispone dentro de la herramienta de una base de datos con todas las características de las antenas (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

Editor del modelo de Propagación

Una herramienta RNP debe ofrecer la posibilidad de modificar los modelos de propagación con el fin de adecuarse a las condiciones del área en cuestión. Esta personalización del modelo está basada en medidas de campo que provee en datos de la potencia de la señal en cada coordenada. También debe soportar diferentes características del área a planificar y los entornos de propagación, por lo tanto, debe soportar varios modelos de propagación (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

Tipos Emplazamientos/Celdas

Una herramienta RNP debe tener la función de definir y manejar la configuración general del hardware y la configuración y parámetros por defecto establecidos en los elementos de la red como son los emplazamientos y las celdas, así como la posibilidad de modificar las BTS, ya que los modelos originales se modifican a menudo con las actualizaciones del hardware (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

1.1.2 El software Atoll

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 ingeniera, 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 adecuados 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.

Las principales características de Atoll son las siguientes (Salas, 2012):

- 1- 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.
- 2- Arquitectura abierta y flexible: Soporta entornos multiusuarios 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.

- 3- -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 de los hardware disponibles.
- 4- -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.
- 5- 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 realizar 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.

1.2 Instalación de Atoll

La instalación de Atoll es simple y necesidades un perfil del administrador (Forks, 2012).

- 1) La estructura de la denominación del archivo de instalación de Atoll generalmente es: “Atoll.language.version_number.build_number.exe”.
- 2) Instale el Atoll haciendo clic doble en el archivo de la instalación

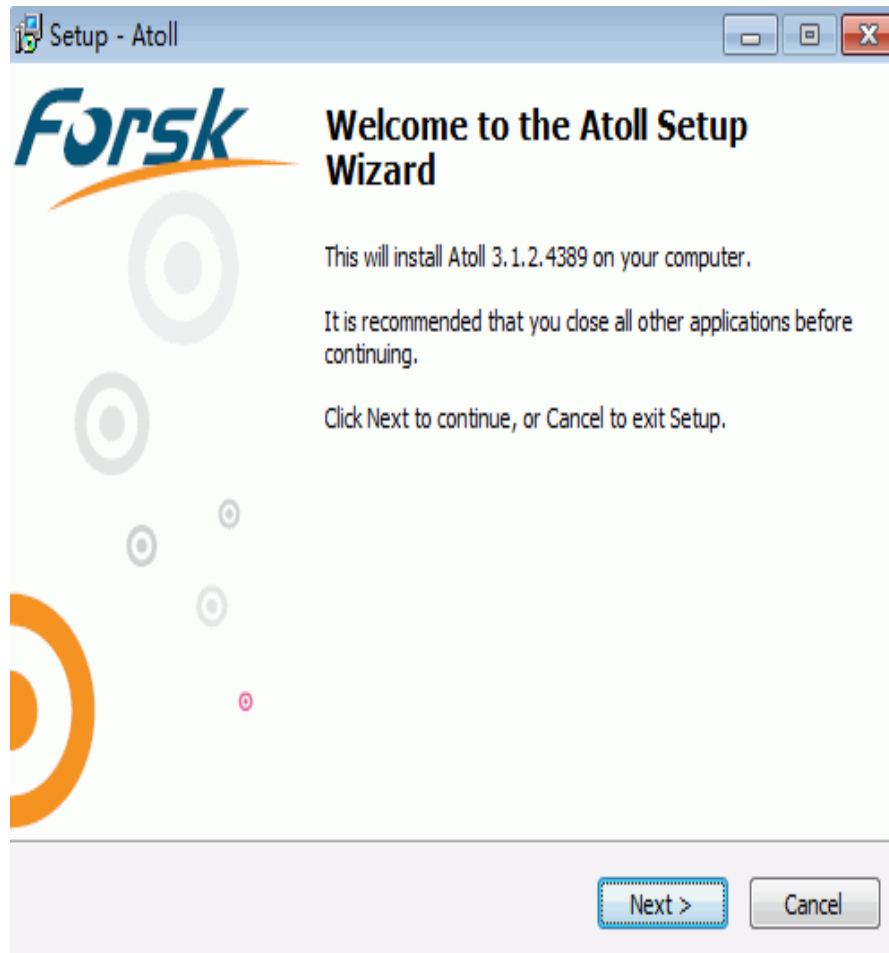


Figura 1.2: Ventana de inicio de la instalación (Forks, 2012)

- 3) En la caja del diálogo aparecida, haga clic adelante en el botón “próximo” y escoge el directorio de la instalación (el camino predefinido es C:\Program File\Forsk\Atoll). El requisito mínimo para la instalación de Atoll es un espacio del disco de 123.6MB.
- 4) En la tercera ventana el usuario puede escoger “la instalación completa”, “la instalación compacta” o “la instalación personalizada” y selecciona en esta última los módulos. La recomendación para una primera instalación de Atoll es “la instalación Llena”, también pueden seleccionarse al mismo tiempo Dos Complementos de Atoll y consola de Dirección de Atoll para la instalación.

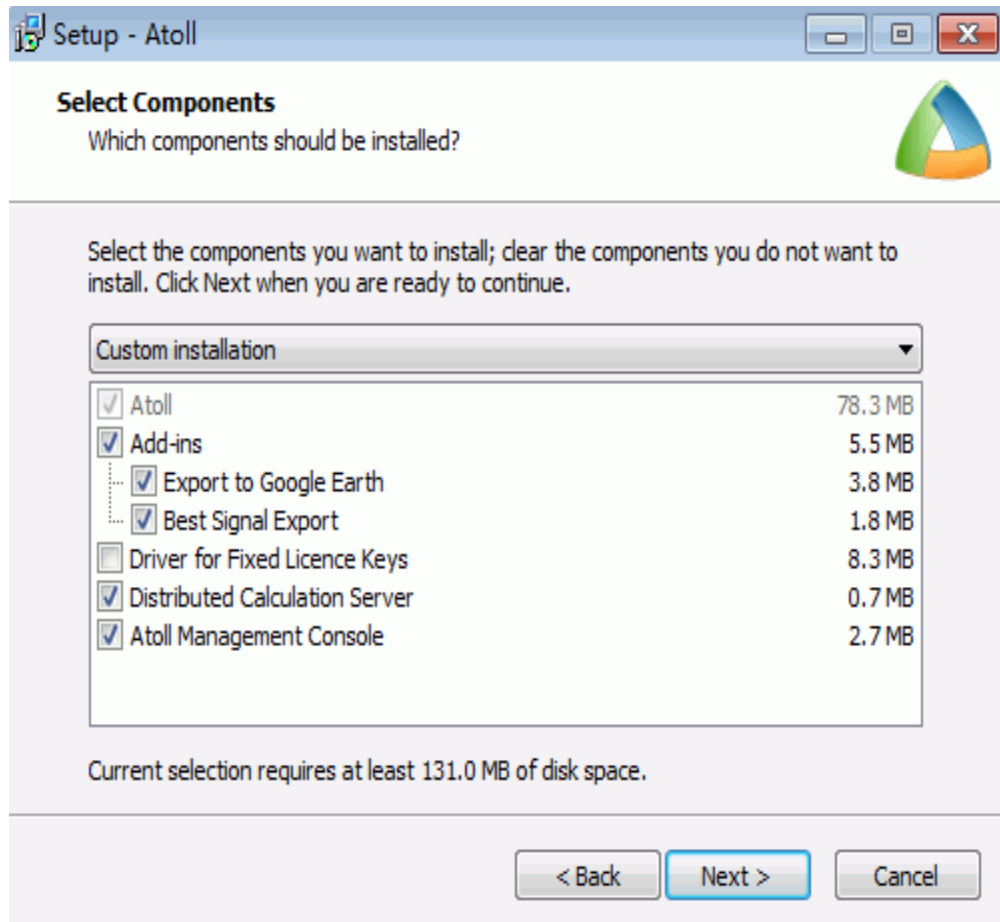


Figura 1.3: Ventanas de componentes para la instalación (Forks, 2012)

Si usted es la primera vez que instala Atoll, por favor seleccione la opción de “driver para las llaves Licencia Fija”, y su computadora necesitara será reiniciada después de la instalación.

5) En la cuarta ventana, rellene los campos “Dominio”, “Username” y “la Contraseña”. Si el usuario no escoge previamente “el servidor de cálculo de Atoll”, entonces él no necesita rellenar cualquier información.

6) Haga clic en el botón “Próximo” para empezar la instalación de Atoll. Después de la instalación, la computadora necesita ser reiniciada.

Se debe aclarar que este software posee una licencia *dongle*. El *dongle* es un pequeño dispositivo que el usuario tiene que insertar en un puerto relevante de la computadora, para ejecutar la aplicación. Para evitar esa complicación se puede descargar el fichero SX32W.DLL modificado de Internet.

1.1.1 Iniciar un proyecto en Atoll

Cuando se quiere comenzar un nuevo proyecto, éste se basa en una plantilla que tiene los datos y la estructura de carpetas necesarias para la tecnología que se esté usando. Una vez empezado el nuevo proyecto, se pueden modificar los parámetros de red según las necesidades particulares. También se pueden crear plantillas propias abriendo las existentes y guardándolas como una nueva, una vez hechos los cambios necesarios para cumplir nuestras necesidades.

1.2.1 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:

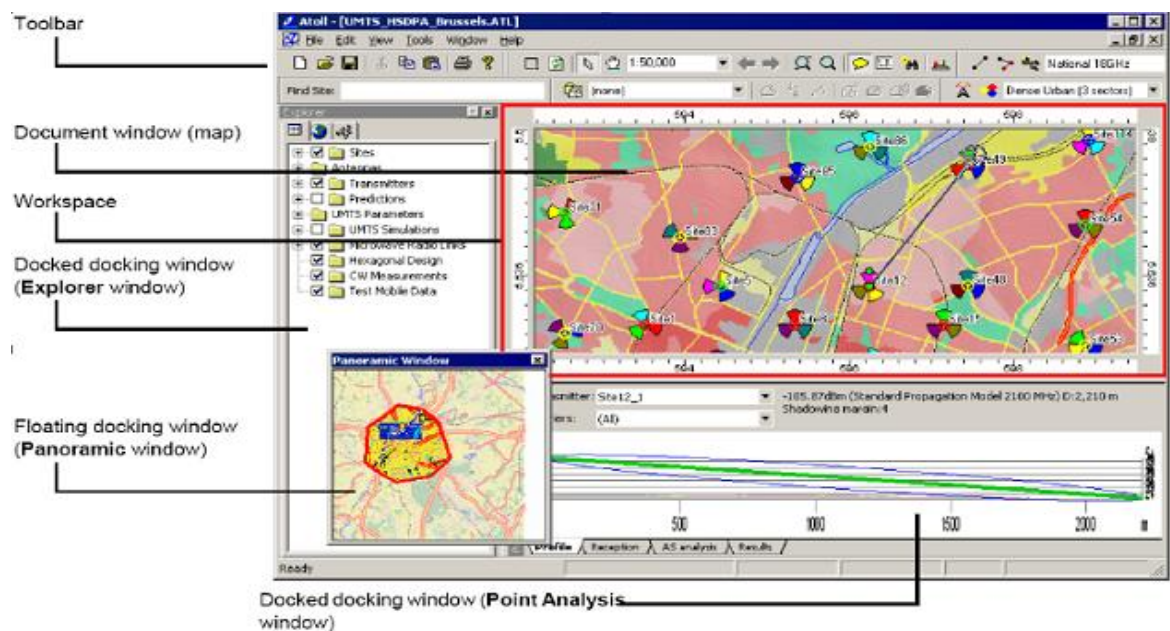


Figura 1.4: Ventanas de exploración (Forsk, 2009)

1.2.2 Ventana de exploración (Explorer window)

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 (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

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

1.3 Tipos de datos geográficos

Los tipos de datos geográficos juegan distintos papeles en ATOLL(DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009):

- **Modelo Digital del Terreno (DTM):**

El DTM describe la elevación del suelo sobre el nivel del mar. Se puede mostrar el DTM de diferentes formas: por valor único, valores discretos o intervalo de valores (Forsk, 2009).

- ***Clutters Class:***

Describe la superficie de la tierra o el uso de ésta. Cada pixel del archivo clases *clutter* contiene un código (de un máximo de 256 posibles) que corresponde con una clase de clutter, o en otras palabras un cierto tipo de terreno usado (Forsk, 2009).

- ***Clutter Heights:***

Describen la altitud del *clutter* sobre el DTM con una altitud definida por pixel. Los mapas *clutter heights* pueden ofrecer información más precisa que la de *clutter classes* porque, en un fichero *clutter heights*, es posible tener diferentes alturas dentro de una única clase de *clutter*. Al igual que el anterior podemos definir el mapa de *clutter heights* de formas distintas: por valor único, valores discretos o intervalo de valores (Forsk, 2009).

- **Mapas de tráfico:**

Contienen información de la capacidad y servicio usada por área geográfica. Estos mapas se usan para los análisis de capacidad de la red (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

- **Mapas de población:**

Contienen información de la densidad de población o el número total de habitantes. Los mapas de población se pueden usar en informes de predicción para visualización. No tienen efectos sobre los resultados de las simulaciones (Salas, 2012).

- **Mapas escaneados:**

Son archivos de datos geográficos que representan el entorno físico actual, por ejemplo, mapas de carretera o imágenes de satélites. Son usadas para proporcionar un fondo preciso para otros objetos o para mapas menos precisos y son usados sólo para visualización, no tienen efectos sobre los cálculos (Salas, 2012).

- **Otros mapas:**

Se pueden importar muchos tipos diferentes de archivos, por ejemplo, costeros, de precipitaciones, o socio-democráticos. No tienen efecto sobre ninguna simulación (DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, 2009).

1.3.1 Modelo Digital del Terreno

El nombre de Modelo Digital del Terreno implica una representación de las elevaciones del terreno mediante valores numéricos, generalmente esta representación es una forma simplificada de la geometría de la superficie del terreno. Consiste en una serie de puntos con coordenadas conocidas referenciadas a un sistema de coordenadas bidimensionales a las que se les asocia un valor de elevación. Además establecen relaciones de correspondencia con el objeto real mediante algoritmos o formalismos matemáticos que son tratados mediante programas informático (Felicísimo, 2000).

El modelo de mayor aceptación es el SRTM debido a la libre distribución de los ficheros de alta resolución. Cada modelo tiene características similares y diferentes por lo que se seleccionará un modelo u otro en función de las necesidades y de la capacidad de computación disponible

1.3.2 Mision STMR

La *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) fue un proyecto conjunto entre la *National Imagand Mapping Agency* (NIMA), la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) y las *Agencias Espaciales de Alemania* (DLR) e Italia (ASI). La misión se desarrolló durante 11 días del mes de Febrero del 2000, y el objetivo fue generar datos digitales topográficos para el 80% de la superficie de la tierra, área comprendida entre 60° Norte y 56° Sur, con puntos ubicados en una grilla de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros) en latitud y longitud. Para ello se utilizó una técnica llamada interferometría radar, en la cual dos imágenes de radar son tomadas de un mismo sitio desde dos posiciones diferentes. Por medio del procesamiento de la información captada por ambas antenas un modelo digital de elevación de la superficie terrestre puede generarse (Ramírez, 2001).

1.3.3 Modelo GTOPO30/SRTM30

El modelo digital de elevación GTOPO30 es un MDE global elaborado por la USGS a partir de datos recogidos desde 1993, con un espaciado entre muestras de 30 segundos de arco, es decir, con una resolución de altura de matriz de 1 km. El modelo cubre todo el rango de latitud entre 90° N y 90° S, todo el rango de longitud entre 180° W y 180° E y un rango de elevación entre -407 m y 8752 m. Se basa en un sistema de coordenadas

tridimensional de grados decimales (latitud/longitud) y metros (elevación) referenciados al modelo WGS84. Las áreas oceánicas se clasifican como “sin datos”. La resolución de los datos implica que no se representan pequeñas islas de dimensiones inferiores a aproximadamente 1 km² (USGS, 2000). Luego de la realización de la misión espacial SRTM, la NASA creó el modelo SRTM30, combinando datos de la misión SRTM con los datos del GTOPO30. El SRTM30 tiene similares características al GTOPO30 pero sus datos digitales topográficos cubren el 80% de la superficie de la tierra, área comprendida entre 60° Norte y 56° Sur (USGS, 2003). Debido a que el SRTM30 es una actualización del GTOPO30 y presenta mejores características se hará mayor referencia a este (Pacheco, 2010).

1.3.4 Modelos SRTM de mayor resolución

El modelo digital de elevación **SRTM** fue desarrollado por el proyecto espacial de su mismo nombre. La NASA creó y reeditó nuevos productos entre los que se encuentran, los datos MDE de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m) de resolución (SRTM 1) y SRTM 3, de 3 segundos de arco de resolución (aproximadamente 90m de altura de la matriz de resolución). Estos datos cubren igual territorio que el SRTM30 (Farr, 2004).

Estos MDE se distribuyen al público a través de la USGS. En resumen, los datos de alta resolución (1 segundo de arco) están restringidos para las zonas fuera del territorio de los Estados Unidos. La NASA y la NGA están tratando de elaborar una política que permita el acceso a los datos SRTM de 1 segundo de arco fuera de Estados Unidos para uso científico. Solamente la distribución de los datos digitales de elevación con una resolución espacial mayor o igual a 3 segundos de arco no está sujeta a restricciones y es permitida al resto del mundo (Pacheco, 2010).

1.3.5 Modelo DTED

El modelo DTED fue desarrollado originalmente en la década de 1970 para apoyar a las aeronaves de simulación y predicción del radar. En apoyo a las aplicaciones militares, las imágenes y cartografía la NIMA ha desarrollado estándares de conjuntos de datos digitales, que es una matriz uniforme de valores de elevación del terreno que proporciona datos cuantitativos de base para los sistemas y aplicaciones que requieren de elevación del terreno, la pendiente y / o información de

rugosidad de la superficie. El formato DTED está dividido en tres niveles (0, 1 y 2) los cuales se describe en la especificación militar de Estados Unidos (S/A, 2000).

- DTED Nivel 0: el espaciado de elevación es de 30 segundos de arco (aproximadamente 1km). DTED 0 se derivó DTED Nivel 1 para apoyar a un requisito de representación federal. Este formato está disponible (dentro de las restricciones de derechos de autor) al público de forma gratuita a través de Internet. DTED Nivel 0 puede ser de valor para científicos, técnicos, y otras comunidades a favor y en aplicaciones que requieren elevación del terreno, la pendiente y/o información rugosidad de la superficie (Pacheco, 2010).
- DTED Nivel 1 y Nivel 2: es la base de medianas de resolución de origen de datos para todas las actividades militares y sistemas que requieren de topografía, pendiente, altitud, y/o la rugosidad del terreno bruto en un formato digital. DTED 1 es una matriz uniforme de valores de elevación del terreno con una separación de 3 segundos de arco (aproximadamente 100 metros), mientras que DTED 2 es una matriz uniforme de valores de elevación del terreno con una separación de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros) (Pacheco, 2010).

1.4 Modelo GLOBE

GLOBE es modelo digital de elevación que presenta un conjunto de datos mundiales con espaciamiento horizontal de rejilla de 30 segundos de arco (0,008333... grados) en latitud y longitud. En el ecuador, un grado de latitud es de aproximadamente 111 km. GLOBE cuenta con 120 valores por grado, dando un 1 km de grillado mejorado en el Ecuador, y progresivamente más fino en sentido longitudinal hacia los polos (Pacheco, 2010).

El sistema de coordenadas de latitud y longitud que se hace referencia WGS84. Las unidades verticales representan elevación en metros por encima de nivel del mar. La elevación de los valores va desde -407 a 8.752 metros en tierra. En GLOBE versión 1.0, las zonas oceánicas donde no existían datos han sido enmascaradas asignándoles un valor de -500. Debido a la naturaleza de la estructura de trama de este MDE, las pequeñas islas en el océano con un área de 1 kilómetro cuadrado podrán estar representadas. Este modelo

abarca una cobertura desde -180 a +180 grados de longitud y de -90 a +90 grados de latitud (S/A, 2012).

1.5 Cartografía pública básica

La cartografía es un conjunto de operaciones que tienen por objeto la concepción, preparación, redacción, realización de los mapas y planos, así como su uso. Incluye todos los trabajos que van desde la observación directa sobre el terreno o la explotación de una documentación escrita hasta la impresión definitiva y difusión de los documentos elaborados (Meijide, 2001).

1.5.1 Cartografía *Terraserver*

Terraserver es una empresa que ofrece cartografía y ortofotografías de los Estados Unidos gratuitamente a través de Internet (Pacheco, 2010).

1.5.2 Cartografía *Tiger*

Se trata de cartografía oficial elaborada por la Oficina del Censo de los Estados Unidos (US Census Bureau), disponible gratuitamente a través de Internet (Pacheco, 2010).

1.5.3 *LandCover*

El término "LandCover" (cubierta terrestre) se refiere a un conjunto de datos digitales con información de interés sobre la superficie terrestre: vegetación, estructuras artificiales como edificios, etc (Pacheco, 2010).

1.5.4 Cartografía *OpenStreetMap*

Permite ver, editar y utilizar los datos geográficos en un entorno de colaboración desde cualquier lugar en la Tierra. OpenStreetMap crea y proporciona datos geográficos libres, tales como mapas de calles. Además proporciona imágenes de la zona que está cubierta por la ventana del mapa actual. El detalle de cada imagen depende del nivel de zoom que se selecciona cuando se accede a OpenStreetMap. El nivel de zoom se establece cada vez que se combina una imagen en una ventana del mapa. Las imágenes descargadas de plano abierto se encuentran en un tamaño fijo de 256 x 256 píxeles y en formato .png. El detalle que se muestra en cada imagen depende del nivel de zoom (S/A, 2002)

1.6 Global Mapper

Para el software Atoll, encontrar un mapa digital sobre el cual trabajar se convierte en un proceso difícil de realizar, en algunos casos, obtenerlos solo se logra a un precio elevado. Además los datos SRTM o GTOPO descargados para importar un mapa digital del terreno necesitan un procesamiento para adaptarlos a un formato que Atoll pueda utilizar. Para solventar ese problema en (insertar bibliografía de página Web) se describe un método para crear un mapa de digital del terreno se emplea el software Global Mapper.

Global Mapper es un sistema de información geográfico que maneja datos *vector*, *rastr*e y de elevación del terreno permitiendo visualizarlos y convertirlos a otros formatos.

1.7 Características de los modelos de propagación

Para poder realizar estos estudios Atoll pone a nuestra disposición varios modelos de propagación, a elegir dependiendo del tipo de proyecto en el que estemos trabajando.

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 ($d < 10\text{km}$)
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) GMS 900 3) UMT
Cost-Hata	1500-2000 MHz	1) $1 < d < 20\text{km}$ 2) GSM 1800 3) UMTS
ITU 529-3	300-1500 MHz	1) $1 < d < 100\text{km}$ 2) GSM,CDMA
Standard PropagationModel	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

Tabla 1.1: Modelos de propagación.

1.8 Consideraciones

Atoll es un software con grandes potencialidades para el diseño de diversas tecnologías de acceso inalámbricas, lo que permite hacer un uso de mismo en varia de las asignaturas de la disciplina de Radiocomunicaciones.

CAPÍTULO 2. Configuración de una red en Atoll

Actualmente la asignatura Sistemas de Radio I de la disciplina de Radiocomunicaciones, tiene en su plan de estudio la impartición de dos laboratorios simulados asociados a los temas “Enlaces de Microondas Terrenales” y “Redes de Acceso Inalámbricas” (Cartas, 2012). En el caso del laboratorio referido a las redes de acceso inalámbricas, este estaba diseñado para diseñar redes WiMAX. Hasta el momento y mediante la utilización del *software Radio Mobile* se diseñaban solo redes WiMAX fijas, sin embargo, ahora con la posible introducción de Atoll se da la posibilidad de incorporar el diseño de redes WiMAX móvil.

Teniendo esto en cuenta en el trabajo se va a dimensionar un enlace de microondas y una red WiMAX móvil. Por lo tanto se utilizarán los modelos de propagación, ITU 526-5 y Erceg-Greenstein, que son los más indicados para estos propósitos.

Este capítulo servirá de guía a los estudiantes para el uso de Atoll, siendo una forma mediante la cual podrán utilizar fácilmente este software. Además ofrece algunos consejos para trabajar con este software, y complementa la escasa información existente en Internet. En ella se describe una serie de medios y procedimientos que son necesarios a la hora de realizar el cálculo de los radioenlaces.

2.1 Modelo de propagación ITU 526-5

El modelo de propagación ITU 526-5 es el más utilizado para hallar las pérdidas por difracción por obstáculos agudos o redondeados para una distancia grande (10km de entorno y más de 10 m de altura de los edificios). El cual, es un método analítico a diferencia del resto (Pascual, 2010).

Para hallar las pérdidas de propagación por el modelo de propagación por difracción UIT-R 526 es necesario calcular algunas variables necesarias que se encuentran a continuación (Pascual, 2010).

La distancia entre antena transmisora y obstáculo

$$d1 = (h - h_{t \text{ edif}})^2 + (R \cdot 1000)^2 \quad (1)$$

La distancia entre obstáculo y antena receptor

$$d2 = (h - h_{r \text{ edif}})^2 + (m \cdot 1000)^2 \quad (2)$$

La altura de la antena transmisora sobre el punto de difracción

$$h1 = (d - R) \tan(\theta) \quad (3)$$

Altura desde el punto de difracción a la antena

$$h2 = h_t - h_r - h1 \quad (4)$$

Altura perpendicular del punto de difracción sobre la recta que une las antenas. Se irá haciendo cada vez más pequeña con la distancia hasta obtener un término de difracción nulo (Pascual, 2010).

$$h = h2 \cdot \cos(\theta) \quad (5)$$

$$L_p = 32.45 + 20 \cdot \log(\text{frecuencia}) + n \cdot 10 \cdot \log(m) + L D \quad (6)$$

2.2 Modelo de propagación Erceg-Greenstein

El modelo de propagación Erceg-Greenstein está basado en medidas experimentales y toma el nombre de Modelo SUI. Fue desarrollado para frecuencias menores a 11 GHz. Definido para la banda de frecuencia de los sistemas Multipoint Microwave Distribution System (MMDS) en USA, para una banda de frecuencias de 2.5 a 2.7 GHz. Su aplicación para la banda de 3.5GHz no ha sido claramente establecida (VALDEBENITO, 2007).

El modelo de SUI se puede categorizar por tres tipos de terrenos distintos llamados A, B y C (rural, suburbano y urbano). 'A' está asociado a grandes pérdidas de propagación y es generalmente utilizado para terrenos montañosos con grandes densidades de follaje. El terreno tipo C implica unas pérdidas de propagación bajas o mínimas y se aplica en terrenos

llanos con poca densidad de árboles y grandes claros. El terreno tipo B se caracteriza por mantenerse en un punto intermedio entre los anteriores; puede contener un conjunto de características típicas de A y C (Pascual, 2010).

Parámetro	Terreno tipo A	Terreno tipo B	Terreno tipo C
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

Tabla 2.1: parámetros a, b y c del modelo de acuerdo al tipo del terreno

La ecuación del modelo Erceg viene dada por (Pascual, 2010):

$$P_L = \bar{P}_L + S = A + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + S \quad (7)$$

Esta ecuación refleja las pérdidas de trayecto en dependencia de la altura promedio de la antena de la BS (10m y 80m) y del tipo de terreno.

Donde:

$d_0 = 100\text{m}$ (distancia de referencia del modelo).

d : Distancia entre el transmisor y el receptor (Km).

\bar{P}_L : Pérdidas de trayecto medias (dB).

P_L : Pérdida de trayecto instantánea (dB).

A : Pérdidas de trayecto en espacio libre (dB) a la distancia d_0 .

S : Desvanecimiento por sombras (dB).

α : Exponente de pérdidas de trayecto.

Donde α viene dada por la expresión:

$$\alpha = a - b \bullet h_b + \frac{c}{h_b} \quad (8)$$

Donde h_b sería la altura de la estación base.

Para generalizar los resultados obtenidos de las pruebas y ajustarlos a diferentes condiciones de alturas, directividad de las antenas receptoras y a frecuencias de trabajo

mayores, se agregaron tres factores de corrección para PL, para el mismo rango de distancia y altura del transmisor que el modelo patrón:

$$\overline{P}_L = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_{h(r)} + \Delta PL_{\theta(r)} \quad [\text{dB}] \quad \text{para } d \geq d_0 \quad (10)$$

Donde:

ΔPL_f : Corrección para la frecuencia.

$\Delta PL_{h(r)}$: Corrección para la altura de la antena receptora.

$\Delta PL_{\theta(r)}$: Corrección para la directividad de la antena receptora.

Y están dados por:

$$\Delta PL_f = 6 \log\left(\frac{f}{1900}\right) \quad [\text{dB}] \quad (11)$$

$$\Delta PL_{h(r)} = 10.8 \log\left(\frac{h_r}{2}\right) \quad [\text{dB}] \quad \text{para } 2m \geq h_r \geq 10m \text{ (Modelo Erceg)} \quad (12)$$

$$\Delta PL_{h(r)} = 20 \log\left(\frac{h_r}{2}\right) \quad [\text{dB}] \quad \text{para } 2m \geq h_r \geq 10m \text{ (Modelo Erceg)} \quad (13)$$

$$\Delta PL_{\theta(r)} = 0.64 \ln\left(\frac{\theta}{360}\right) + 0.54 \left[\ln\left(\frac{\theta}{360}\right) \right]^2 \quad [\text{dB}] \quad (14)$$

Donde:

f: Frecuencia [MHz] de 1900 MHz a 3500 MHz.

hr: Altura de las antenas receptoras [m] de 2 m a 10 m.

θ : Semi-ángulo de media potencia.

El término $\Delta PL_{\theta(r)}$ es utilizado por determinados autores, el resto no lo toman en cuenta, aunque es de destacar que el uso de una antena de un $\Delta\theta = 20^\circ$ puede ser significativo y alcanzar un $\Delta PL_{\theta(r)}$ de 7dB aproximadamente.

2.3 Configuración de una plantilla para Enlaces de Microondas

Una vez elegida la plantilla se ha de incorporar el mapa al área de trabajo, para el caso de enlaces de microondas se recomiendan mapas *clutter* o DTM. Para ello se importan los mapas de la siguiente forma **File > Import**. A modo de ejemplo en la figura 2.1 se importó un mapa DTM de la región de Villa Clara.

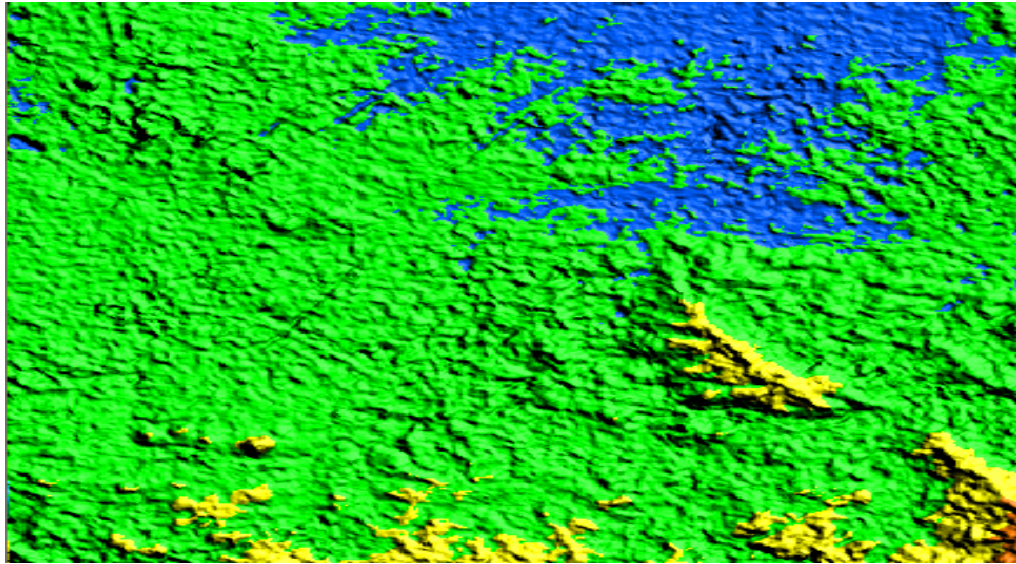


Figura 2.1: Mapa DTM de Villa Clara

Ya incorporado el mapa solo queda comenzar a trabajar el espacio de trabajo, el cual está definido en esta plantilla, para las ventanas de Datos, Geo y Módulos, como muestra la figura 2.2.

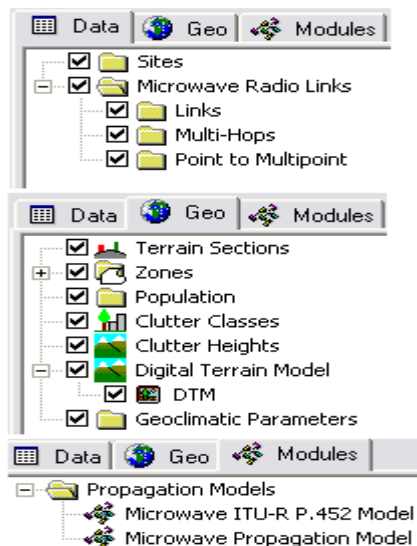


Figura 2.2: Elementos propios de las ventanas de Datos, Geo y Módulos en la plantilla de enlaces de Microondas. .

2.3.1 Configuración de un Sitio

Un Sitio se define en el software Atoll por la ubicación donde estará el emplazamiento y las características de mismo. Para ello Atoll permite la incorporación de coordenadas geográficas y brinda un conjunto de elementos físicos que soportan el emplazamiento, o sea si el emplazamiento está en la azotea, si es una torre de microondas etc. Al pulsar el botón derecho del *mouse* sobre la carpeta Sitios aparece una lista de opciones como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3 : Opciones a realizar dentro de la carpeta Sitios

Donde se puede crear un nuevo sitio, se puede abrir una tabla que lista todos los sitios creados o se pueden visualizar las propiedades generales de los mismos.

2.3.2 Configuración de un enlace

Ubicados los Sitios, se comienza a implementar el enlace de microondas. Para ello se definen primero las propiedades que van a tener todos los enlaces de microondas que se implementen. La Figura 2.4 muestra la ventana de propiedades del enlace, la cual a su vez esta dividida en ventanas desplegadas.

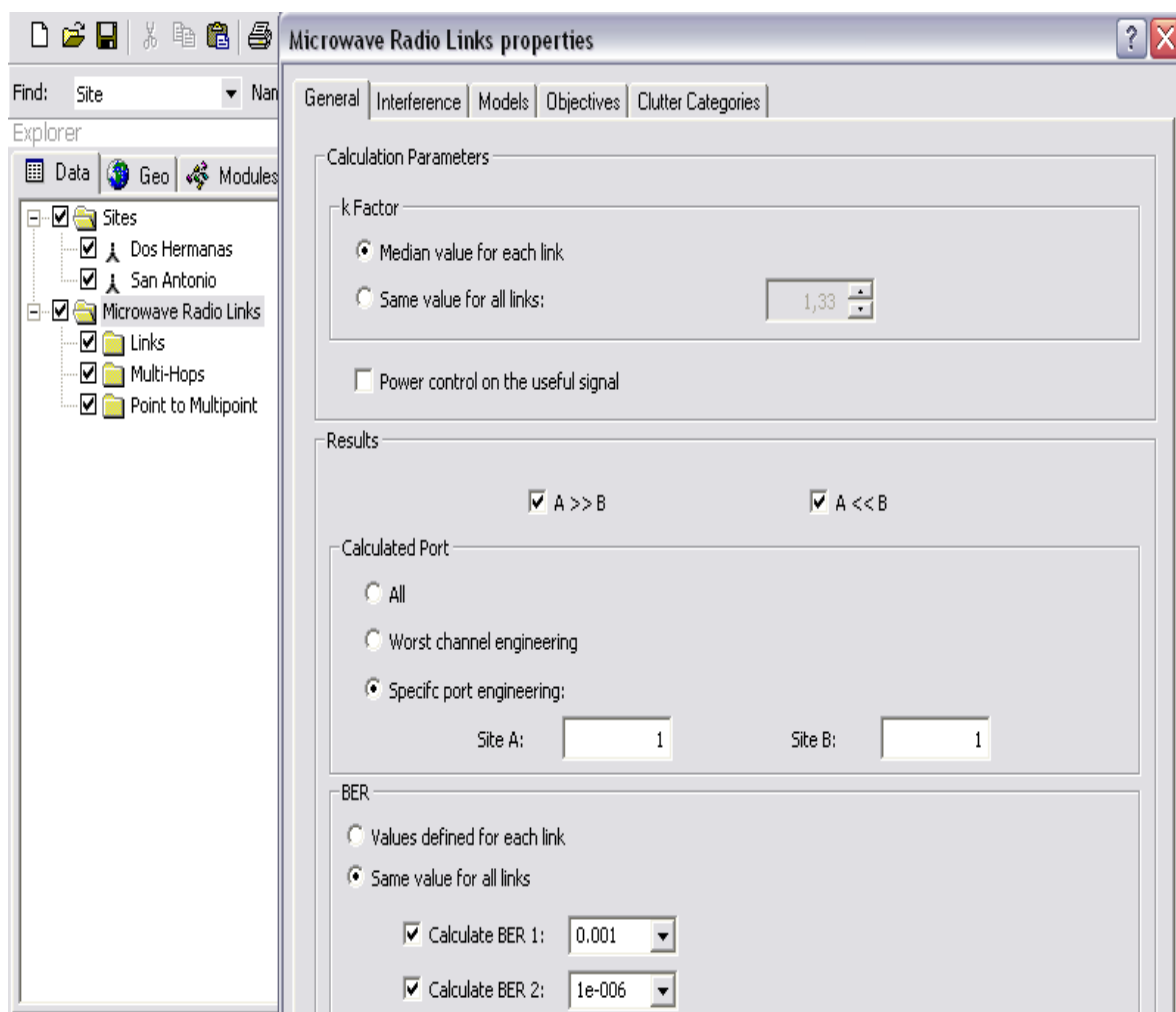


Figura 2.4: Propiedades de los enlaces de microondas

Estas ventanas desplegadas se definen entre otros aspectos el factor de corrección del radio terrestre por efecto de la troposfera, las consideraciones que se tendrán en cuenta a la hora de dar los resultados, los modelos que se emplearán para el cálculo de disponibilidad y calidad del radioenlace, así como aspectos relacionados con el cálculo de interferencia.

Definidos estos parámetros, se determina el tipo de enlace de microondas que se implementará. Para esto dentro de la carpeta *Enlace de Radio de Microondas*, aparecen tres subcarpetas que agrupan los tipos de enlaces de microondas a implementar o sea es simplemente dar click derecho con el *mouse* y crear uno nuevo. Así los enlaces se pueden clasificar en enlace punto a punto, multisalto o punto a multipunto como se indica la figura 2.5.

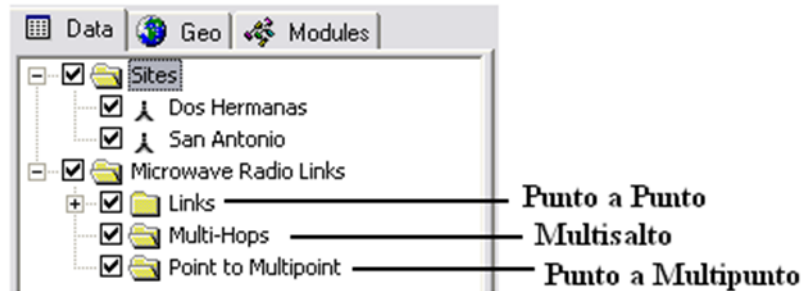


Figura 2.5: Tipos de enlaces de microondas

Una vez creado un tipo de enlace de microondas se pasan a definir su propiedades tal como muestra la figura 2.6.

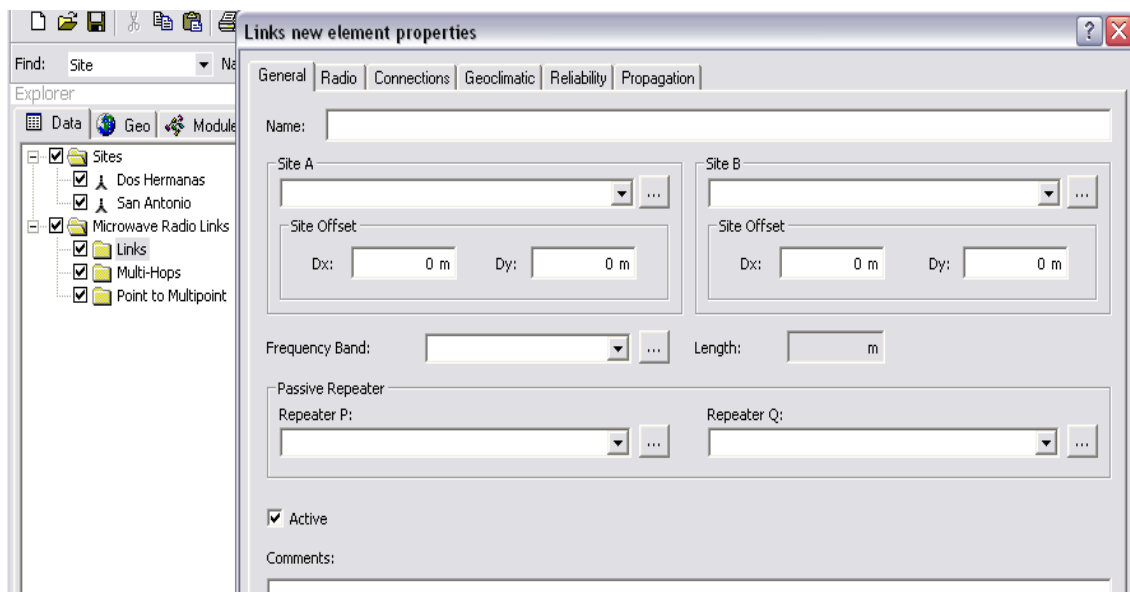


Figura 2.6: Ventana de propiedades para un nuevo enlace de microondas

Es en esta instancia donde se definen aspectos como:

- Los sitios que definen el enlace de microondas
- La banda y el canal de frecuencia
- El equipamiento (antenas y Transmisores/Receptores)
- Los conectores
- Parametros geoclimaticos del entorno
- Tipo de enlace de microondas
- El metodo utilizado para los calculos de propagacion

En el caso del tipo de equipamiento, el tipo de antena y los tipos de conectores ya Atoll define algunos por defectos, sin embargo también habilita vías para ingresar nuevos modelos para estos elementos del enlace de microondas.

2.3.3 Configuración del equipamiento

El procedimiento para incorporar nuevos módulos de Transmisores/Receptores se basa en dar clic derecho en la carpeta que define el enlace punto a punto y allí elegir en el campo equipamiento la opción nuevo. A continuación la figura 2.7 muestra la ventana de propiedades para un nuevo módulo de equipamiento. En esa instancia donde se incorporan datos como potencia de transmisión, sensibilidad, cifra de ruido, tipo de modulación, el ancho de banda y la razón de datos.

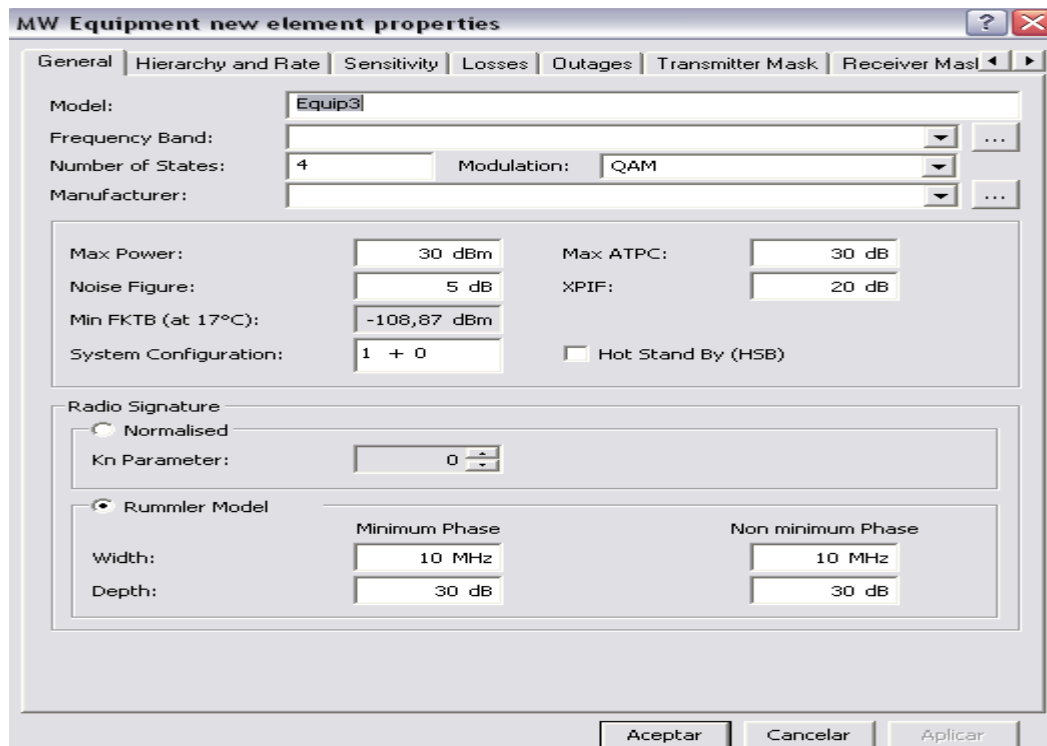


Figura 2.7: Ventana de propiedades para un equipo nuevo

2.3.4 Configuración de antenas

La inclusión de nuevos módulos para las antenas es un procedimiento similar solo que en vez del campo equipamiento se elige el de antenas y de allí la opción nuevo. Ya allí se definen parámetros característicos de la misma como la banda de frecuencias, la ganancia y el diámetro. A la hora de definir el patrón de radiación que tendrá la antena se introducen

los valores de atenuación de la señal en dB por ángulo tanto para el diagrama copolar como para el contrapolar, tal como se muestra en la figura 2.8.

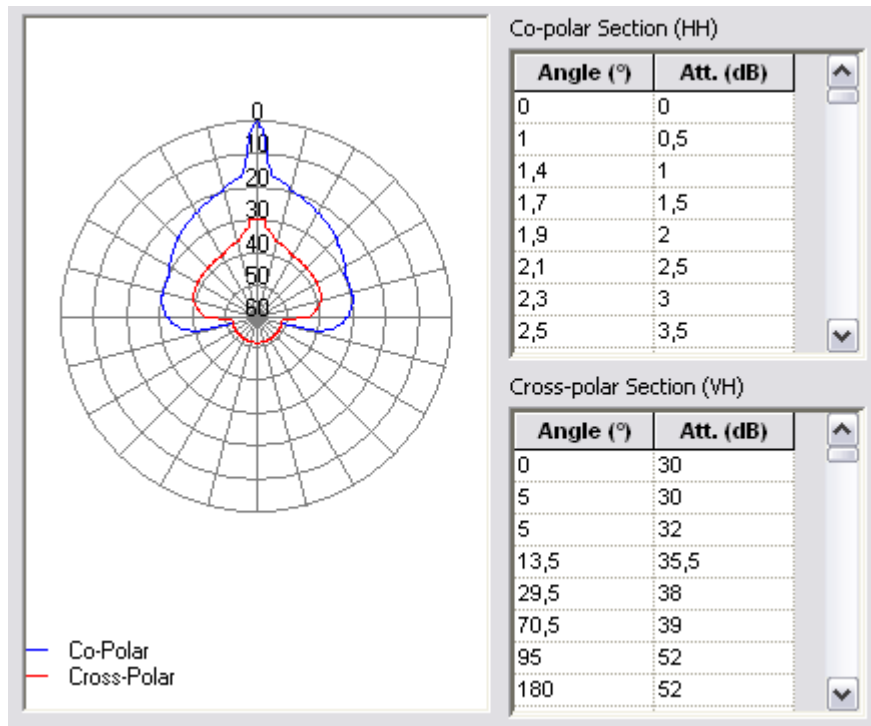


Figura 2.8: Ejemplo de diagrama de radiación de una antena

2.3.5 Configuración de cables y Guías de onda

En este caso se va a la opción nuevo del campo guías de ondas y cables. Allí se define el tipo de elemento, la banda de frecuencia y la nivel atenuación de la señal tal como se muestra en la figura 2.9.

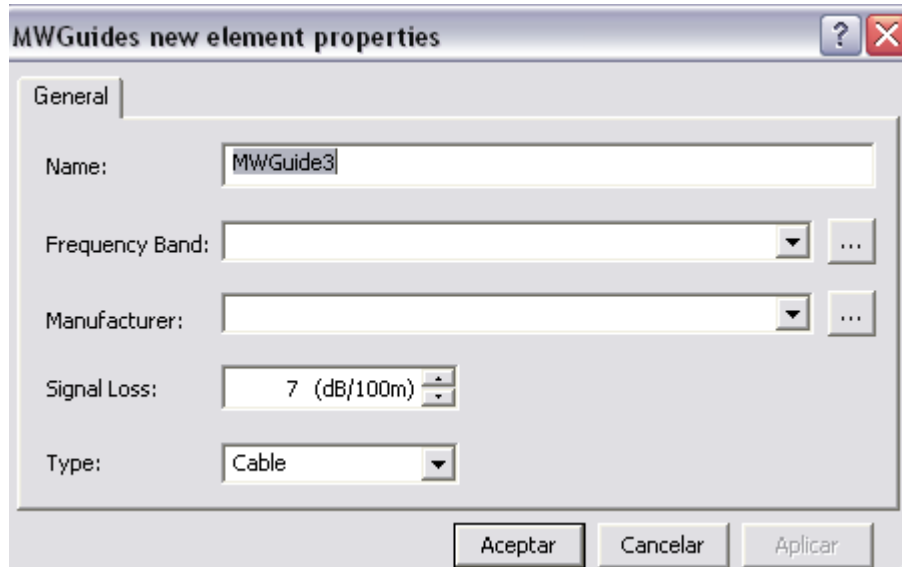


Figura 2.9: Ventana de propiedades para guías de ondas y cables

2.3.6 Tipos de Análisis

Una vez introducidos los sitios y creado el enlace de microondas, se pasa a la fase de simulación. Aquí Atoll permite realizar un análisis del perfil del terreno, un análisis para los requerimientos de margen y un reporte general de estado del enlace. La figura 2.10 muestra la vía para realizar dichos análisis.

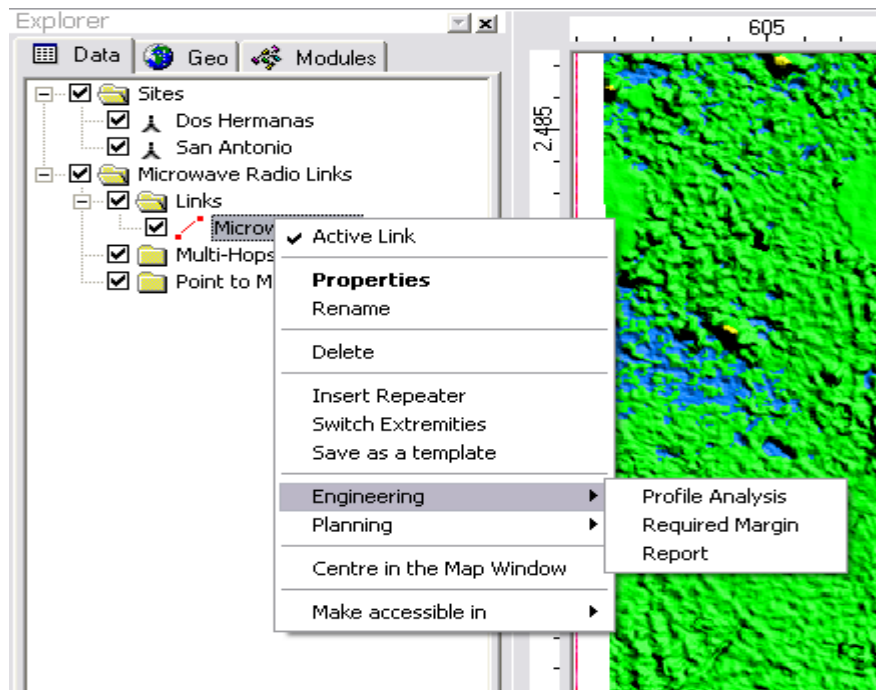


Figura 2.10: Procedimiento para la realización de análisis de enlace de microondas

Además Atoll ofrece la posibilidad de realizar análisis de interferencia donde se pueden visualizar el nivel de interferencia de cada canal interferente que se tiene en el enlace de microondas.

2.4 Configuración de una plantilla para una red WiMAX móvil

Al igual que para configurar la plantilla de un enlace de microondas, en la plantilla para una red WiMAX móvil lo primero que se realiza es importar el mapa de trabajo. En este caso en particular se prefieren mapas *clutters* o simplemente imágenes tomadas por satélites o en avión, esto con el objetivo de que al hacer análisis de cobertura estos tengan una mejor visualización. La figura 2.11 muestra como ejemplo una imagen de la UCLV tomada a través de *Google Earth*.



Figura 2.11: Imagen de la UCLV tomada con el *Google Earth*.

2.4.1 Configuración de una Zona

Importado el mapa, procedemos a a identificar en el mapa los diferentes centros o locaciones que formaran parte de la red WiMAX. Para esto se crearían tantas zonas *Hot Spot* como locaciones haya. Una *Zona Hot Spot* se define como las áreas a las cuales se les realizara los análisis de cobertura y otros cálculos generando los reportes correspondientes (Manual de usuario). Estas se crean seleccionando la pestaña Geo y dando clic derecho en la carpeta definida para locaciones Hot Spot elegir el campo dibujar, tal y como se muestra en la Figura 2.12.

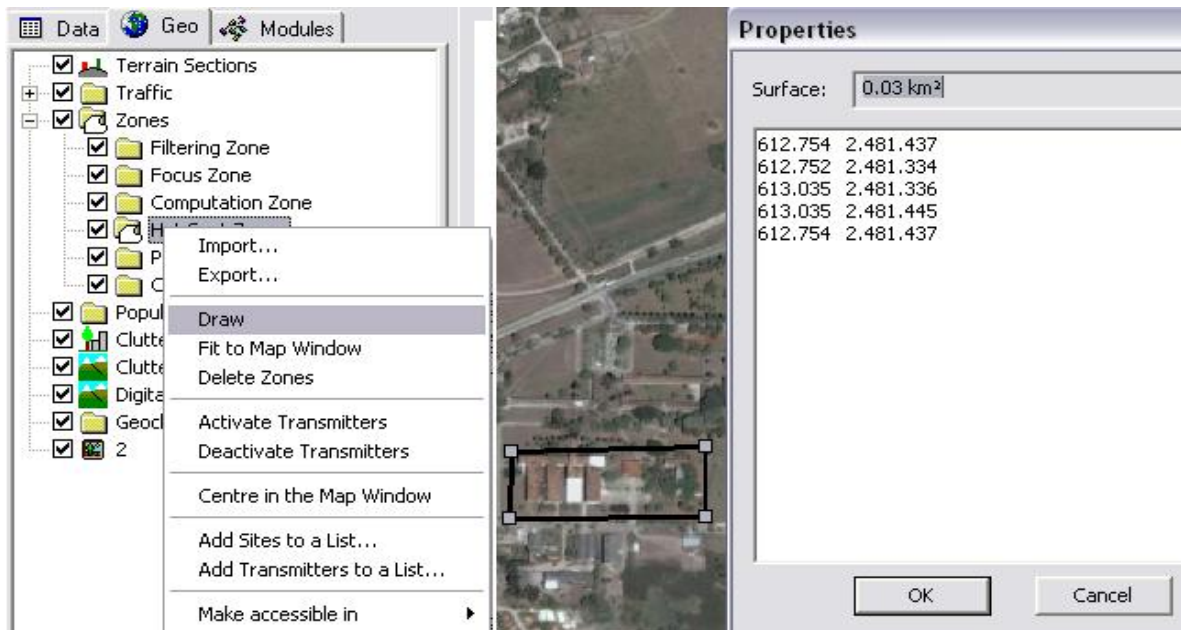


Figura 2.12: Creación de una Zona *Hot Spot*

2.4.2 Parámetros de Diseño

A continuación se configuraran los parámetros relativos a la red WiMAX que se quiera implementar. Este proceso es el más importante puesto que supone la base sobre la cual se realizaran las simulaciones posteriores. Para ellos, dentro de la pestaña datos se irán creando uno de los paramentos, tal y como se muestra en la Figura 2.13.

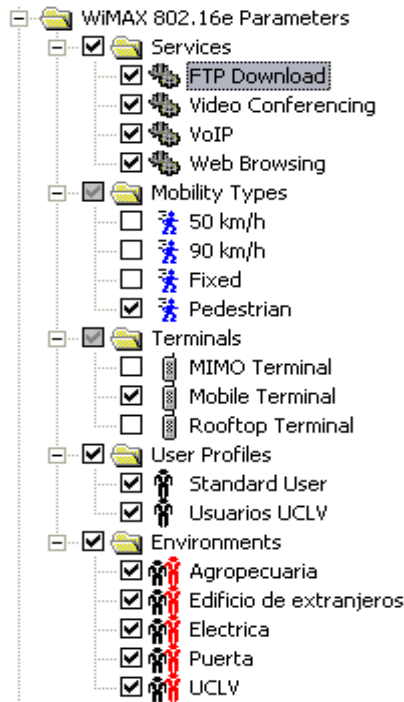


Figura 2.13: Parámetros WiMAX a utilizar

2.4.3 Servicios

Los servicios que ofrece Atoll para una red WiMAX son cuatro: FTP, Buscador Web, VoIP y Videoconferencias. Las características consideradas para cada uno de ellos son las que asigna el software por defecto, los cuales se pueden variar accediendo a sus propiedades. Además se pueden crear nuevos servicios accediendo al campo "nuevo" al dar click derecho en la carpeta de Servicios. A continuación se muestra, a modo de ejemplo, las características de un servicio FTP.

FTP Download				
Tipo de conexión	QoS	Prioridad	Tasa considerada enlace UL (kbps)	Tasa considerada enlace DL (kbps)
Datos	Best Effort	Mínima	100	1000

Figura 2.14: Características del servicio FTP

2.4.4 Terminales

En este parámetro se definen los terminales que se utilizarán en la red WiMAX. Para este tipo de redes existen tres clases de terminales.

- Terminal MIMO: Aquellos terminales receptores que soporten técnicas de múltiples antenas.
- Terminal Móvil: Este terminal engloba a teléfonos móviles, PDA y dispositivos para PC
- Terminal *Rooftop*: Terminal que se encuentra en la parte superior de las edificaciones, también aparece en la plantilla para implementar una red WiMAX Fijo.

Además de estos terminales por defecto que brinda el software se pueden configurar otros.

La siguiente figura muestra las propiedades a asignar o modificar en un terminal.

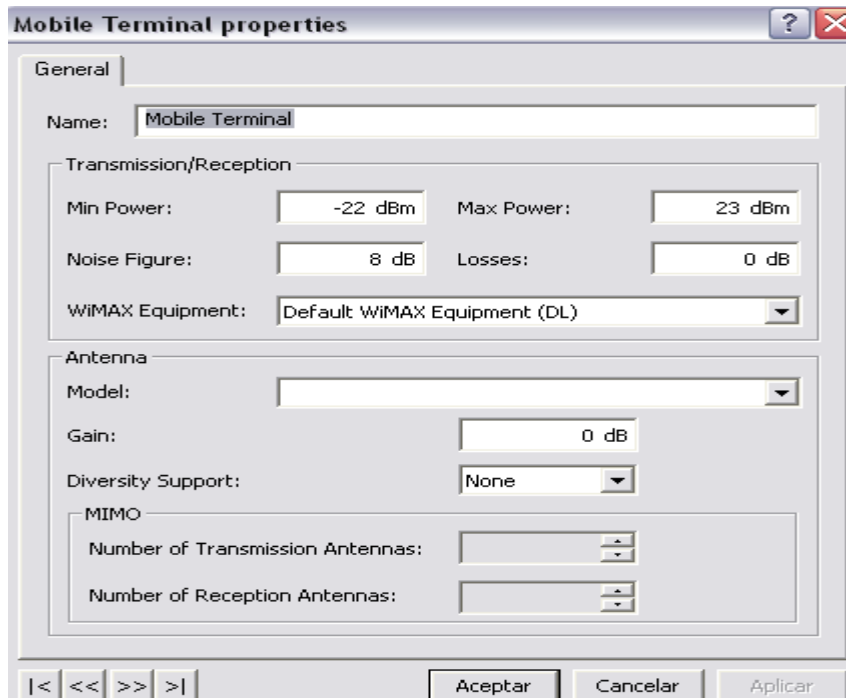


Figura 2.15: Propiedades de un terminal móvil

2.4.5 Perfiles de usuario

Mediante los perfiles de usuarios se modelarán las necesidades que la red debe satisfacer para cada uno de los tipos de usuarios existentes. A continuación se muestran una figura con los parámetros a tener en cuenta en un perfil de usuario.

Standard User properties

General

Name:

Service Use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
	Web Browsing	Mobile Terminal	0,1		700	4.500
	VoIP	Mobile Terminal	0,2	240		
*						

Figura 2.16: Parámetros un perfil de un usuario estándar.

2.4.6 Tipos de movilidad

Aquí se definen los tipos de movilidad involucrados en la red, donde se toma en cuenta los casos de usuarios sin movilidad o movilidad fija, hasta usuarios a velocidad vehicular, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 2.17: Tipos de movilidad

2.4.7 Entornos

Una vez definida la movilidad el siguiente paso sería definir los entornos, para así modelar el tráfico generado. Aquí se tiene en cuenta, además de la movilidad de los terminales, el perfil de usuario y la densidad de abonados que se tendrá. Este último aspecto permitiría definir para cuantos usuarios se saturaría la red aumentando la densidad de abonados paulatinamente.

2.4.8 Transmisores

El siguiente paso en el diseño de la red es ir incorporando las diferentes estaciones bases a cada uno de nuestros emplazamientos. Para esto Atoll ya define un conjunto de plantillas de estaciones bases, lo que simplifica el proceso pues se ahorraría más tiempo, por ejemplo, que ir ubicando uno a uno los transmisores para obtener una estación base de 3 sectores. Al estudiar los elementos de una plantilla es importante destacar aspectos importantes como la banda de frecuencia, el tipo de duplexación empleado, el medio donde opera la red, así como el ancho de banda, el número de subportadoras, la potencia de transmisión los sectores y el tipo de la antena que se utilice.

Para crear un nueva plantilla de estación base o simplemente modificar una de las presentes en Atoll por defecto se accede a la opción "manejo de plantillas" como se muestra en la figura.

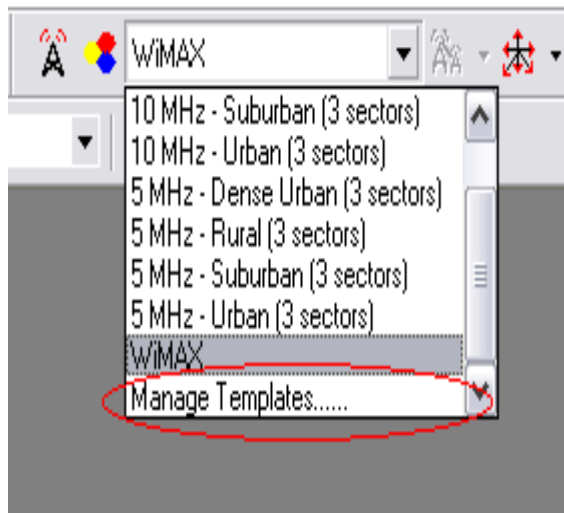


Figura 2.18: Opción "Manejo de plantilla"

Una vez superado este paso solo faltaría ubicar las estaciones base en sus emplazamientos, lo cual se puede realizar manualmente sobre el mapa de trabajo una vez activado el botón "nueva estación" cómo se indica marcado en rojo en la siguiente figura.

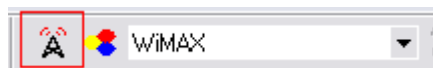


Figura 2.19: Botón que permite la creación de estaciones bases

Tener en cuenta que para una mejor visualización de la estación base, debido a que para cada transmisor se emplean canales diferentes, se podría, accediendo a las propiedades de un transmisor cualquiera, cambiarle en color de su representación gráfica.

2.4.9 Modelos de cobertura

Una vez definidos los elementos y parámetros de la red pasaremos a realizar los estudios a la misma. Para ello el software nos ofrece una variedad de estudios de cobertura. Estos estudios se basan en matrices de pérdidas (que Atoll calcula), en el modelo de propagación, el área de cálculo definida, las condiciones de cobertura y la resolución de los cálculos. A continuación el software muestra los resultados como una representación gráfica de los píxeles que satisfacen la condición de cobertura.

Para implementar un estudio de cobertura se da click derecho sobre la carpeta de "Predicciones" y se accede al campo "nuevo", apareciendo una ventana como los estudios de cobertura como se muestra en la siguiente figura.

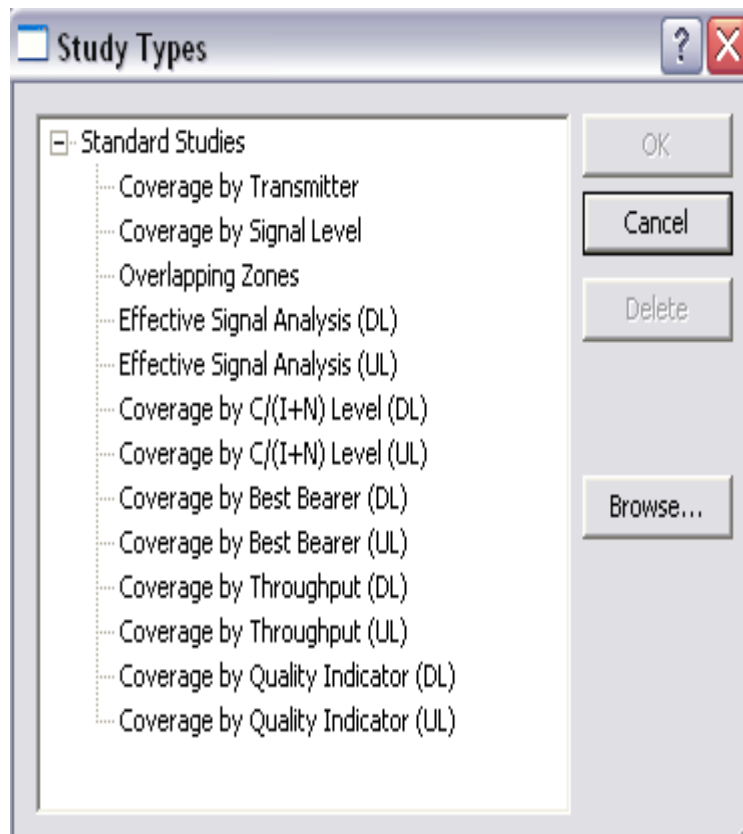


Figura 2.20: Tipos de estudios de cobertura

La descripción de dichos estudios se muestra en la siguiente tabla:

Clasificación	Nombre	Descripción
Por nivel de señal	<i>Coverage by Signal Level</i>	Permite predecir las zonas de cobertura según los niveles de señal del transmisor en cada píxel del mapa.
	<i>Coverage by Transmitter</i>	Permite predecir las zonas de cobertura por transmisor analizando para cada píxel del mapa el mejor transmisor.
	<i>Overlapping Zones</i>	Permite calcular las zonas donde existe cobertura de dos o más transmisores.
	<i>Effective Signal Analysis</i>	Permite calcular los niveles de señal de diferentes señales LTE (señales de referencia, SS, PBCH, PDSCH, PDCCH, PUSCH).
Por calidad de señal	<i>Coverage by C/(I+N) Level</i>	Permite predecir los niveles de interferencia y de portadora a interferencia y ruido C/(I+N) para cada píxel del mapa.
	<i>Service Area Analysis</i>	Permite calcular y mostrar los mejores <i>Radio Bearers</i> disponibles para cada píxel del mapa basados en las C/(I+N) de los mismos.
	<i>Effective Service Area Analysis</i>	Permite mostrar las zonas donde un servicio se encuentra disponible tanto en el DL como en el UL.
	<i>Coverage by Throughput</i>	Permite calcular y mostrar para cada píxel del mapa los <i>Channel Throughputs</i> y <i>Cell Capacities</i> basados en los niveles de C/(I+N) y en los <i>Radio Bearers</i> disponibles. Además permite mostrar el <i>Aggregate Cell Throughput</i> para resultados de simulaciones.
	<i>Coverage by Quality Indicator</i>	Permite calcular y mostrar diferentes indicadores de calidad (BLER, BER, etc.) basados en los <i>Radio Bearers</i> y en los niveles de C/(I+N) de cada píxel.

Tabla 2.2: Descripción de los estudios de cobertura (Salas, 2012).

Cada uno de dichos estudios ofrece, una vez elegidos, las condiciones bajo la cual se realizara y una escala para su visualización, tal y como se muestra a continuación para un estudio de cobertura por nivel de señal.

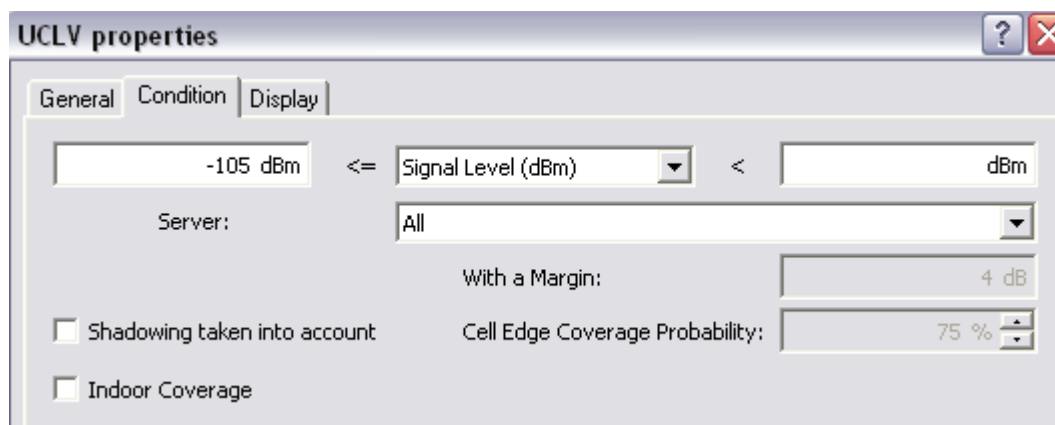


Figura 2.21: Propiedades del estudio "UCLV"

2.4.10 Estudios de capacidad de la red

En el proceso de planificación y optimización de una red WiMAX necesita del estudio de la capacidad del sistema, teniendo en cuenta distribuciones reales de usuarios y la demanda de servicios generados.

Para esto Atoll en cada simulación genera una determinada distribución de usuarios que se corresponden con instantáneas de la red. De los resultados de dichas simulaciones se puede obtener la demanda de tráfico asociada, los recursos demandados por cada usuario, la carga que tendrá cada célula, etc.

El algoritmo que utiliza el software para la generación de las distribuciones de usuarios es el de Monte Carlo, donde se requieren mapas de tráfico. Por lo tanto antes de simular hay que definir los mapas de tráfico a utilizar. Para esto se va a la ventana Geo, carpeta de tráfico, se da clic derecho sobre la misma y se accede a la opción "Nuevo mapa". A continuación aparece una ventana que permite crear un mapa de tráfico basado en los perfiles de usuario o en la densidad de abonados de los perfiles de usuarios, tal y como se muestra a continuación.

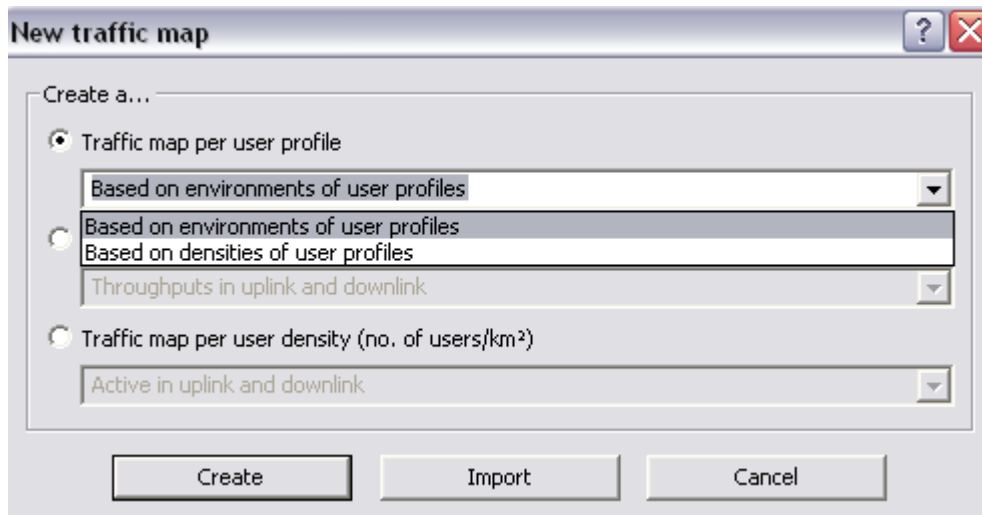


Figura 2.22: Creación de un nuevo mapa de tráfico

Una vez hecho esto aparece una barra de herramientas, donde se selecciona el entorno en el que vayamos a basar. La figura 2.23 muestra el procedimiento. Finalmente dibujamos el polígono que nos definirá el mapa de tráfico. De esta forma se crean los mapas de tráfico asociados a cada entorno.



Figura 2.24: Selección del entorno.

Para comenzar a simular, se selecciona la carpeta "Simulaciones WiMAX 802.16e" y se selecciona la opción "Nuevo". En la ventana que aparece a continuación, aparecen tres pestañas, General, Fuente de Trafico y Avanzada. En la segunda seleccionamos el mapa de tráfico que utilizaremos y los demás campos se dejan como vienen por defecto en el software, como se muestra en la figura 2.25. A partir de aquí se pueden comenzar a estudiar la capacidad de la red para cada entorno definido.

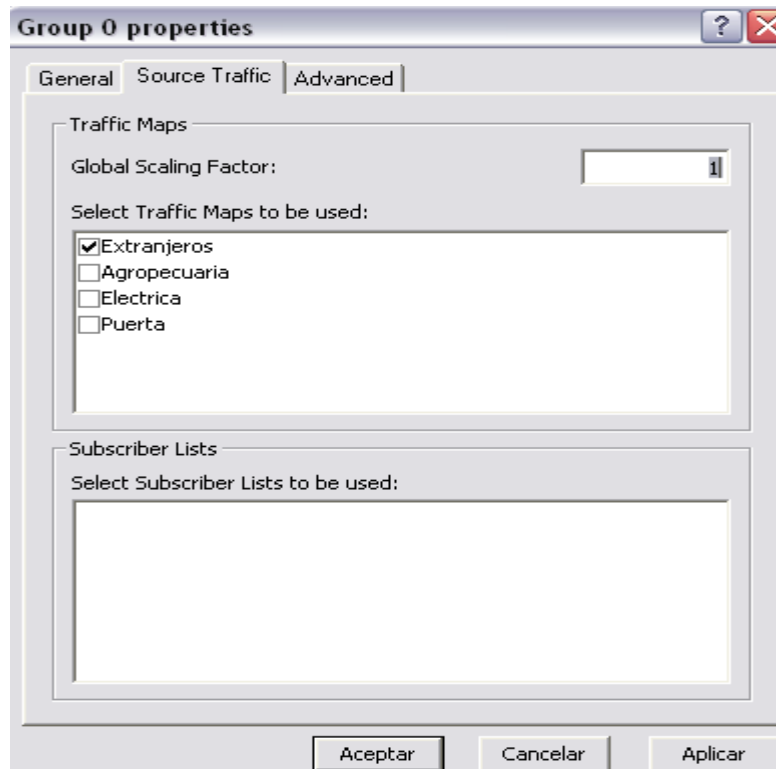


Figura 2.25: Ventanas de mapas de trafico

2.4.11 Consideraciones

Definidos los pasos para el diseño de los dos escenarios, tanto para enlaces de microondas como para Redes WiMAX tiene mejores prestaciones que el software *Radio Mobile*. Respecto al enlace de microondas Atoll incorpora modelos de propagación característicos de los mismos y además permite la incorporación de parámetros geoclimáticos específicos para cada entorno.

En cuanto a al diseño de redes WiMAX móvil, Atoll define aspectos que *Radio Mobile* no tiene implementado, como cálculos de cobertura teniendo en cuenta modelos de propagación característicos de la tecnología y incluye estudios de tráfico y por lo tanto capacidad.

CAPÍTULO 3. Simulación de redes inalámbricas con Atoll

En este capítulo, como ejemplo de las opciones que Atoll puede ofrecer en el ámbito de la enseñanza, se plantean a continuación dos casos de estudio que, como parte de una docencia práctica, permitirán ofrecer al alumnado una visión más real de los conceptos teóricos explicados, ayudando por tanto a la comprensión de los mismos. Para ello en el primer caso de estudio se ha implementado un enlace inalámbrico punto a punto en el municipio de Santa Clara y en el segundo el diseño de una WiMAX móvil en las áreas de la UCLV posibilitando de esta forma consolidar los conocimientos sobre el software y validar su utilización en las posibles Prácticas de Laboratorio.

3.1 Caso de estudio 1

El siguiente caso de tiene su base en la información recopilada en (Pacheco, 2010) para el dimensionamiento de una red de varios enlaces punto a punto en la provincia de Villa Clara. Esto se hace con total intensidad, porque además de lograr un acercamiento a un enlace de microondas real, se podrá comparar las prestaciones que presenta el software *Atoll* frente a *Radio Mobile*. En específico se eligió para simular, el enlace entre el Centro de Transmisión de Ondas Medias (CTOM) “Dos Hermanas” y el CTOM “San Antonio”.

La siguiente tabla muestra algunos parámetros del enlace referidos a su ubicación, altura de las antenas, polarización y canalización(Pacheco, 2010).

Parámetros	CTOM “Dos Hermanas”	CTOM “San Antonio”
Coordenadas	22° 22' 21.7''N y 79° 57' 50.9'' O	22° 26' 0.3''N y 79° 55' 0.9'' O

Canalización	7777.350 MHZ	8088.670
Altura de las antenas	3 metros	20 metros
Polarización	Vertical	Vertical

Tabla 3.1: Parámetros del enlace de microondas

En cuanto al equipamiento, en esta red se usan equipos DG Telecom, serie Super Star (Anexo X). Cada terminal de enlace cuenta con una unidad interior (IDU, indoor unit), una unidad exterior (ODU, outdoor unit), una antena parabólica ($\Phi = 0.6$ m) que se acopla a la ODU y un cable coaxial RG-8 de 50Ω que une la IDU con la ODU. En la figura 3.X se muestran los parámetros utilizados en Atoll realizar la simulación del enlace de radio.

Antenas

	Site A	Site B
Main Antenna		
Names	DA2-W71BD	DA2-W71BD
Height	3 m	20 m
Azimuth	35.50 ° (+0.00)	215.52 ° (+0.00)
Tilt	-0.54 ° (+0.00)	0.47 ° (+0.00)
Gain	31,3 dBi	31,3 dBi
Diameter	0,6 m	0,6 m
Near Field	18,67 m	19,41 m
Beamwidth	4,56 °	4,56 °
XPD Value	0 dB	30 dB

Equipment

	Site A	Site B
Model	SuperStar	SuperStar
Hierarchy	PDH	PDH
Modulation	4-PSK	4-PSK
Payload Rate	11,5 Mbits/s	11,5 Mbits/s
Capacity	6 x E1	6 x E1
Minimal Channel Bandwidth	6,1 MHz	6,1 MHz
Configuration	1 + 0	1 + 0

Figura 3.1: Parámetros del equipamiento y las antenas del enlace de microondas

Respecto a la elección del modelo de la antena, en (tesis de Raiko) no se define uno en particular por lo que se eligió el DA2-W71BD (Anexo X) ya que presenta un diámetro de la antena igual al mencionado por Raiko y una ganancia directiva similar.

También se tuvo en cuenta en el diseño del enlace las pérdidas la línea (cable + cavidad + conectores) la cual se fijó a un 1dB y las pérdidas de atenuación del cable coaxial que se fijaron en 0.39 dBm/m.

3.1.1 Simulación

Luego de seguir los pasos necesarios para implementar el enlace de microondas descritos en el Capítulo 2 se llega a la implementación de la red

Para conocer las características del perfil del enlace se emplea el *Profile Analysis*. La figura 3.2 muestra el resultado de este tipo de análisis. Nótese que existe un punto donde se obstaculiza la Zona de Fresnel, ocasionando pérdidas por difracción, por lo tanto este es un enlace que presenta línea de vista y caminos alternativos por difracción.



Figura 3.2: Análisis del perfil del enlace de microondas

Sin embargo, el modelo de propagación bajo el cual se trabajó permite a ser los cálculos para este tipo de incidencias y aunque no esté liberada más del 60% de la Zona de Fresnel, el nivel de señal recibido es suficiente para obtener la información en el receptor. La figura 3.3 muestra los datos de propagación del enlace que permiten corroborar lo anteriormente expresado.

Propagation

	A >> B	B >> A
Nominal received Level C	-51,4 dBm	-51,67 dBm
Total Attenuation	130,03 dB	130,3 dB
Free Space Loss	128,6 dB	128,94 dB
Dry Air	0,05 dB	0,05 dB
Due to Water Vapour	0,04 dB	0,05 dB
Diffraction	1,34 dB	1,26 dB
Antenna Losses	0 dB	0 dB
Tropospheric Scattering	0 dB	0 dB
Vegetation Att.	(0) dB	(0) dB
Epsilon	8,79 mrad	8,79 mrad
Path type	LOS with sub-path diffraction	LOS with sub-path diffraction

Figura 3.3: Datos de propagación de enlace de microondas.

3.2 Caso de estudio 2

El segundo caso de estudio utiliza los datos aportados por (Valdivia, 2012) para la implementación de una red WiMAX móvil. En la misma se ofrece una posible implementación para la UCLV de este tipo de redes quedando las ubicaciones de las estaciones base, para lograr una total cobertura, de la forma en que se muestra en la figura 3.4. Para la determinación de las características de las estaciones base y las estaciones subscriptoras se tuvo en cuenta los modelos BS *Huawei* DBS3900 V300R002 (Anexo X) y CPE *Huawei* BM8201 (Anexo X) respectivamente(Valdivia, 2012).



Figura 3.4 Ubicación de las estaciones bases de la red UCLV.

En cuanto a la elección del tipo de antena utilizada en las estaciones base, se eligió una dentro del set de antenas que ofrece por defecto Atoll, específicamente una antena del fabricante Kathrein con las características que se muestran a continuación.

Fabricante	Ganancia (dBi)	Azimut máxima radiación (°)	Tilt eléctrico (°)
Kathrein	14.5	120	0

Tabla 3.3: Características de las antenas

Como se puede ver esta es una antena sectorial con un patrón de radiación como el que se muestra en la figura 3.5.

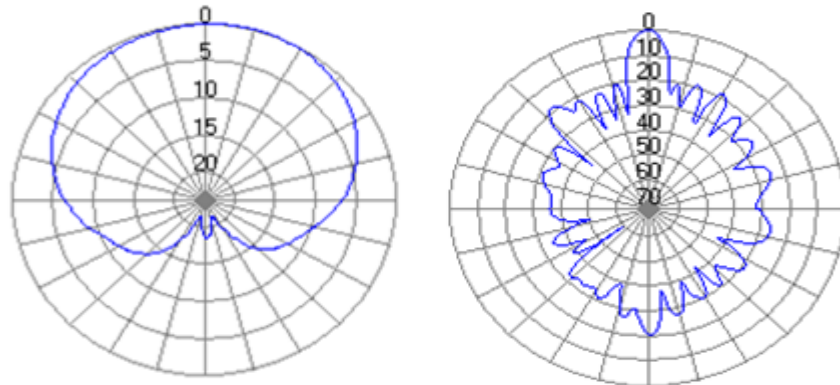


Figura 3.5: Patrones horizontal y vertical de la antena.

Una vez ya creada la red en el mapa de trabajo solo quedaría modelarla, para valorar la efectividad del diseño propuesto. Para este se realizaran tres estudios de cobertura:

- 1- Cobertura por nivel de señal.
- 2- Cobertura por transmisor
- 3- Cobertura por zonas solapadas

En el primer estudio hay que tener en cuenta que la sensibilidad del CPE *Huawei* BM8201 de -96.5 dBm. Como se puede apreciar en la figura 3.6, para ese valor de sensibilidad existirá cobertura en toda el área universitaria.

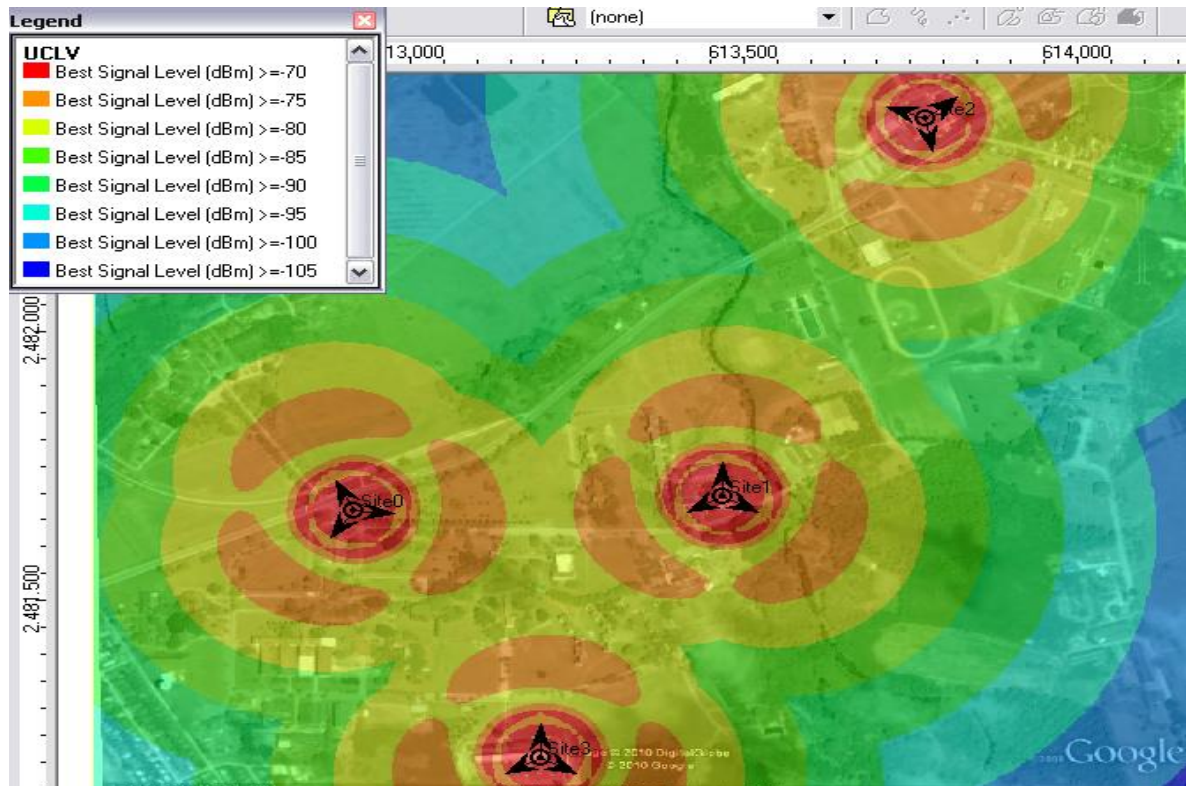


Figura 3.6 Cobertura por nivel de señal

Para el segundo caso, la figura 3.7 muestra, como caso específico, la cobertura que tendrá la estación base ubicada en el edificio de extranjeros

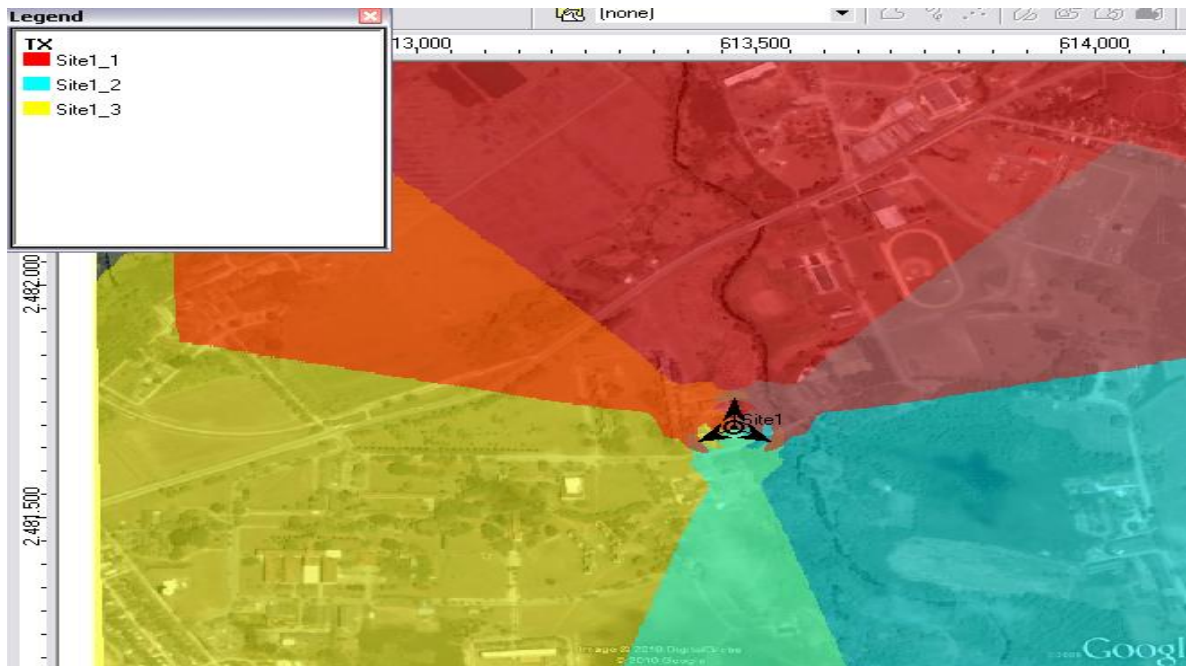


Figura 3.7: Cobertura de la estación base del edificio de extranjeros

Por último, el tercer caso muestra la cobertura por zonas solapadas, como se puede apreciar existen diversas zonas donde se solapan varios transmisores. Esto es un efecto deseable porque así se podría compartir la carga de tráfico en aquellos sectores de la UCLV donde este sea demasiado alto.

Como se puede apreciar, en cuanto a cobertura el diseño propuesto en (Tesis de Geisa) es funcional y al ser cuatro estaciones bases se podrá soportar una carga de usuarios suficientemente alta para satisfacer la demanda de la comunidad universitaria. Aun así este sistema se puede optimizar, teniendo en cuenta que en él se utilizan transmisores que radian hacia zonas que no tienen importancia, en el sentido de conectividad a usuarios de la UCLV.

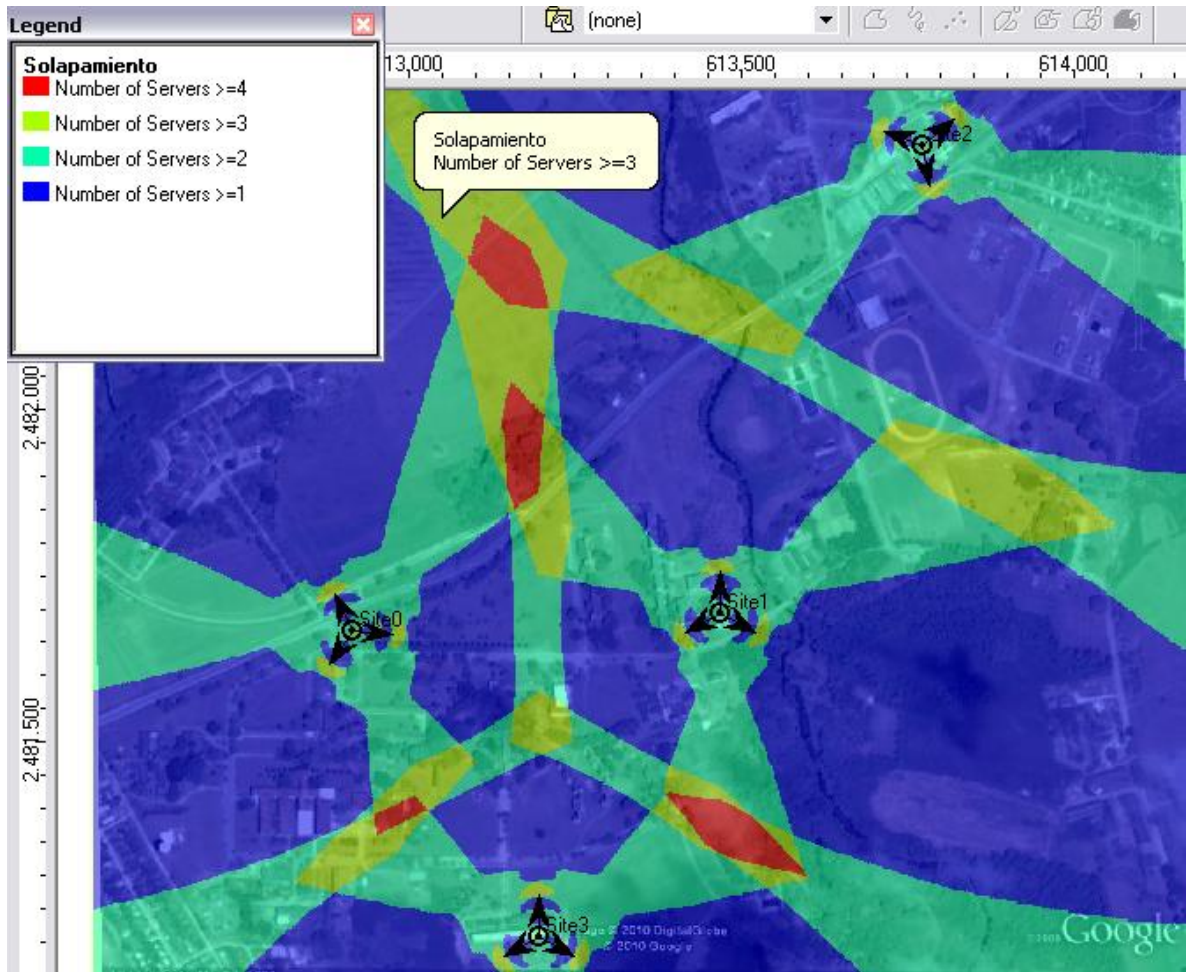


Figura 3.8: Cobertura por zonas solapadas

3.3 Consideraciones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para ambos casos de estudio, se puede decir que el software Atoll cumple con las expectativas referentes a su potencial para el diseño de redes de radiocomunicaciones de banda ancha y en la docencia. En este caso específico para enlaces de microondas y redes WiMAX móvil ya dimensionados con anterioridad en otros trabajos. Además se pudo demostrar en Atoll mejor desempeño que el software anteriormente empleado para fines docentes, el Radio Mobile.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 Se cuenta con un material de consulta que permitirá la explotación del software Atoll 2.8.0, en diferentes asignaturas de la asignatura Sistemas de Radio I.
- 2 Con esta aplicación, el docente puede diseñar ejemplos prácticos que favorezcan el auto aprendizaje del estudiante en las materias de radiocomunicaciones preparándolo para el ámbito profesional.
- 3 Mediante el programa Atoll 2.8.0, fue posible introducir un mapa digital topográfico de la zona de trabajo, definir las características y condiciones de la red inalámbrica, ubicar los dispositivos inalámbricos en las posiciones objetivo y realizar la simulación de la red inalámbrica; lo que permitió analizar las áreas de cobertura y de esta forma viabilizar su uso docente.

Recomendaciones

- 1 Implementar Prácticas de Laboratorio en las diferentes asignaturas de la disciplina Sistemas de Radiocomunicaciones utilizando el *software* Radio Mobile.
- 2 Una vez que conozcan el manejo del programa adentrarse más en las posibilidades que este brinda y que no han sido objeto de estudio en este trabajo, y así tratar de obtener el mejor provecho a esta herramienta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARTAS, M. A. G. 2012. Plan calendario de la asignatura Sistemas de Radio.
- DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, R. 2009. MÉTODOS PARA EL AUMENTO DE LA CAPACIDAD UMTS EN ATOLL.
- FARR, T. G., PAUL A. ROSEN, EDWARD CARO 2004. "The Shuttle Radar Topography Mission".
- FELICÍSIMO, A. M. 2000. "El modelo digital de elevaciones".
- FORKS 2012. Atoll 3.1.2 Getting Started.
- FORSK 2009. Atoll 2.8.0 User Manual Radio
- MEIJIDE, G. C. D. F. 2001. " MANUAL DE CARTOGRAFÍA DIGITAL Y SIG".
- PACHECO, R. C. 2010. Estudio del Software Radio Mobile como propuesta docente en las disciplinas de Radiocomunicaciones.
- PASCUAL, S. V. 2010. Red de Acceso de Banda Ancha mediante WiMAX Móvil (IEEE 802.16e).
- RAMÍREZ, E. 2001. "The Shuttle Radar Topography Mission".
- S/A 2000. "LANSAT.org".
- S/A 2002. "OpenStreetMap, The Free Wiki World Map".
- S/A. 2012. *Using Free DME for Coverage Prediction in Atoll* [Online]. Available: <http://earthexplorer.usgs.gov> [Accessed].
- SALAS, C. E. G. 2012. PLANIFICACIÓN DE UNA RED LTE CON LA HERRAMIENTA ATOLL Y ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS ESTRATEGIAS DE PACKET SCHEDULING
- VALDEBENITO, M. A. M. 2007. METODOLOGÍAS, CRITERIOS Y HERRAMIENTAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS
- VALDIVIA, G. T. 2012. Diseño de una red WiMAX Móvil para la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

ANEXOS

Anexo I: Especificaciones técnicas del CPE *Huawei* BM8201

Estándar que emplea: IEEE 802.16e – 2005 (TDD, OFDMA).

Frecuencia de trabajo: 2.496 – 2.69 GHz.

Modulación: OFDMA 512/1024 FFT, QPSK, 16 QAM y 64 QAM.

MIMO: 2Tx 2Rx.

Conexiones: Cuenta con conector RJ45 para consola

VoIP: Soporta *codecs* G.711A/μ; G.721; G.723; G.729. Incluye Detección Activa de Voz.

Máxima velocidad de transmisión enlace ascendente: 5 Mbps.

Máxima velocidad de transmisión enlace descendente: 15 Mbps.

Sensibilidad: -96.5 dBm.

Potencia máxima de transmisión: 25.5 dBm.

Impedancia de antena: 50Ω.

Ganancia de antena @ 2.5GHz: 13 dBi

Polarización: Vertical.

Precio: \$ 214.07 USD.

Anexo II: Especificaciones técnicas del BS Huawei DBS3900 V300R002

Puertos: Dos puertos Ethernet 100-1000 Mbps. Dos puertos ópticos 1.25 Gbps.

Voltaje de alimentación: -48V DC.

Antenas: Puede conectar hasta 6 RRU, cada uno para un sector con antenas de 60°, 90° o 120°. También permite antena para GPS.

Seguridad: EAP-TTLS/MSCHAPv2 para autenticación de usuario. EAP-TLS para autenticación del dispositivo (IEEE 802.16e).

QoS: Soporta los cinco esquemas de servicios definidos en IEEE 802.16e-2005: UGS (*Unsolicited Grant Service*), rtPS (*Real-time Polling Service*), ertPS (*Extended Real-time Polling Service*), nrtPS (*Non Real-time Polling Service*) y BE (*Best Effort*).

Sistema completamente configurable a distancia. Permite visualización de alarmas.

Capacidad de abonados: Una estación con configuración 1/1/1 soporta hasta 3072 abonados (1024 por sector).

Capacidad de suscriptores activos: Una estación con configuración 1/1/1 soporta hasta 768 suscriptores activos (256 por sector).

Máximo pico en enlace descendente: 30 Mbps por sector.

Máximo pico en enlace ascendente: 6 Mbps por sector.

Capacidad máxima usuarios VoIP online: 180 usuarios por sector (empleando códec G.729).

Soporta hasta tres sectores, una portadora y tres clases de banda.

Potencia máxima transmitida: 10W @ 2.5 GHz, puerto de una antena. 20W @ 2.5 GHz, puerto de dos antenas. 5W @ 3.5 GHz, puerto de una antena. 10W @ 3.5 GHz, puerto de dos antenas.

Máxima área de cobertura: 15 km.

Anexo III Hoja de datos del sistema de microondas SuperStar

SuperStar Specifications

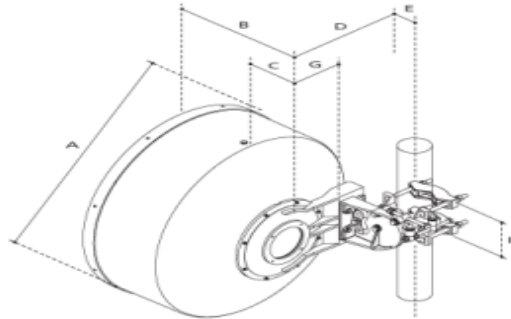
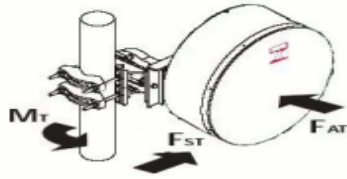
Universal Radio (ODU)											
Frequency	3.9GHz	5.8GHz	7/8GHz	11 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	*26 GHz	*38 GHz	
Standard	ETSI, FCC or Customer specified										
RF Power STD (dBm)	0~+27	0~+20	-10~+27	-10~+20	-10~+20	-10~+20	-10~+19	-10~+19	-10~+19	-10~+19	-10~+19
RF Power HP (dBm)	0~+30	0~+27	-10~+27	-10~+23	-10~+23	-10~+23	-10~+23	-10~+23	-10~+23	-10~+23	-10~+23
Accuracy	+/-2dB										
Increments	1dB										
RX at BER=10 ⁻³ (dBm)	4E1	-89	-89	-89	-88	-88	-88	-87.5	-87	-87	-85.5
	QCPSK 8E1	-86	-86	-86	-85	-85	-85	-84.5	-84	-84	-82.5
	16E1	-83	-83	-83	-82	-82	-82	-81.5	-81	-81	-79.2
	8E1	-81	-81	-81	-80	-80	-80	-79.5	-79	-79	-77.2
	8CPSK 12E1	-78	-78	-78	-77	-77	-77	-76.5	-76	-76	-74.2
	24E1	-75	-75	-75	-74	-74	-74	-73.5	-73	-73	-71.2
RX at BER=10 ⁻⁶ (dBm)	4E1	-86	-86	-86	-85	-85	-85	-84.5	-84	-84	-82.5
	QCPSK 8E1	-83	-83	-83	-82	-82	-82	-81.5	-81	-81	-79.5
	16E1	-80	-80	-80	-79	-79	-79	-78.5	-78	-78	-76.2
	8E1	-78	-78	-78	-77	-77	-77	-76.5	-76	-76	-74.2
	8CPSK 12E1	-75	-75	-75	-74	-74	-74	-73.5	-73	-73	-71.2
	24E1	-72	-72	-72	-71	-71	-71	-70.5	-70	-70	-68.2
RF BW (MHz)	7/14/28	7/14/28	7/14/28	7/14/28	7/14/28	7/14/28	13 15/27.5	7/14/27.5	7/14/28	7/14/28	
Range	N-type	N-type	UBR84	UBR100	UBR140	UBR140	UBR220	UBR220	UBR220	UBR320	
Max. Power Consumption	2540W(SP)	2540W(SP)	2540W(SP)	2540W(SP)	2540W(SP)	2540W(SP)	2540W(SP)	2540W(SP)	2540W(SP)	2540W(SP)	
IDU+ODU (1+0/1+1)	3045W(HP)	3045W(HP)	3045W(HP)	3045W(HP)	3045W(HP)	3045W(HP)	3045W(HP)	3045W(HP)	3045W(HP)	3045W(HP)	

Software Controlled Smart IDU						
Capacity	8 Mbps	12Mbps	16 Mbps	25Mbps	34 Mbps	50Mbps
No. of E1 Port	0~4	0~6	0~8	0~12	0~16	0~24
No. of Ethernet Port	2	2	2	2	2	2
Ethernet Throughput	10.3Mbps@64	15.5Mbps@64	20.6 Mbps@64	31Mbps@64	41.4Mbps@64	62Mbps@64
	8.3Mbps@1552	12.5Mbps@1552	16.7Mbps@1552	25Mbps@1552	33.4Mbps@1552	50Mbps@1552

Anexo IV: Hoja de datos de la antena DA2-W71BD

Technical Features	
Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	7.125 - 8.5
Diameter, ft (m)	2 (0.6)
Profile	Standard
Performance	High
Polarization	Single
Regulatory Compliance	Standard, EN 302217
3dB beamwidth, (degrees)	4.3
Antenna Input	PDR 84
Low Band Gain, dBi	30.8
Mid Band Gain, dBi	31.3
High Band Gain, dBi	31.7
F/B Ratio, dB	52
XPD, dB	30
Max VSWR / R L, dB	1.20 / 20.8
ETSI Standard	Range 1, class 2
Elevation Adjustment, degrees	± 30
Azimuth Adjustment, degrees	± 30
Polarization Adjustment, degrees	± 5
Pressure, bar (psi)	0.3 (4.3)
Radome	Included
Antenna color	White
Mounting Pipe Diameter minimum, mm (in)	51 (2)
Mounting Pipe Diameter maximum, mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight, kg (lb)	15 (33)
Survival Windspeed, km/h (mph)	250 (156)
Operational Windspeed, km/h (mph)	190 (118)

F_{ST} Side force max. at 110 km/h (68 mph), N (lb)	140 (31)
F_{AT} Axial force max. at 110 km/h (68 mph), N (lb)	270 (60)
M Torque max. at 110 km/h (68 mph), Nm (ft lb)	80 (60)
F_{ST} Side force max. at 200 km/h (125 mph), N (lb)	445 (100)
F_{AT} Axial force max. at 200 km/h (125 mph), N (lb)	905 (202)
M Torque max. at 200 km/h (125 mph), Nm (ft lb)	260 (192)



All dimensions in mm (in)

$\varnothing A$	B	C	$\varnothing D$ for mounting pipe diam.				E	F
700 (28)	389 (15.4)	114 (4.5)	219 (8.5)	114 (4.5)	89 (3.5)	51 (2.0)	99 (3.9)	146 (5.7)

Nominal Diameter	0.6 m 2.0 ft
Frequency Range	7.125 - 8.5 GHz
Gain	31.3 dBi at 7.81 GHz
HPBW	4.3 deg

HH ———— Horizontally polarized antenna
 HV ————
 VH - - - - - Vertically polarized antenna
 VV - - - - -

Engineering Approval 20050928

