



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION**

**Trabajo monográfico para optar al título de  
Ingeniero Electrónico**

**Título:**

**Diseño de una red WiMAX en la ciudad de Granada, Nicaragua.**

**Autores:**

**Br. Carolina Asunción Sequeira Guevara 2009-29592**

**Br. Jessika Elizabeth López Palacios 2009-30327**

**Tutor:**

**MSC. Ing. Cedrick Dalla torre**

**Julio 2015**

**Managua, Nicaragua**

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme, darme la sabiduría y la fuerza necesaria para afrontar la realización de esta monografía.

A mis padres, por creer siempre en mí y apoyarme incondicionalmente a lo largo de mi vida.

A carolina Sequeira mi amiga y compañera de trabajo, porque ha sido una motivación en el transcurso de este proyecto y en los últimos años para mi vida.

*Jessika E. López Palacios.*

## DEDICATORIA

Le dedico primeramente este trabajo a Dios porque es mi principal soporte, el que me ha dado la fortaleza para continuar.

De igual forma, este trabajo está dedicado a mi madre, a quien le debo toda mi vida, que siempre se ha esforzado por darnos lo mejor a mi hermana y a mí, y que sin ella no hubiera sido posible culminar mi carrera. A mis padres en general les agradezco el cariño y su comprensión, a ellos que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

Para finalizar dedico este trabajo a mis hermanas por darme su apoyo y cariño en todos mis años de estudio y a mi tía que ha sido como una segunda madre para mí, por estar siempre allí para mis hermanas y para mí.

*Carolina A. Sequera Guevara.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a Dios, por estar siempre presente en mi vida, también porque me ha llenado de bendición y fortaleza en los momentos de dificultad. A mis padres por haberme enseñado que soy capaz de hacer todo lo que me proponga en la vida siempre y cuando ponga todo mi empeño.

En segundo lugar, quisiera agradecer a mi tutor ing. Cedrick Dalla Torre por la orientación que nos brindó a lo largo de este proyecto. Al ing. Y docente Oscar Danilo Pérez por su invaluable apoyo y aporte de conocimientos para la materialización de esta monografía. A los profesores... que han compartido sus conocimientos a lo largo de mi vida estudiantil.

Y por último, pero no menos importante, agradezco a mis amigos de la iglesia, universidad y todos aquellas personas que han sabido comprenderme brindándome su apoyo y enseñanzas que han hecho más fácil el camino recorrido.

*Jessika E. López Palacios.*

## AGRADECIMIENTOS

Primero y antes que nada, quiero dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio (Lesbia, Susana y Francisco), en especial a Jessika López compañera de este trabajo y más que compañera ha sido una gran amiga que me ha brindado su apoyo en mis momentos más difíciles, y de igual forma compartiendo momentos de alegría.

Agradecer hoy y siempre a mi familia por el esfuerzo realizado por ellos, el apoyo que me dieron en mis estudios, de lo contrario no hubiese sido posible. A mis padres y demás familiares que me brindan el apoyo, la alegría y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Agradecer a nuestro tutor ing. Cedrick Dalla Torre, por su apoyo y paciencia a lo largo de la realización de este trabajo.

Un agradecimiento especial al Profesor Oscar Danilo Pérez, por su colaboración que nos brindó en el transcurso de la realización del proyecto.

*Carolina A. Sequera Guevara.*

## RESUMEN

El presente trabajo monográfico muestra la realización de un diseño de red para proveer el servicio de datos a la ciudad de Granada por medio de la tecnología WiMAX. Tecnología flexible y escalable, que tiene velocidades de transmisión de hasta 75 Mbps y gran capacidad con un ancho de banda de 20 MHz. [1]

Para llevar a cabo el proceso de diseño de la red hacemos uso de la herramienta de planificación Atoll ya que provee un conjunto de herramientas que permite definir y desarrollar nuestra red.

Como primera fase del trabajo consistió en una investigación teórica, no solo de las especificaciones del sistema WiMAX sino también se realizó un estudio de los términos y parámetros empleados por el programa para llevar a cabo el diseño de la red. Posteriormente se realizó la planificación de la red WiMAX eligiendo los puntos de acceso para su despliegue, se procedió a realizar distintas predicciones para evaluar el estado inicial de la red, garantizando los niveles de señales mínimos para el acceso de los usuarios. Finalmente se realizaron simulaciones Monte Carlo para conocer la capacidad de la red ante un caso real, utilizando mapas de tráfico como fuente de datos para la distribución de los usuarios, resultados de dichas simulaciones que fueron necesarias para realizar distintas predicciones para determinar la calidad de la red.

Como resultado general del proyecto se logró que se conecten a la red más del 1% de la población de granada en objetivo y a su vez asegurando la calidad del servicio.

## LISTA DE ACRONIMOS

Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
QoS	Quality of Service
LOS	Line of sight
NLOS	Non-line-of-sight
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
MAC	Medium access control
OFDMA	Orthogonal frequency division multiple access
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
HIPERMAN	High Performance Radio Metropolitan Area Network
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
DSL	Linea de abonado digital
VoIP	Voz sobre IP
DHCP	asignación dinámica de direcciones IP
SNMP	Gestión de red simple
TFTP	Transferencia de archivos
Uplink	Enlaces de subida
Downlink	Enlaces de bajada
SDU	Service Data Units
NrtPS	Non-Realtime Polling Service
RtPS	Real-time Polling Service
UGS	Unsolicited Grant Service
PTP	Punto a punto
PMP	Punto-multipunto
PHY	Carrier Physical
TDD	Duplex por división de tiempo
FFT	Transformada rápida de Fourier
AMC	Modulación y codificación Adaptiva
ARQ	Automatic Repeat reQuest
FEC	Forward error correction
FDD	Duplexacion por division de frecuencia
ISI	Inter-symbol interference
MS	Mobile Station
ASN	Access Service Network
CSN	Connectivity Service Network
ASN-GW	ASN Gateway
AAA	Authentication Authorization and Accounting
SDU	Service Data Units
PDU	Protocol Data Units
MSDU's	MAC Service Data Units
MPDU's	MAC Protocol Data Units
RtPS	Real-time Polling Service

NrtPS	Non-Realtime Polling Service
BE	Best Effort Service
ARQ	Automatic Repeat reQuest
MPLS	Multiprotocol Label Switching
ERT-VR	Extended Real-Time Variable Rate Service
FEC	Forward error correction
MIMO	Adaptive Multiple Input Multiple Output (Antenna)
TDMA	Time Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
LMDS	Local Multipoint Distribution System
ErtPS	Extended Real-Time Polling Service
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
SINR	Signal to Interference + Noise Ratio
NSP	Network Service Provider



# ÍNDICE

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN .....	VII
LISTA DE ACRONIMOS.....	VIII
ÍNDICE.....	X
LISTA DE FIGURAS .....	XII
LISTA DE TABLAS.....	XV
INTRODUCCION.....	XVI
OBJETIVOS.....	XVIII
JUSTIFICACIÓN.....	XIX
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
Tecnología WiMAX.....	1
1.1.    Protocolo IEEE 802.16 .....	1
1.2    Redes WIMAX.....	3
1.2.1    WiMAX fijo y WiMAX móvil. ....	3
1.3.    WiMax Forum.....	5
1.4    Características de WIMAX.....	6
1.5    Capa física de WiMax.....	9
1.5.1    Parámetros OFDM en WiMAX .....	10
1.5.2    Capa física WiMax fijo (OFDM-PHY) .....	10
1.5.3    Capa física WiMax móvil (OFDMA-PHY) .....	11
1.5.4    Subcanales en OFDMA.....	12
1.6    Modulación y codificación en WiMAX .....	14
1.7    Arquitectura de red.....	16
1.8    Capa MAC .....	20
1.9    Mecanismos de Acceso al medio .....	23
1.10    QoS (Calidad de Servicio).....	24
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>27</b>

Atoll Diseño De Una Red WiMAX .....	27
2.1 Herramienta de planificación. ....	27
2.2. Planificación de la red.....	28
2.3. Definiciones de Atoll.....	30
2.4. Predicciones De Cobertura .....	33
2.5. Simulaciones Monte Carlo .....	35
2.6. Definición de Resultados.....	39
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>40</b>
PLANIFICACIÓN DE LA RED WIMAX. ....	40
3.1. Análisis Previo De La Situación Actual. ....	40
3.2. Modelado de la red.....	43
3.2.1. Localización De Los Puntos.....	43
3.2.2. Parámetros De Diseño .....	49
3.2.2.1. Características De Servicios.....	50
3.2.2.2. Movilidad.....	51
3.2.2.3. Características de la terminal .....	52
3.2.2.4. Características del perfil de usuario. ....	52
3.2.2.5. Consideraciones de los entornos.....	54
3.2.3. Plantilla general de transmisores.....	55
3.2.3.1. Creación y configuración de los transmisores .....	57
3.2.4. Estudios De Cobertura .....	61
3.2.4.1. Creación de la zona de cómputo. ....	62
3.2.4.2. Modelo De Propagación .....	63
3.2.4.3. Estudio De Cobertura Por Nivel De Señal.....	66
3.2.4.4. Estudio de cobertura por transmisor .....	74
3.2.4.5. Estudio De Cobertura Por Throughput.....	79
3.2.5. Simulaciones .....	80
3.2.5.1. Escenario 1.....	87
3.2.5.2. Escenario 2.....	95
3.2.5.3. Resultados por distribución de usuarios según el estado de conexión .....	101
3.2.5.4. Distribución de usuario por servicio en uso.....	104

---

3.2.5.5. Estudio de cobertura del nivel de $C/(N+I)$ .....	109
3.2.5.6. Estudio de cobertura de la tasa máxima disponible de transmisión de datos.....	115
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>121</b>
ESTIMACIÓN DE COSTOS .....	121
4.1. Factores para la selección del proveedor.....	122
4.2. Elección y costo de equipos .....	122
Conclusiones .....	133
Recomendaciones .....	134
Bibliografía .....	135
ANEXOS .....	137

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1:</b> Efecto de la subcanalización.....	13
<b>Figura 1. 2:</b> Modulación Adaptativa.....	15
<b>Figura 1. 3:</b> Modulaciones y codificaciones en WiMAX.....	16
<b>Figura 1. 4:</b> Estructura de red basada en IP.....	17
<b>Figura 1. 5:</b> Puntos de referencia definidos por el WiMAX Forum.....	20
<b>Figura 1. 6:</b> Capa MAC y Capa Física de WiMAX.....	23
<b>Figura 2. 1:</b> Diagrama de flujo del diseño de una red WiMAX en ATOLL.....	29
<b>Figura 2. 2:</b> Algoritmo de las simulaciones WiMAX en ATOLL.....	36
<b>Figura 3. 1:</b> Mapa topográfico de la ciudad de Granada.....	41
<b>Figura 3. 2:</b> Mapa limítrofe.....	42
<b>Figura 3. 3:</b> Vista de los puntos en Google Earth.....	44
<b>Figura 3. 4:</b> Mapa ortho.....	46
<b>Figura 3. 5:</b> Mapa clutter class.....	47
<b>Figura 3. 6:</b> Mapa clutter heights.....	47
<b>Figura 3. 7:</b> Mapa vector.....	48
<b>Figura 3. 8:</b> Superposicion de todos los mapas.....	48
<b>Figura 3. 9:</b> Colocación de coordenadas.....	49
<b>Figura 3. 10:</b> Parámetros WiMax 802.16e.....	50
<b>Figura 3. 11:</b> Pasos para agregar los servicios al perfil de usuarios.....	53
<b>Figura 3. 12:</b> Servicios agregados.....	53
<b>Figura 3. 13:</b> Creación de entornos.....	54
<b>Figura 3. 14:</b> Características de los entornos.....	55
<b>Figura 3. 15:</b> Configuración de la plantilla Proyecto.....	56
<b>Figura 3. 16:</b> Patrón de radiación horizontal y vertical de la antena.....	59
<b>Figura 3. 17:</b> Visualización de Transmisores.....	60
<b>Figura 3. 18:</b> Creación de computation zone.....	62
<b>Figura 3. 19:</b> Modelo de propagación.....	66
<b>Figura 3. 20:</b> pasos para la creación de predicción.....	67
<b>Figura 3. 21:</b> Definición de las características.....	67
<b>Figura 3. 22:</b> Pasos para forzar el cálculo.....	68
<b>Figura 3. 23:</b> Resultados del estudio por cobertura.....	68
<b>Figura 3. 24:</b> Cobertura por nivel de señal.....	69
<b>Figura 3. 25:</b> Estudio de cobertura para un nivel de señal de -90dbm.....	70
<b>Figura 3. 26:</b> Cobertura por trasmisor.....	75
<b>Figura 3. 27:</b> Cobertura por Throughput (DL).....	79
<b>Figura 3. 28:</b> Creación de un mapa de tráfico.....	82
<b>Figura 3. 29:</b> Asignación del entorno al mapa de tráfico.....	83
<b>Figura 3. 30:</b> Mapas de tráfico.....	83
<b>Figura 3. 31:</b> Bearer selection thresholds para todas las movilidades de la Red.....	84
<b>Figura 3. 32:</b> Pasos para la asignación de vecinas.....	85
<b>Figura 3. 33:</b> Pasos para la planificación de frecuencia.....	86
<b>Figura 3. 34:</b> Pasos para la planificación de preamble indexes.....	87

<b>Figura 3. 35:</b> Creación de simulaciones. ....	88
<b>Figura 3. 36:</b> Elección de los mapas de tráfico a utilizar en la simulación. ....	88
<b>Figura 3. 37:</b> Distribución de usuarios por estado de conexión. ....	102
<b>Figura 3. 38:</b> Link Budget. ....	103
<b>Figura 3. 39:</b> Zona de Fresnel. ....	103
<b>Figura 3. 40:</b> Distribución de usuarios por servicio. ....	104
<b>Figura 3. 41:</b> Selección de servicio y usuario en estudio. ....	106
<b>Figura 3. 42:</b> Resultados obtenidos usando Point Analysis Tool. ....	106
<b>Figura 3. 43:</b> Pestaña Cells de la simulación generada. ....	108
<b>Figura 3. 44:</b> Creación de estudio de calidad de red. ....	109
<b>Figura 3. 45:</b> Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace descendente para el servicio FTP. ....	110
<b>Figura 3. 46:</b> Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace descendente para el servicio VoIP. ....	111
<b>Figura 3. 47:</b> Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace descendente para el servicio Video Conferencia. ....	111
<b>Figura 3. 48:</b> Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace descendente para el servicio Web Browsing. ....	112
<b>Figura 3. 49:</b> Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace ascendente para el servicio FTP. ....	113
<b>Figura 3. 50:</b> Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace ascendente para el servicio VoIP. ....	113
<b>Figura 3. 51:</b> Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace ascendente para el servicio Video Conferencia. ....	114
<b>Figura 3. 52:</b> Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace ascendente para el servicio de web Browsing. ....	114
<b>Figura 3. 53:</b> Creación de estudio de cobertura para Throughput de canal. ....	115
<b>Figura 3. 54:</b> Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal descendente para el servicio FTP. ....	116
<b>Figura 3. 55:</b> Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal descendente para el servicio VoIP. ....	117
<b>Figura 3. 56:</b> Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal descendente para el servicio Video conferencia. ....	117
<b>Figura 3. 57:</b> Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal descendente para el servicio Web Browsing. ....	118
<b>Figura 3. 58:</b> Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal ascendente para el servicio FTP. ....	119
<b>Figura 3. 59:</b> Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal ascendente para el servicio VoIP. ....	119
<b>Figura 3. 60:</b> Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal ascendente para el servicio Video Conferencia. ....	120
<b>Figura 3. 61:</b> Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal ascendente para el servicio Web Browsing. ....	120
<b>Figura 4. 1:</b> Topología punto- multipunto de la red WiMAX. ....	121

**Figura 4. 2:** Estructura de red de la familia de equipos AS.MAX. .... 123

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. 1:</b> Descripción estándares WiMAX. ....	2
<b>Tabla 1. 2:</b> Parámetros para capa física .....	12
<b>Tabla 1. 3:</b> Tipos de QoS .....	26
<b>Tabla 2. 1:</b> Predicciones de cobertura disponibles en ATOLL. ....	34
<b>Tabla 3. 1:</b> Ubicación de los sitios. ....	45
<b>Tabla 3. 2:</b> Características de los servicios de la Red WiMax.....	51
<b>Tabla 3. 3:</b> características de la terminal. ....	52
<b>Tabla 3. 4:</b> características del perfil de usuarios.....	54
<b>Tabla 3. 5:</b> Parámetros de las plantillas de cada transmisor.....	58
<b>Tabla 3. 6:</b> Características de la antena. ....	59
<b>Tabla 3. 7:</b> Orientación de las antenas. ....	61
<b>Tabla 3. 8:</b> Recomendaciones para la elección del modelo de propagación.....	64
<b>Tabla 3. 9:</b> Porcentajes de cobertura por superficie para cada nivel de señal. ....	73
<b>Tabla 3. 10:</b> Porcentajes de cobertura por superficie para cada transmisor. ....	76
<b>Tabla 3. 11:</b> Características de los entornos.....	84
<b>Tabla 3. 12:</b> Resultados de un único transmisor por cada sector. ....	90
<b>Tabla 3. 13:</b> Extensión del perfil de usuarios. ....	91
<b>Tabla 3. 14:</b> Resultados de un único transmisor por cada sector .....	92
<b>Tabla 3. 15:</b> Extensión del perfil ante nuevos cambios. ....	92
<b>Tabla 3. 16:</b> Resultados de la carga de tráfico ante nuevos cambios. ....	93
<b>Tabla 3. 17:</b> Últimos cambios realizados de la densidad (Subscribers/km <sup>2</sup> ). ....	94
<b>Tabla 3. 18:</b> Condiciones de carga cercana al 100% por cada transmisor.....	94
<b>Tabla 3. 19:</b> Extensión del perfil .....	96
<b>Tabla 3. 20:</b> Resultados de carga tráfico en el DL. ....	97
<b>Tabla 3. 21:</b> Extensión del perfil ante nuevos cambios. ....	98
<b>Tabla 3. 22:</b> Resultados de carga tráfico. ....	98
<b>Tabla 3. 23:</b> Extensión del perfil. ....	99
<b>Tabla 3. 24:</b> Resultados de carga tráfico .....	100
<b>Tabla 3. 25:</b> Resultados en el Uplink y Downlink.....	105
<b>Tabla 4. 1:</b> Número de transmisores instalados.....	122
<b>Tabla 4. 2:</b> Presupuesto de equipo HiperMAX.....	124
<b>Tabla 4. 3:</b> Presupuesto del sistema de Gestión. ....	125
<b>Tabla 4. 4:</b> Presupuesto de equipo ControlMAX.....	126
<b>Tabla 4. 5:</b> Presupuesto de equipo VoiceMAX. ....	126
<b>Tabla 4. 6:</b> Presupuesto para estación base central .....	127
<b>Tabla 4. 7:</b> Presupuesto de Instalación de una estación base .....	129
<b>Tabla 4. 8:</b> Presupuesto de Radioenlace WiMax .....	130
<b>Tabla 4. 9:</b> Costo considerado.....	130
<b>Tabla 4. 10:</b> Presupuesto de cada emplazamiento.....	131
<b>Tabla 4. 11:</b> Costo aproximado de los Modems.....	131
<b>Tabla 4. 12:</b> Presupuesto total de la Red WiMax.....	132

## INTRODUCCION

En los últimos años el incremento de la demanda por accesos de banda ancha móviles a servicios multimedia, aplicaciones y de internet ha llevado a crear nuevas tecnologías y arquitecturas de redes para ofrecer mejores servicios al menor costo posible para operadores y usuarios finales.

Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Es una norma de transmisión de datos usando ondas de radio. Es una tecnología dentro de las conocidas como tecnologías de última milla, también conocidas como bucle local, que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio, surge como una alternativa eficiente y confiable que utiliza diversas técnicas y esquemas que se adaptan a los requerimientos actuales demandados por los usuarios de servicios como: Transmisión de datos, voz y video. [2,3]

En julio del 2009 Nicaragua anunció la licitación pública internacional para un espectro 2.5-2.7 GHz con el fin de proporcionar al territorio completo de los servicios de comunicaciones basados en el estándar Mobile WiMax. Yota es la primer empresa proveedora en Nicaragua de servicios móviles y una de las líderes del mundo en tecnología Mobile WiMax, que han introducido las pruebas de acceso en la red de banda ancha móvil de Internet en Managua, capital de Nicaragua, así como en la ciudad de Masaya y Ticuantepe. [4]

Con el presente trabajo de Fin de Carrera lo que se pretende es presentar el diseño de una red WiMAX para brindar el servicio de datos a la ciudad de Granada, utilizando la herramienta de planificación Atoll.

A continuación daremos una breve descripción de los cuatro capítulos que desarrollaremos a lo largo del trabajo.

En el capítulo 1 se mencionan los conceptos teóricos necesarios para la comprensión del proyecto introduciendo al lector con una breve descripción de la



tecnología WiMAX para tener unos conceptos básicos de la tecnología antes de pasar a describir la planificación de la red.

El capítulo 2, se describe de manera breve la herramienta de planificación utilizada, Atoll. Donde se indican las principales características y mecanismo necesarios manejados por el software para el diseño de la red.

El capítulo 3, “Planificación De La Red Wimax”, es el objeto de estudio de este documento. En él se lleva a cabo el dimensionamiento y planificación de la red WiMAX para la ciudad de Granada. Se explicará el proceso de planificación de la red, donde se elegirá los diferentes puntos de las estaciones bases que forman parte de la red de acceso, también se irán indicando los pasos a seguir para la configuración de los parámetros requeridos en la red, para luego realizar estudios de cobertura para observar el estado de la red.

Posteriormente, lo que haremos será realizar simulaciones monte Carlo presentado en dos escenarios. Para el “Escenario 1” lo que se quiere es obtener el número máximo de usuarios que admitiría cada estación base y para el “Escenario 2” lo que se pretende es obtener la capacidad máxima de toda la red ante una densidad de usuarios real, donde se reflejan resultados obtenidos.

El capítulo 4, Se muestra la estimación del coste económico aproximado para la implementación y despliegue de la estructura de red en la ciudad de granada.

Por último se exponen las conclusiones y recomendaciones de investigaciones futuras a partir del trabajo desarrollado.

## OBJETIVOS

### GENERAL

- Realizar el diseño de una red WiMAX para satisfacer la necesidad del servicio de datos en la ciudad de Granada, Nicaragua.

### ESPECIFICOS

1. Determinar los requerimientos para el diseño de una red WIMAX que permita conocer y definir parámetros que deben considerarse para las predicciones de cobertura para el servicio de datos en la ciudad de Granada.
2. Desarrollar Predicciones “By Signal” utilizando la herramienta ATOLL para los sitios propuestos en la ciudad de Granada que permita satisfacer a los objetivos de cobertura con el servicio de Datos con la tecnología WIMAX.
3. Realizar el diseño de una red WIMAX en la Ciudad de Granada utilizando la herramienta ATOLL, y así también que sirva como guía y contribuya con el proceso de Enseñanza Aprendizaje para los estudiantes de la carrera Ingeniería en Electrónica en el área de redes móviles.
4. Hacer un presupuesto de los equipos que se requieren para la implementación de la Red WiMAX en Granada.

## JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Granada es una de las cabeceras departamentales más importantes del país. Es uno de los mayores atractivos turísticos de Nicaragua, y uno de los puntos más visitados por turistas extranjeros en la actualidad. Esta ciudad ha tenido un rápido desarrollo que se ha convertido en una moderna población con hoteles y hostales de tres y cuatro estrellas, que presta facilidades de servicios turísticos.

Como sabemos el estar hoy en día comunicados es una necesidad indispensable. Por ello es muy importante ofrecer un cambio de movilidad con una conexión más rápida asegurando calidad de servicio a todos sus habitantes tanto lugareños como extranjeros.

Por lo tanto con este trabajo, se pretende dar una solución inalámbrica de banda ancha, como lo es la tecnología WiMAX que ofrece un conjunto de características con mucha flexibilidad en términos de opciones de implementación y ofertas potenciales de múltiples servicios.

Así mismo con este trabajo monográfico se pretende adquirir conocimientos en análisis de desempeño de una red WiMAX, todo esto mediante el uso del software Atoll que es una herramienta que permite realizar predicciones en un escenario real.

# CAPÍTULO I

## Tecnología WiMAX

WiMAX son las siglas para Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas). Es una norma de transmisión de datos usando ondas de radio. [2]

Surge como una alternativa eficiente y confiable que utiliza diversas técnicas y esquemas que se adaptan a los requerimientos actuales demandados por los usuarios de servicios como: Transmisión de datos, voz y video. [3]

WiMAX es una potente solución a las necesidades de redes de acceso inalámbricas de banda ancha, de amplia cobertura y elevadas prestaciones. Ofrece una gran capacidad (hasta 75 Mbps por cada canal de 20 MHz), e incorpora mecanismos para la gestión de la calidad de servicio (QoS). WiMAX permite amplias coberturas tanto con línea de vista entre los puntos a conectar (LOS) como sin línea de vista (NLOS) en bandas de frecuencias de uso común o licenciadas. [5]

### 1.1. Protocolo IEEE 802.16

WiMax es una tecnología basada en estándares que permite al abonado la conectividad de banda ancha inalámbrica en uso fijo, nómada, portátil y móvil sin necesidad de visión directa de la estación base.

En la siguiente tabla veremos un resumen de las características de los estándares más relevantes:

Estándar	Descripción
802.16	Wimax, rango de frecuencia 10 GHz a 66 GHz.
802.16a	Wimax para estaciones de usuarios fijas, frecuencias menores a 11 GHz.
802.16b	Frecuencias exentas de licencia, rango de frecuencia de 5-6 GHz.
802.16c	Detalles del sistema para la banda de 10-66 GHz.
802.16d	Estándar.
802.16-2004	Reemplaza a los estándares 802.16/16a/16d (incluye OFDMA).
802.16e	Wimax para estaciones de usuarios en movimiento (velocidad limitada a 120 Km/h).
802.16f	Gestión MIB (Base de Información de gestión).
802.16g	Gestión de niveles.
802.16-1	Interfaz aérea, rango de frecuencia 10-66 GHz.
802.16-2	Coexistencia de sistemas de acceso inalámbricos de banda ancha.
802.16.2-2004	Reemplaza a la 802.16.2
802.16.2a	Recomendaciones para la coexistencia de los sistemas de acceso fijo inalámbrico de banda ancha.
802.16.3	Interfaz aérea para sistemas de acceso fijo inalámbricos de banda ancha operando por debajo de los 11 GHz.

**Tabla 1. 1: Descripción estándares WiMAX. [3]**

## 1.2 Redes WIMAX

### 1.2.1 WiMAX fijo y WiMAX móvil.

Tal y como se ha detallado anteriormente, el estándar IEEE 802.16 ha sufrido diferentes revisiones desde su creación y se ocupa de dos modelos de uso, como son el fijo y el móvil. Se detallarán las características más significativas de ambos.

- WiMAX fijo

Está basado en la versión 802.16d del estándar IEEE 802.16 y en las redes ETSI HiperMAN. El estándar IEEE 802.16 regula el acceso inalámbrico de banda ancha hasta una frecuencia de 66 GHz. Comúnmente se piensa que ETSI HiperMAN es el equivalente del IEEE 802.16. De hecho, constituye la versión europea para bandas de frecuencia inferiores a 11 GHz. Existe un segundo estándar europeo emergente llamado ETSI HiperACCESS, que define (fundamentalmente para casos en los que se requiere el uso de frecuencias con licencia) el acceso al espectro en bandas superiores a 11 GHz.

El estándar IEEE 802.16d está basado en la modulación OFDM y soporta accesos tanto fijos como nómadas en entornos en los que puede haber, o no, visión directa (LOS/NLOS). OFDM es una tecnología de modulación y codificación digital. Se ha venido utilizando satisfactoriamente en aplicaciones de acceso por cable, como es el caso de los módems DSL o de la tecnología Wifi. OFDM alcanza alta velocidad y eficiencia espectral a partir del solapamiento múltiple entre distintas portadoras de señal, en lugar de transmitir sólo con una portadora. Es previsible que las futuras tecnologías 4G estén basadas en OFDM.

- WiMAX móvil

Es una solución inalámbrica de banda ancha que permite la convergencia de redes de banda ancha fija y móvil a través de una tecnología de acceso radio de banda ancha desplegada sobre un área extensa común y una arquitectura de red flexible. La interfaz aire de WiMAX móvil adopta OFDMA para reducir la interferencia multitrayecto en entornos en los que no hay visión directa entre antenas.

El modo de transmisión OFDM, anteriormente comentado, fue originalmente diseñado para transmitir una única señal. Para poder tener múltiples transmisiones de usuario simultáneas, se asoció a esta técnica de modulación y codificación el método de acceso OFDMA.

De hecho, una señal OFDM puede estar formada por señales que proceden de distintos usuarios, principio que constituye la base de OFDMA. La variante OFDMA Escalable (SOFDMA) se introdujo en la enmienda IEEE 802.16e para soportar anchos de banda de canal escalables desde 1.25 MHz hasta 20 MHz.

Los perfiles de los sistemas WiMAX móvil están siendo desarrollados por el grupo MTG (Mobile Technical Group) de WiMAX Forum, con el propósito de definir las características obligatorias y opcionales del estándar IEEE que son necesarias para construir la interfaz aire conformada para los sistemas WiMAX móvil que pueden ser certificadas por WiMAX Forum. El perfil de los sistemas WiMAX móvil permite a los sistemas móviles ser configurados en base a un conjunto de características básicas comunes, para que de esta manera se aseguren absolutamente las funcionalidades para terminales de usuario y BS que sean completamente interoperables. [6]

### 1.3. WiMax Forum

El WiMax Forum ® es una organización dirigida por la industria sin fines de lucro que certifica y promueve la compatibilidad e interoperabilidad de productos inalámbricos de banda ancha basados en el estándar IEEE 802.16 y ETSI HyperMAN. El objetivo principal es acelerar la adopción, implementación y expansión de las tecnologías WiMax en todo el mundo al tiempo que facilita los acuerdos de roaming y certificación de productos. Los productos certificados de WiMax Forum son: fijos, servicios nómadas, portátiles y móviles de banda ancha interoperable y apoyo. El WiMax Forum trabaja en estrecha colaboración con los proveedores de servicios y reguladores para garantizar que los sistemas WiMax Forum Certified cumplan los requisitos del cliente y del gobierno. Unas de las primeras empresas y organismos más relevantes que se agruparon inicialmente son: Alvarion, Aperto, China Motion Telecom, Airspan, Nokia, Samsung, Intel News IQ, Andrew, etc.

Este programa comenzó a mediados de 2005, con el anuncio de los primeros equipos certificados en enero de 2006. Hasta mayo de 2008, se han certificado 42 productos y se espera que se anuncien nuevas certificaciones próximamente. El objetivo final del Foro es promover y acelerar la introducción de servicios de acceso inalámbrico de banda ancha rentables en el mercado.

En la actualidad existen 4 empresas capaces de certificar equipos y terminales WiMax, las cuales son:

- Telecommunications Technology Association
- Bureau Veritas ADT
- Wimax Certification Bodies (WCB)
- China Academy of Telecommunication Research [7]



## 1.4 Características de WIMAX

WiMAX es una tecnología de banda ancha inalámbrica que ofrece una gran cantidad de características con bastante flexibilidad en términos de opciones de despliegues y de servicios. Algunas de las características más importantes se enumeran a continuación.

- **Capa física basada en OFDM**

La capa física (PHY) de WiMax está basada en multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM), lo que permite que WiMax opere en modo NLOS, además de que ofrece buena resistencia a múltiples trayectorias.

- **Tasa de transmisión pico de datos muy alta**

WiMax es capaz de soportar una tasa de datos muy alta. La tasa pico en la PHY puede ser de hasta 74Mbps cuando se opera con un espectro de frecuencia de 20 MHz de ancho de canal. Típicamente, utilizando un espectro de 10 MHz de ancho de canal usando un esquema TDD (time-Division Duplexing) con una razón de tres a uno en el canal de bajada y el de subida respectivamente, las velocidades que alcanzan son de 25 Mbps para el enlace de bajada y de 6.7 Mbps para el enlace de subida. Estas velocidades de pico de datos son alcanzadas cuando se usa una codificación 64 QAM con un índice de corrección de error de 5/6. Bajo condiciones buenas para la señal se podrían alcanzar velocidades mayores, así como usando múltiples antenas y multiplexación espacial.

- **Ancho de banda escalable y soporte de tasa de datos**

WiMax tiene una arquitectura de capa física escalable que permite que la tasa de datos aumente fácilmente cuando hay un canal de ancho de banda disponible. Esta escalabilidad está apoyada en el modo OFDMA, donde el tamaño de la FFT (transformada rápida de Fourier) puede escalarse basada en el canal disponible. Por ejemplo, un sistema WiMax debería usar una FFT de 128, 512 o 1024 subportadoras según el ancho de banda del canal sea de 1.25 MHz, 5 MHz o 10 MHz respectivamente. Esta escalabilidad debe hacerse dinámicamente para

soportar el roaming de usuarios a través de las diferentes redes que podrían tener anchos de banda diferentes.

- **Modulación y codificación adaptiva (AMC- Adaptive Modulation and Coding)**

WiMax soporta un número de esquemas de modulación y corrección de errores (FEC, Forward Error Connection) y permite que este esquema sea cambiado en una base por usuario o por Frame, dependiendo de las condiciones del canal. AMC es un mecanismo efectivo para minimizar la cantidad de información procesada en un canal variante en el tiempo.

- **Retransmisión en capa de enlace**

Para conexiones que requieren una seguridad mejorada, WiMax soporta automatic repeat request (ARQ) protocolo utilizado para el control de errores en la transmisión de datos, garantizados la integridad de los mismos en la capa de enlace. Este protocolo requiere que los paquetes transmitidos sean asentidos por el receptor mediante un acuse de recibo (ACK); los paquetes que no son asentidos se consideran perdidos y se retransmiten.

- **Soporte de FDD Y TDD**

IEEE 802.16-2004 y la IEEE 802.16e-2005 soportando tanto Duplexado por división de frecuencia (FDD) como por división de tiempo (TDD), así como half-duplex FDD (HD FDD), que permite implementación de sistemas de bajo costos. TDD es el esquema de preferencia para la implementación por la mayoría debido a sus ventajas:

1. Flexibilidad en elegir una tasa de datos entre las velocidades del enlace de subida y el de bajada.
2. Habilidad para explotar la reciprocidad del canal.
3. Habilidad para implementarse en un espectro no pareado.
4. Diseño menos complejo de transmisor/receptor.

- **Soporte para técnicas avanzadas de antenas**

WiMax permite el uso de técnicas basadas en múltiples antenas como Beamforming, codificación espacio-tiempo, y multiplexación. Estos esquemas pueden ser usados para mejorar la capacidad total del sistema y su eficiencia espectral mediante el uso de múltiples antenas en el transmisor y/o receptor.

- **Soporte de QoS**

La capa MAC de WiMax tiene una arquitectura orientada a conexión que está diseñada para soportar una variedad de aplicaciones, incluyendo servicios de voz y multimedia. Este sistema ofrece soporte para una tasa de bit constante (CBR), tasa de bit variable (VBR), flujo de tráfico en tiempo real y tiempo no real. WiMax MAC está diseñada para soportar un gran número de usuarios con múltiples conexiones por terminal.

- **Seguridad robusta**

WiMax soporta un encriptado fuerte utilizando un Estándar Avanzado de Encriptación (AES), tiene una privacidad robusta y protocolo de manejo de llaves. El sistema también ofrece una arquitectura de autenticación muy flexible basado en el Protocolo Extensible de Autenticación (EAP), que permite una variedad de credenciales de usuario, incluyendo nombre de usuario y contraseñas digitales, certificados digitales y tarjetas inteligentes.

- **Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA)**

El estándar del 802.16e (WiMax móvil) usa OFDMA, el cual es similar a OFDM puesto que divide la señal en múltiples subportadoras. OFDMA, sin embargo, va un paso más allá, agrupando subportadoras en subcanales. Una sola estación cliente del suscriptor podrían usar todos los subcanales dentro del periodo de la transmisión, o los múltiples clientes podrían transmitir simultáneamente usando cada una porción del número total de subcanales.

- **Arquitectura basada en IP**

El foro WiMax ha definido una arquitectura de referencia de red que está basada en una plataforma all-IP (todo-IP). Los servicios end-to-end son entregados sobre una arquitectura IP que cuenta con protocolos basados en IP para el transporte end-to-end, QoS, gestión de sesión, seguridad y movilidad. Esta base sobre IP permite a WiMax declinar los costos de procesamiento de IP, y facilita la convergencia con otras redes, y explota el desarrollo de aplicaciones que existe para IP. [2]

## 1.5 Capa física de WiMax

La capa física de WiMax se basa en la multiplexación por división ortogonal en frecuencia (OFDM). OFDM es un esquema de transmisión que nos permite la transmisión de datos de alta velocidad, video y comunicaciones multimedia. Este esquema de transmisión es utilizado por muchos sistemas comerciales, tales como DSL, Wifi, DVB-H. OFDM es un esquema eficiente para transmisión de elevadas tasas de datos en entornos sin visión directa y con distorsión de multitrayecto.

OFDM pertenece a una familia de esquemas de transmisión llamada modulación multiportadora, el cual se basa en la idea de dividir un determinado flujo de datos en varios flujos y modular cada flujo con portadoras distintas (llamadas subportadoras). Los esquemas de modulación multiportadora minimizan la interferencia intersímbolo (ISI) haciendo que la duración en el tiempo del símbolo transmitido sea lo suficientemente larga como para que el retraso introducido por el canal sea una insignificante fracción de la duración del símbolo.

### 1.5.1 Parámetros OFDM en WiMAX

Las versiones fijas y móviles de WiMAX tienen diferentes implementaciones de OFDM en la capa física PHY. Para WiMAX fijo, basado en la norma IEEE 802.16-2004, se usa una capa física basada en OFDM con una FFT de 256 subportadoras de tamaño. Para WiMAX móvil, basado en la norma 802.16e-2005, se usa capa física basada en OFDMA variable. En el caso de WiMAX móvil, el tamaño de la FFT puede variar desde 128 hasta 2048 subportadoras.

### 1.5.2 Capa física WiMax fijo (OFDM-PHY)

Para esta versión el tamaño de la transformada rápida de Fourier (FFT) está fijada en 256 subportadoras, de las cuales 192 son subportadoras para transportar datos, 8 son usadas como subportadoras piloto para propósitos relacionados con la estimación y la sincronización del canal, y el resto son usadas como subportadoras de la banda de guarda. Puesto que el tamaño de la FFT es fijo, el espacio entre subportadoras varía con el ancho de banda del canal. Cuando se utilizan grandes anchos de banda, el espacio entre subportadoras aumenta y el tiempo de símbolo disminuye. Que el tiempo de símbolo disminuya significa que será necesario asignar una mayor frecuencia de tiempo de guarda con el propósito de superar la difusión de retardos.

A como se puede ver en la siguiente tabla 2.1, WiMAX permite gran cantidad de tiempos de guarda, por eso permite a los diseñadores del sistema realizar intercambios entre la eficiencia espectral y la robustez frente a la difusión de retardo. Para alcanzar la máxima robustez frente a la difusión de retardo, se puede usar un 25 por ciento de la banda de guarda.

### 1.5.3 Capa física WiMax móvil (OFDMA-PHY)

El tamaño de la FFT puede variar entre 128 y 2048 subportadoras. En este caso cuando el ancho de banda aumenta, el tamaño de la FFT también se va incrementando para que el espacio entre las subportadoras siempre sea 10.94 KHz, esto mantiene la duración del símbolo OFDM fijo y por tanto las capas superiores no se tienen que preocupar de esto. Un diseño escalable también mantiene los costos bajos. El espacio de 10.94 KHz fue elegido como un buen equilibrio para satisfacer el retardo de propagación y el efecto Doppler y así poder soportar un retardo de hasta 20 microsegundos y una movilidad de hasta 125 km por hora operando a 3.5 GHz. El espacio entre subportadoras de 10.94 KHz implica que se usen FFT de 128, 512, 1024 y 2048 bits cuando el ancho de banda del canal es 1.25MHz, 5MHz, 10MHz y 20 MHz respectivamente. Debería ser anotado, sin embargo, que WiMax móvil puede incluir otros perfiles de ancho de banda adicionalmente. Por ejemplo, un perfil compatible con WiBro utilizara un canal de 8.75MHz de ancho de banda y una FFT de 1024 bits. Este perfil requerirá evidentemente un espacio entre subportadoras diferente y por tanto no tendrá las mismas propiedades de escala.

La siguiente tabla muestra los parámetros relativos a OFDM para ambas capas físicas, las basadas en OFDM y la basada en OFDMA. Los parámetros que se muestran en la tabla, están limitados a un conjunto de perfiles que son posibles, pero no constituyen un conjunto exhaustivo de todos los posibles valores. [8]

Parámetros	Wimax fijo OFDM-PHY		Wimax Móvil OFDM-PHY		
Tamaño FFT	256	128	512	1024	2048
Número de subportadoras de datos	192	72	360	720	1440
Número de subportadoras piloto	8	12	60	120	240
Número de subportadoras de guarda	56	44	92	184	368
Periodo de guarda	1/32, 1/16, 1/8, 1/4				
Tasa muestreo	Depende del ancho de banda: 7/6 para 256 OFDM, 8/7 para múltiplos de 1.75 MHz, y 28/25 para múltiplos de 1.25 MHz, 1.5 MHz, 2 MHz o 2.75 MHz.				
Ancho de banda del canal (MHz)	3.5	1.25	5	10	20
Espacio subportadoras (KHz)	15.625	10.94			
Tiempo útil de símbolo(us)	64	91.4			
Tiempo de guarda (asumiendo 12.5%)	8	11.4			
Duración del símbolo OFDM (us)	72	102.9			
Número de símbolos OFDM en tramas de 5ms	69	48			

**Tabla 1. 2: Parámetros para capa física**

#### 1.5.4 Subcanales en OFDMA

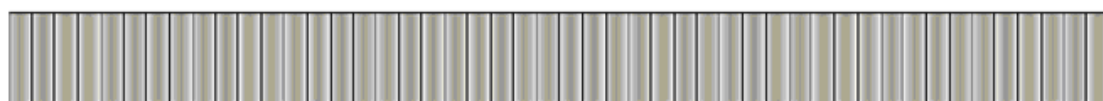
En OFDMA se puede dividir las subportadoras disponibles en varios grupos llamados subcanales. WiMAX fijo basado en una capa física OFDM solamente permite una forma limitada de subcanalización en el enlace ascendente. El estándar define 16 subcanales, donde se puede asignar 1, 2, 4, 8, o todos los conjuntos a una estación de abonado en el enlace ascendente.

La subcanalización del enlace ascendente en WiMAX fijo permite a las estaciones de abonados transmitir utilizando solamente una fracción del ancho de banda que le asigna la estación base, lo que proporciona mejoras económicas en el enlace que se pueden utilizar para aumentar el rendimiento y/o mejorar la

duración de las batería de las estaciones de abonado. Un factor de subcanalización de 1/16 proporciona una mejora de 12 dB en el enlace.

Sin embargo, la versión móvil de WiMAX, cuya capa física está basada en OFDMA, permite subcanalizar tanto en el enlace ascendente como el descendente, y aquí los subcanales forman la unidad mínima de recursos de frecuencia asignados por la estación base.

Por lo tanto, se puede asignar subcanales diferentes a usuarios diferentes como un mecanismo de acceso múltiple. Este tipo de esquema de multiacceso se llama acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) que da nombre a la capa física WiMAX móvil. Se pueden constituir subcanales utilizando subportadoras contiguas o subportadoras distribuidas pseudo-aleatoriamente en el espectro de frecuencia. Los subcanales formados utilizando subportadoras distribuidas proporcionan más diversidad frecuencial, lo cual es especialmente útil para aplicaciones móviles.



Espectro OFDM transmitido desde la estación base, cada slot representa una portadora de RF



Espectro OFDM de bajada hacia el equipo terminal, todas las portadoras son transmitidas pero a un cuarto de potencia desde la estación base, entonces el rango será menos



Espectro OFDM de subida desde equipo terminal usando solo un cuarto de portadoras, pero al mismo nivel de la estación base, entonces el rango será el mismo pero a un cuarto de capacidad

**Figura 1. 1: Efecto de la subcanalización.**

Fuente: Ruiz S. et al. (2007). Estudio y diseño de una red inalámbrica (WiMAX), para un operador de comunicaciones en la ciudad de Guayaquil.



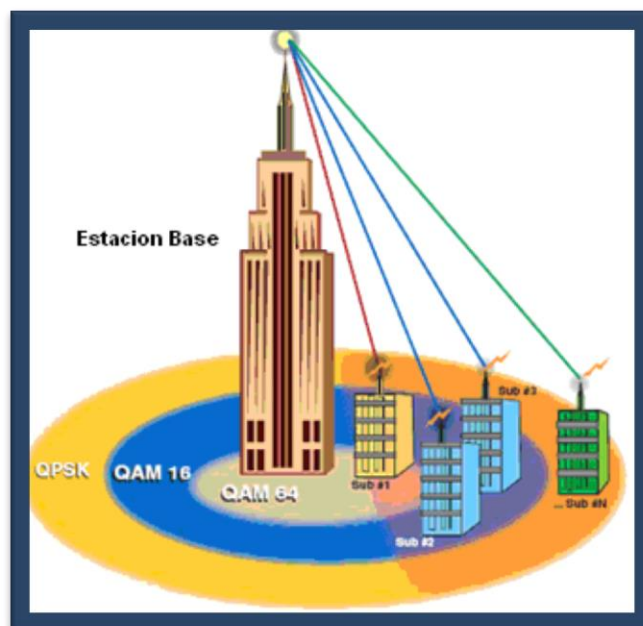
WiMAX define varios esquemas de subcanalización basados en portadoras distribuidas tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. Uno de ellos llamados uso parcial de subportadoras (PUSC) es obligatorio para todas las implementaciones móviles de WiMAX. Los perfiles de WiMAX iniciales definen 15 y 17 subcanales para el enlace descendente y el enlace ascendente, respectivamente, para operaciones con el esquema PUSC y 5MHz de ancho de banda. Para operaciones de 10 MHz, se define 30 y 35 canales respectivamente.

El esquema de subcanalización WiMAX basado en subportadoras contiguas se llama banda adaptiva de modulación y codificación (AMC). Aunque se pierde la diversidad frecuencial, la banda AMC permite diseñar el sistema para explotar la diversidad de usuarios, asignando los subcanales a los usuarios basándose en su respuesta frecuencial. La diversidad de multiusuarios puede proporcionar una ganancia significativa en toda la capacidad del sistema, si el sistema procura proporcionar a cada usuario un subcanal que maximice su relación señal a ruido más interferencias (SINR).

En general, la subcanalización basada en subportadoras contiguas es más apropiada para aplicaciones fijas o con poca movilidad.

## 1.6 Modulación y codificación en WiMAX

WiMAX soporta una variedad de esquemas de modulación y codificación que permite que el esquema cambie en cada ráfaga básica, dependiendo de las condiciones del canal. La estación base puede medir la calidad del enlace ascendente y descendente de cada usuario, y así asignarle una modulación y una codificación que maximice la tasa de transferencia para la proporción señal/ruido disponible. [9]



**Figura 1. 2: Modulación Adaptativa.**

**Fuente: Ordoñez E. (2008). Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología WiMAX para proveer el servicio de internet de banda ancha en la ciudad de Manta.**

Por tanto la modulación y codificación adaptativa incrementan significativamente la capacidad de todo el sistema, y permite la compensación en tiempo real entre la tasa de transferencia y la robustez de cada enlace. La siguiente tabla muestra una lista de varios esquemas de modulación y codificación soportados en WiMAX. En el enlace descendente las modulaciones QPSK, 16 QAM y 64 QAM son obligatorios para WiMAX fijo y móvil; mientras que en el enlace ascendente 64 QAM es opcional. La codificación FEC es obligatoria si usamos códigos convolucionales. Un total de 52 combinaciones de esquemas de modulación y codificación están definidas en WiMAX. [9]

	Downlink	Uplink
<b>Modulación</b>	BPSK, QPSK, 16QAM; BPSK opcional para OFDM-PHY	BPSK, QPSK, 16QAM; 64QAM opcional
<b>Codificación</b>	Obligatorio: códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6.  Opcional: Turbo códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 1/6; códigos de repetición de tasa 1/2, 1/3, 1/6. LDPC, códigos RS para OFDM-PHY.	Obligatorio: códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6.  Opcional: Turbo códigos convolucionales de tasa 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; códigos de repetición de tasa 1/2, 1/3. LDPC.

**Figura 1. 3: Modulaciones y codificaciones en WiMAX. [9]**

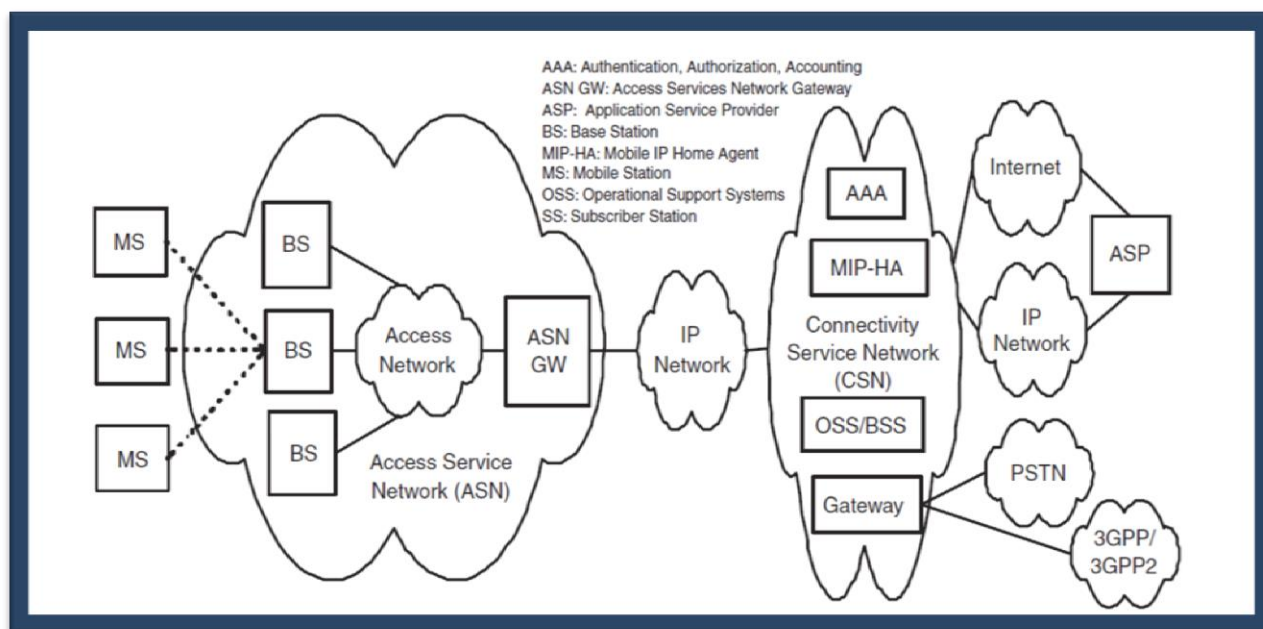
## 1.7 Arquitectura de red

El estándar IEEE 802.16e-2005 proporciona la interfaz de aire para WiMAX pero no define la red completa de extremo a extremo WiMAX. El Grupo de Trabajo del Foro WiMAX, es responsable para el desarrollo de los requisitos de red de extremo a extremo, la arquitectura y protocolos para WiMAX, usando IEEE 802.16e-2005, como la interfaz de aire.

Este grupo de trabajo ha desarrollado un modelo de referencia de red para servir como una arquitectura marco para las implementaciones de WiMAX y para garantizar la interoperabilidad entre los distintos WiMAX equipos y operadores. El modelo de referencia de red prevé una arquitectura de red unificada para apoyar despliegues móviles, nómadas, y fijos y se basa en un modelo de servicio IP. En la siguiente figura muestra una ilustración simplificada de una arquitectura de red WiMAX basada en IP.

La arquitectura global de la red se divide en tres partes:

1. Las estaciones de abonados sean fijas o móviles (MS o SS)
2. La red de acceso al servicio. Access Service Network (ASN), la cual consta de varias estaciones base y una o más pasarelas ASN (ASN Gateways) formando la parte de acceso radio de la red.
3. La red de conectividad al servicio (Conectivity Service Network (CSN)), que se encarga de proporcionar conectividad IP.



**Figura 1. 4: Estructura de red basada en IP.**

**Fuente: A. G. Jeffrey G. Andrews, Rias Muhamed. (2007). Fundamentals of WiMAX, Understanding Broadband Wireless Networking.**

El modelo de arquitectura de red desarrollado por el grupo de trabajo del WiMAX Forum define una serie de entidades funcionales, e interfaces entre dichas entidades (Definidos como puntos de referencia).

### **1. Estación base (BS)**

Implementa la capa física y MAC tal como se define en el estándar IEEE 802.16. En una red de acceso WiMAX, una BS está definida por un sector y una frecuencia asignada. En el caso de la asignación multi-frecuencia de un sector, este incluye tantas BS como frecuencias asignadas haya. La BS es responsable de proporcionar el interfaz aire con la red a las estaciones de usuario. Otras funciones adicionales de la estación base serán aquellas relacionadas con la gestión de la movilidad de los usuarios, como por ejemplo la realización de los handovers, la gestión de los recursos radio, la aplicación de la política de QoS, la gestión de los diferentes flujos de tráfico y la gestión de claves y sesiones.

### **2. Pasarela de red de acceso al servicio (ASN-Gateway)**

La ASN-GW actúa típicamente como un punto de agregación de tráfico de capa MAC dentro del ASN. Otras funciones adicionales que llevará a cabo la pasarela será la gestión de la localización de usuarios, el control de admisión al ASN y la gestión de recursos radio, almacenamiento de la información de los suscriptores y sus claves de encriptado, la funcionalidad del cliente Authentication Authorization and Accounting (AAA), el establecimiento y gestión de la movilidad en colaboración con las estaciones base, la aplicación de la política de QoS considerada, funcionalidad de agente externo para IP móvil y el enrutado para la CSN seleccionada

### **3. Red de conectividad al servicio (CSN) o Switching Center (SC)**

El CSN está formado por un conjunto de funciones y equipos que permiten la conectividad IP a los suscriptores WiMAX. Incluye funciones como:

- Autorización de conexión de usuario en la capa de acceso 3.
- Administración de la QoS.
- Soporte de movilidad basado en Mobile IP.
- Facturación de los suscriptores WiMAX.

- Servicios WiMAX (acceso a Internet, servicios de localización, conexión de servicios Peer-To-Peer, aprovisionamiento, autorización y/o conexión a gestores de bases de datos o IMS).

Además de las entidades anteriores, el grupo de trabajo del WiMAX Forum define varios puntos de referencia entre las distintas entidades que componen la arquitectura de esta red. Esos puntos de referencia logran puntos de interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes. Hay seis puntos de referencias obligatorios (del R1 al R6) y dos opcionales (R7 y R8).

**R1:** Punto de referencia de la interfaz radio entre el MS y el ASN. Incluye todas las características físicas y MAC de los perfiles de WiMAX. Lleva tráfico de usuario y mensajes de control de usuario.

**R2:** Es la interfaz lógica entre el MS y el CSN. Contiene los protocolos y otros procedimientos implicados en la autenticación, servicios de autorización y administración de la configuración IP.

**R3:** Es la interfaz lógica entre el ASN y el CSN. Transporta mensajes del plano de control e información del plano de datos a través de un tunelado entre el ASN y CSN.

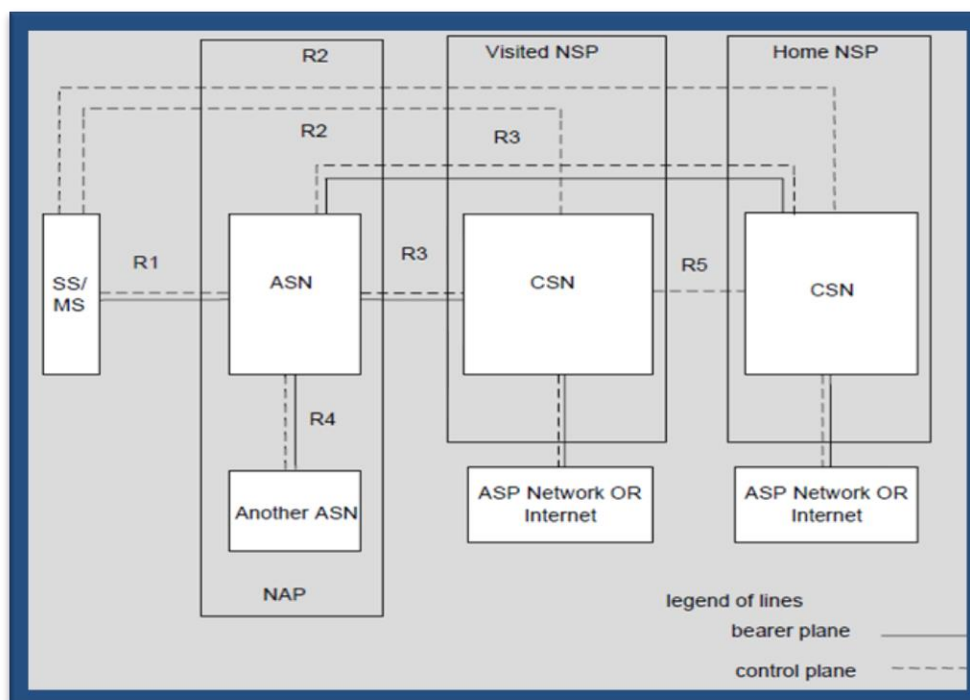
**R4:** Punto de referencia que interconecta dos ASNs (ASN perfil B) o dos ASN-GW (ASN perfiles A o C). Transporta mensajes del plano de control y de datos, especialmente durante el traspaso de un usuario WiMAX entre ASNs/ASN-GWs. Presenta interoperabilidad entre ASNs de diferentes fabricantes.

**R5:** Punto de referencia que interconecta dos CSNs. Consiste en el juego de métodos del plano de control y de datos para la comunicación entre el CSN del NSP visitante y el NSP.

**R6:** Es específico de algunos de los perfiles de ASN. En aquellos en los que el ASN se subdivide en BS y ASN-GW que corresponden con los perfiles A y C. Por

tanto, este punto de referencia no es aplicable al perfil B. R6 se encarga de unir el BS y el ASN-GW. Transporta mensajes del plano de control y de datos.

**R7 y R8:** R7 es una interfaz lógica opcional entre funciones de decisión y aplicación en el ASN-GW. R8 es una interfaz lógica entre estaciones base y transporta flujo de intercambio del plano de control que sirve para permitir un rápido y eficiente traspaso entre estaciones base. [9]



**Figura 1. 5: Puntos de referencia definidos por el WiMAX Forum.**

**Fuente:** Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points. [Part 1] (February 03, 2009) WiMAX Forum® Network Architecture.

## 1.8 Capa MAC

Una de las principales funciones de la capa MAC de WiMAX es proveer una interfaz entre la capa física y la capa de transporte. La capa MAC toma los paquetes provenientes de la capa superior, estos paquetes se llaman Unidades de Datos de Servicio MAC (MSDU's: MAC Service Data Units) y los organiza en Unidades de Datos de Protocolo (MPDU's: MAC Protocol Data Units) para su

transmisión. Para la recepción la capa MAC hace lo mismo pero en orden inverso.  
[10]

La capa MAC del 802.16 se diseñó para aplicaciones de acceso inalámbrico de banda ancha de punto a multipunto (PMP: Point-to-Multipoint); los servicios requeridos por los usuarios finales pueden variar en cuanto al ancho de banda o su "latencia" (retardo), además contiene una subcapa de convergencia que puede relacionarse con protocolos de capas superiores como Modo de Transferencia Asíncrono (ATM: Asynchronous Transfer Mode), Ethernet, Protocolo de Internet (IP: Internet Protocol), entre otros, aunque el foro WiMAX ha decidido soportar IP y Ethernet.

La Capa Mac del sistema Wimax maneja tres partes claves: Convergencia MAC, Capa MAC y Privacidad MAC.

### **1. Subcapa MAC de convergencia (CS)**

Es la encargada de adaptar las unidades de datos de protocolos de alto nivel al formato MAC SDU y viceversa. Es decir se encarga transformar los datos de las redes externas y pasarlos a la subcapa MAC común convertidos en unidades de datos del servicio o SDU (Service Data Units), que son las unidades de datos que se transfieren entre capas adyacentes. Se encuentra sobre la subcapa MAC común y utiliza los servicios proveídos por ésta. También se encarga de clasificar las SDUs de la MAC entrantes a las conexiones a las que pertenecen.

### **2. Subcapa MAC común (MAC CPS)**

Es el núcleo de la toda la capa MAC, provee los servicios de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión y se establecen las unidades de datos de protocolo o PDU (Protocol Data Units). También se encarga de hacer el intercambio de la unidad de servicios de datos de la capa MAC (SDU) con la capa de convergencia. Esta subcapa se encuentra fuertemente ligada con la capa de seguridad. En esta subcapa se prestan los servicios de planificación que representan los mecanismos de



manipulación de datos soportados por el planificador de la MAC para el transporte de datos en una conexión, cada una de las cuales está asociada a un solo servicio de datos el cual a su vez, está asociado a unos parámetros de QoS que son quienes determinan su comportamiento.

Existen cinco tipos de servicios:

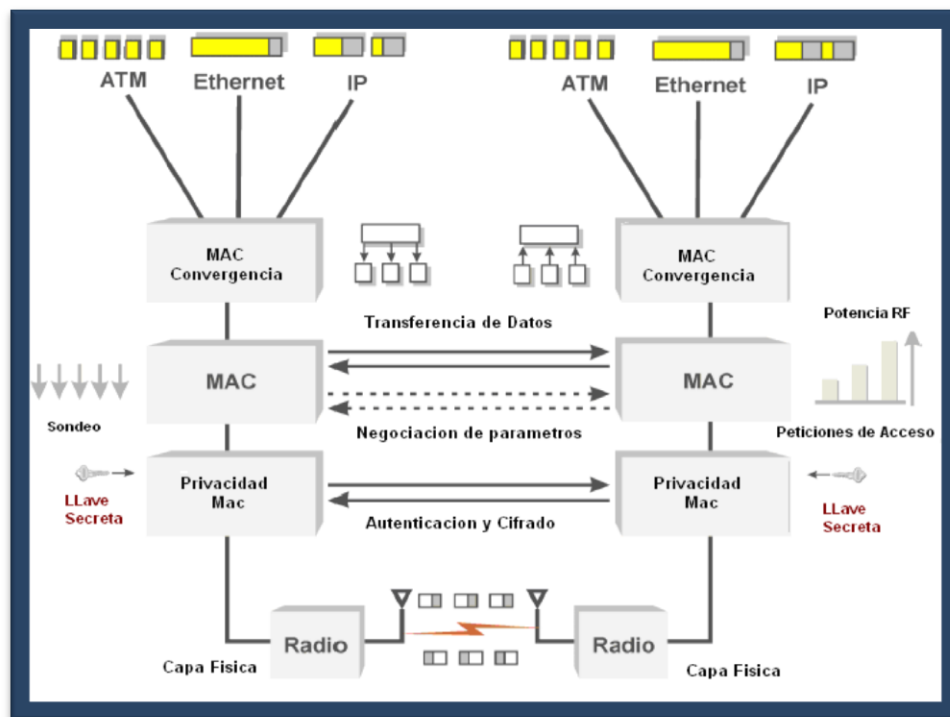
- Concesión no Solicitada (UGS)
- Polling en tiempo real (rtPS)
- Polling no en tiempo real (nrtPS)
- Extended Real-Time Variable Rate Service (ERT VR)
- Mejor Esfuerzo (BE)

### **3. Subcapa MAC de seguridad**

Presta los servicios de autenticación, intercambio seguro de claves y cifrado. Permite proveer a los usuarios un servicio de banda ancha seguro a través de su conexión fija mediante el cifrado de las conexiones, y al operador protegerse contra las conexiones no autorizadas forzando el cifrado. La subcapa de seguridad es la encargada de la autenticación, establecimiento de claves y encriptación. Es en el a donde se realiza el intercambio de los PDUs de la MAC con la capa física.

[11]

A continuación se presenta un gráfico donde se muestra las relaciones entre las capas Mac y la capa física.



**Figura 1. 6: Capa MAC y Capa Física de WiMAX.**

Fuente: Ordoñez E. (2008). Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología WiMAX para proveer el servicio de internet de banda ancha en la ciudad de Manta.

## 1.9 Mecanismos de Acceso al medio

En WiMAX, la capa MAC en la estación base es completamente responsable de asignar un ancho de banda a todos los usuarios tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. La única vez en que la estación móvil tiene algún control sobre la asignación de ancho de banda es cuando tiene sesiones o conexiones múltiples con la estación base. En ese caso, la estación base asigna un ancho de banda a la estación móvil en conjunto, y depende de ésta última el repartirlo entre las conexiones múltiples que tiene. La estación base hace toda la demás planificación en el enlace ascendente y el descendente. Para el enlace descendente, la estación base puede asignar un ancho de banda a cada estación móvil, basado en las necesidades del tráfico entrante, sin implicar a la estación móvil. Sin embargo, para el enlace ascendente las asignaciones deben estar basadas en peticiones de la estación móvil.

El estándar WiMAX contiene varios mecanismos por los que una estación móvil puede solicitar y obtener ancho de banda en el enlace ascendente. Según los parámetros de QoS y tráfico particulares asociados con un servicio, la estación móvil puede utilizar uno o más de estos mecanismos. La estación base asigna recursos dedicados o compartidos periódicamente a cada estación móvil, que puede utilizar para solicitar un ancho de banda. A este proceso se le llama Polling o sondeo. Se puede hacer sondeo tanto individualmente (unicast) como en grupos (multicast). Se hace sondeo multicast cuando hay ancho de banda insuficiente para sondear a cada estación móvil individualmente. Cuando se haga sondeo multicast, la ranura asignada para hacer peticiones de ancho de banda es una ranura compartida, la cual cada estación móvil sondeada intenta usar. Por ello WiMAX define un acceso por contienda y un mecanismo de resolución para cuando más de una estación móvil intente utilizar la ranura compartida. Si ya tiene una asignación para el tráfico a enviar, la estación móvil no se sondea. En su lugar se permite que solicite más ancho de banda mediante tres métodos: el primero es transmitiendo una petición de ancho de banda autónoma MPDU, el segundo método es enviando una petición de ancho de banda por el canal de extensión, o por último mediante la utilización de forma fraudulenta de un ancho de banda solicitado en paquetes MAC genéricos.

### 1.10 QoS (Calidad de Servicio)

Una de las partes fundamentales en el diseño de la capa MAC es la QoS. Algunas de las ideas para el diseño de las técnicas de QoS en WiMAX se sacan del estándar del cable módem DOCSIS, consiguiendo un fuerte control de la QoS utilizando una arquitectura MAC orientada a conexión en la que la estación base controla todas las conexiones del enlace descendente y el ascendente. Antes de que ocurra cualquier transmisión de datos, la estación base y la estación móvil establecen un enlace lógico unidireccional entre las dos capas MAC llamado conexión.

Cada conexión se identifica mediante un identificador de conexión (CID), que sirve como una dirección temporal para transmisiones de datos sobre el enlace particular. Además de conexiones para transmisión de datos de usuario, la capa MAC de WiMAX define tres conexiones administrativas: las conexiones básicas, las primarias y las secundarias. WiMAX también define un concepto de flujo de servicio que es un flujo unidireccional de paquetes con un conjunto particular de parámetros de QoS e identificado por un identificador de flujo de servicio (SFID.) Los parámetros de QoS podrían incluir prioridad de tráfico, tasa máxima de tráfico sostenido, tasa máxima de ráfaga, tasa mínima tolerable, tipo de planificación, tipo de ARQ, retraso máximo, jitter tolerable, tamaño y tipo de unidad de datos, mecanismo a usar para la petición de ancho de banda, reglas para la formación de PDU, etc. El flujo de servicio debe ser provisionado por un sistema de administración de red o creado dinámicamente a través de mecanismos de señalización definidos en el estándar. La estación base es responsable de distribuir el SFID y mapearlo a un único CID. Los flujos de servicio pueden ser mapeados también a puntos de código de DiffServ o etiquetas de flujo de MPLS (Multiprotocol Label Switching) para permitir QoS extremo a extremo basado en IP. Para soportar una amplia variedad de aplicaciones, WiMAX define cinco servicios. [9]

En la siguiente tabla se muestra los tipos de servicio, los parámetros QoS definidos y un ejemplo de su aplicación.

Tipos de QoS	Parámetros QoS definidos	Ejemplo de aplicaciones
UGS – Unsolicited Grant Service	Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Tolerancia jitter	Voz sobre IP sin supresión de silencios
RtPS – Real time Polling Service	Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Prioridad de tráfico	Flujos de audio y video
NRtPS – Non Real time Polling Service	Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Prioridad de tráfico	Protocolo de transferencia de ficheros (FTP)
BE – Best Effort service	Máxima tasa sostenible Prioridad de tráfico	Navegación Web, transferencia de datos
Ert VR – Extended Real time Variable Rate service	Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Tolerancia jitter Prioridad de tráfico	VoIP con supresión de silencios

**Tabla 1. 3: Tipos de QoS [9]**

## CAPITULO II

### Atoll Diseño De Una Red WiMAX

En este capítulo se explican las investigaciones llevadas a cabo en conjunto con los conceptos y mecanismos manejados por Atoll, utilizados para el desarrollo de todo el proyecto.

#### 2.1 Herramienta de planificación.

Atoll es un software que permite diseñar redes de banda ancha de acceso inalámbrico. De las cuales se encuentran dos plantillas de documento separado, llamada WiMAX 802.16d y WiMAX 802.16e, y que están disponibles en esta herramienta para el diseño y la planificación de estas redes.

Atoll puede predecir la cobertura de radio, gestionar datos de abonado móvil y fija, y evaluar la capacidad de red. En Atoll, WiMAX también es compatible con antenas inteligentes y permite modelar los usuarios fijos y móviles en entornos WiMAX. La entrada de datos correspondiente a suscriptores fijo, lo cual es un requisito importante de las redes de acceso inalámbrico fijo, se modela utilizando una base de datos de abonados integrado en el módulo. Puede llevar a cabo cálculos en ubicaciones fijas de abonados, así como la base de sus cálculos en escenarios de usuarios móviles durante simulaciones de Monte Carlo. También puede realizar predicciones de interferencia, asignación de recursos, y otros cálculos sobre los usuarios móviles.

Atoll utiliza simulaciones de Monte Carlo para generar escenarios realistas de red (instantáneas) utilizándolo como estadística para la programación y asignación de recursos. Distribuciones de usuario realistas pueden generarse usando diferentes tipos de mapas de tráfico y de datos sobre abonados. Atoll utiliza estas distribuciones de usuario realistas como entrada para las simulaciones.

Las predicciones de cobertura pueden ser creadas para estudiar los siguientes parámetros:

- El nivel de la señal recibida de celdas.
- Los niveles efectivos de señal de tráfico del enlace descendente y de enlace ascendente.
- Tráfico de portadora interferencia más ruido.
- La cobertura de soporte de radio.
- El rendimiento de canal y capacidad de la celda por píxel, y el rendimiento agregado por celda.

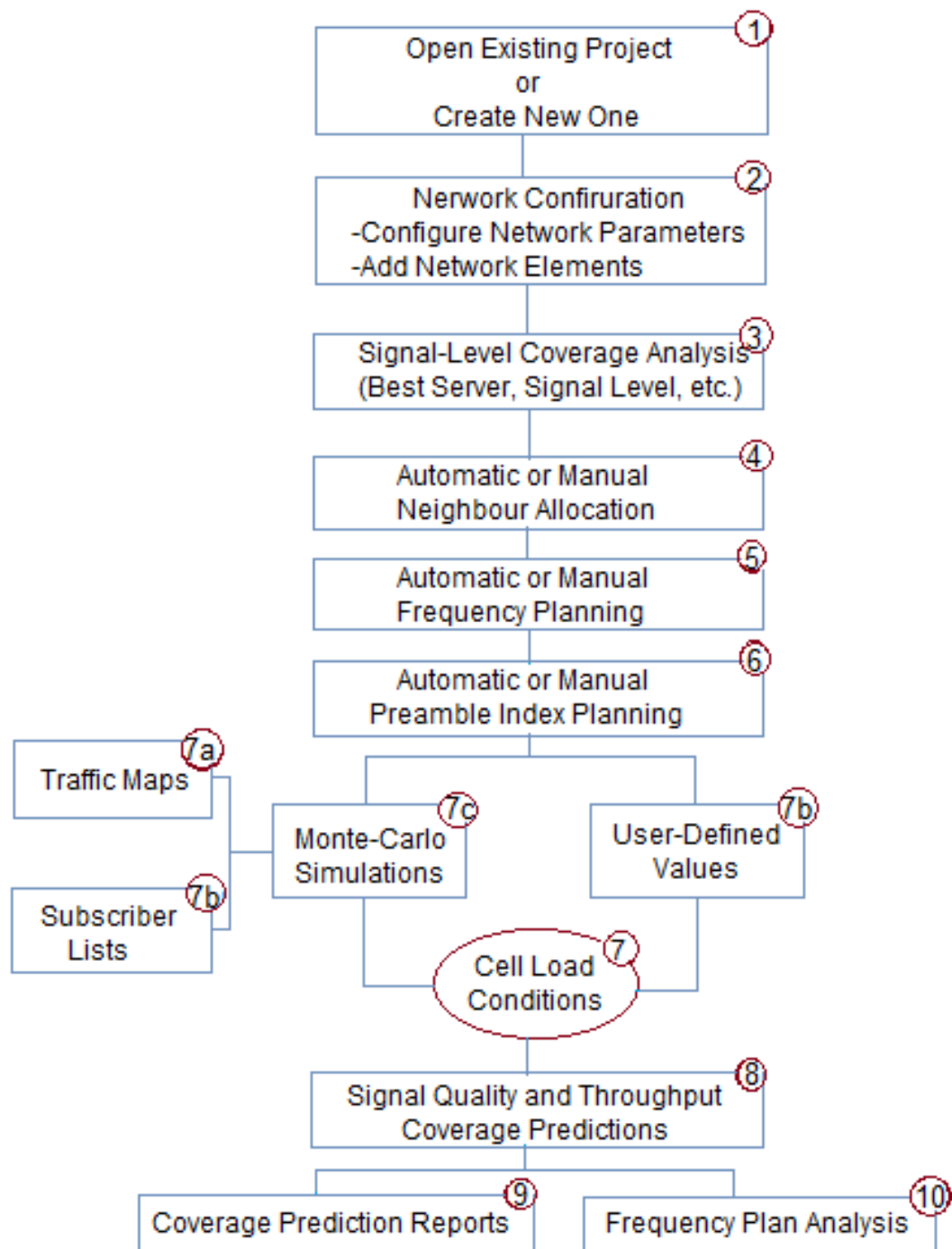
Predicciones de cobertura que dependen de las cargas de tráfico de la red se pueden crear a partir de cualquiera de los resultados de simulación de Monte Carlo o desde una configuración definida por el usuario de la red de carga (cargas de tráfico de enlace ascendente y descendente y de enlace ascendente de subida de ruido). [12]

## 2.2. Planificación de la red.

El primer paso para cualquier proyecto de planificación de una red, es recopilar la información necesaria en cuanto a los equipos de radio (p. ej. emplazamientos, transmisores, antenas, etc.), información de la tecnología de radio (bandas de frecuencias y otros parámetros específicos de la tecnología a implementar) e información geográfica (p. ej. *clutter classes*, *clutter heights*, mapas de tráfico, etc.) que se utilizará en el despliegue.

Posteriormente se debe abrir o crear un nuevo proyecto con parámetros específicos para modelar la red, donde se configuraran los equipos que la conforman y también por el cual, se realizaran diversas predicciones de cobertura, donde podremos obtener los resultados de las simulaciones, es decir, obtener la capacidad de demanda en la red o de tráfico generado por las simulaciones Monte Carlo.

El siguiente algoritmo muestra los pasos que se deben seguir para la creación de una red WiMAX. [12]



**Figura 2. 1: Diagrama de flujo del diseño de una red WiMAX en ATOLL.**

Fuente: Forsk (2009). *Atoll 2.8.0 user manual RF Planning & Optimization Software.*



## 2.3. Definiciones de Atoll

Como hemos mencionado anteriormente debemos de tener en cuenta algunos conceptos. En este apartado se describe un conjunto de conceptos manejados por Atoll, utilizados para el desarrollo de todo el proyecto.

Tipos de datos geográficos (Geographic Data Types): contiene varios tipos de datos geográficos, que juegan diferentes papeles en Atoll:

1. Datos geográficos utilizados en el cálculo de propagación:
  - Modelo digital del terreno
  - Clases de Clutter
  - Alturas Clutter
2. Datos geográficos utilizados en el dimensionamiento:
  - Mapas de tráfico
3. Datos geográficos utilizados para fines de presentación:
  - Mapas escaneados
  - Las imágenes de los servicios de mapas web (WMS)
  - Contornos, líneas y puntos que representan, por ejemplo, carreteras, vías férreas, o regiones.

Plantilla (Station Template): en ella se establecen una serie de parámetros de las estaciones bases, de forma que al agregar nuevas estaciones todas sean configuradas según la plantilla seleccionada.

Emplazamiento (Site): es el punto geográfico donde uno o más transmisores están ubicados.

Celda (Cell): hace referencia a las características del canal RF asociado a un transmisor.

Estación base (Base Station): hace referencia al emplazamiento y sus transmisores en conjunto con sus antenas, equipos asociados y celdas.

Tipo de transmisor (Transmitter Type): Intra-Network (Servidor y Dispositivo de interferencia) y Extra-Network (Interferencia solamente)

Intra-Network: Atoll considera el transmisor como un servidor potencial, así como una fuente de interferencia.

Extra-Network: Atoll considera el transmisor sólo como una fuente de interferencia. Este tipo de transmisor no se utiliza para simulaciones Monte Carlo, y solo permite modelar la co-existencia de diferentes redes en la misma zona geográfica.

TMA: *Tower-Mounted Amplifier* o también conocido como amplificador de bajo ruido.

Zona de Cómputo (Computation Zone): es usada para definir el área donde Atoll realiza los cálculos. A la hora de efectuar los cálculos toma en consideración las estaciones bases tanto externas como internas a la zona de cómputo, siempre y cuando estas afecten los resultados dentro de la zona.

Zona de puntos calientes (Hot Spot Zone): definen la zona en la que puedan elaborarse estadísticas y sobre la que se realizan los informes.

Usuario (User): término general aplicable para un suscriptor, terminal y receptor.

Móvil (Mobile): usuarios generados y distribuidos durante simulaciones. Estos usuarios poseen, entre otros parámetros, servicios definidos, tipos de terminal, y tipos de movilidad asignados durante la simulación.

Radio Bearer (RB): es un esquema de modulación/codificación (MCS) usado para cargar los datos a través del canal.

Cargas de tráfico (Traffic Loads): son porcentajes de las tramas *uplink* y *downlink* asignadas para el tráfico ascendente y descendente, respectivamente puede ser definido por el usuario o como un resultado de las simulaciones de Monte Carlo.

Servicios (Services): son diversos servicios disponibles para los usuarios, pueden ser de tipo voz o de tipo datos.

Tipo de movilidad (Mobility Type): en WiMAX la información acerca de la movilidad del receptor es requerida para determinar la selección de los umbrales de *bearer* y las gráficas de calidad (*quality graphs*) a utilizar proveniente del equipo de recepción definido para el terminal o celda.

Perfil de usuario (User Profile): modela el comportamiento de diferentes categorías de usuarios. Cada perfil es definido por una lista de servicios que a su vez está definida por el terminal utilizado, las llamadas por hora, y la duración (para llamadas tipo voz) o el volumen ascendente y descendente (para llamadas tipo datos).

Scheduler: el programador utilizado por la celda, encargados de efectuar la selección de usuarios para la asignación de recursos y su administración según las clases de QoS de los servicios que estén siendo usados por los usuarios elegidos.

Preámbulo C / N Threshold (dB): el preámbulo mínimo de C / N necesaria para un usuario que se conecta a la celda. El preámbulo C / N se compara con este umbral para determinar si es o no un usuario que pueda estar conectado a una celda.

Simulación Monte Carlo: algoritmo empleado para generar la distribución de usuarios para cada simulación.

Capacidad máxima de Tráfico (Max Traffic Load (UL) (%)): la carga de tráfico de enlace ascendente que no debe sobrepasarse. Este límite puede ser tenido en cuenta durante Simulaciones de Monte Carlo. Si la carga de tráfico de células está

limitada por este valor, no se le permitirá a la celda tener en el enlace ascendente carga de tráfico superior a este máximo.

Capacidad máxima de Tráfico (Max Traffic Load (DL) (%)): la carga de tráfico de enlace descendente que no debe sobrepasarse. Este límite puede ser tomado en cuenta durante las simulaciones de Monte Carlo. Si la carga de tráfico de la celda está limitada por este valor, no se le permitirá a la celda tener una carga de tráfico de enlace descendente superior a este máximo.

Uplink Noise Rise (dB): aumento del ruido de enlace ascendente en dB. Por defecto, el aumento del ruido de enlace ascendente se establece en 0.

Frequency Band: selección de la banda de frecuencia de las celdas de la lista de Banda de frecuencia.

Frame Configuration: configuración de trama de la celda seleccionada de la lista.

Point Analysis: es una herramienta de Atoll que permite realizar, estudios de recepción o interferencia a lo largo del perfil del terreno entre un transmisor y un usuario, y evaluar los niveles de señales recibidas por distintos transmisores en un determinado punto.

Link Budget: muestra un diálogo con el balance de potencia. [12,13]

## 2.4. Predicciones De Cobertura

Existen dos tipos de predicciones de cobertura en ATOLL, las que permiten analizar los niveles de señal y las que permiten analizar la calidad de la señal. Las primeras no dependen de las condiciones de carga de la red ni de las interferencias, mientras que las predicciones de calidad de la señal si dependen de condiciones de carga. Donde el cálculo se realiza utilizando matrices de

pérdida de trayectoria y basándose en condiciones de cobertura y resoluciones de cobertura. [13]

A continuación en la siguiente tabla se muestran las distintas predicciones que pueden realizarse en ATOLL y una breve descripción de cada una.

Clasificación	Nombre	Descripción
Por nivel de señal	Coverage by Signal Level	Permite predecir las zonas de cobertura según los niveles de señal del transmisor en cada píxel del mapa.
	Coverage by Transmitter	Permite predecir las zonas de cobertura por transmisor analizando para cada píxel del mapa el mejor transmisor.
	Overlapping Zones	Permite calcular las zonas donde existe cobertura de dos o más transmisores.
	Effective Signal Analysis	Permite calcular los niveles de señal de diferentes señales WiMAX.
Por calidad de señal	Coverage by C/(I+N) Level	Permite predecir los niveles de interferencia y de portadora a interferencia y ruido C/(I+N) para cada píxel del mapa.
	Coverage by Best Bearer	Permite calcular y mostrar los mejores Radio Bearers disponibles para cada píxel del mapa basados en las C/(I+N) de los mismos.
	Coverage by Throughput	Permite calcular y mostrar para cada píxel del mapa los Channel Throughputs y Cell Capacities basados en los niveles de C/(I+N) y en los Radio Bearers disponibles. Además permite mostrar el Aggregate Cell Throughput para resultados de simulaciones.
	Coverage by Quality Indicator	Permite calcular y mostrar diferentes indicadores de calidad (BLER, BER, etc.) basados en los Radio Bearers y en los niveles de C/(I+N) de cada píxel.

**Tabla 2. 1: Predicciones de cobertura disponibles en ATOLL. [12]**

En nuestro caso nos enfocaremos en cuatro tipos de predicaciones: Coverage by Signal Level, Coverage by Transmitter, Coverage by Throughput, y Coverage by C/(I+N) Level.

## 2.5. Simulaciones Monte Carlo

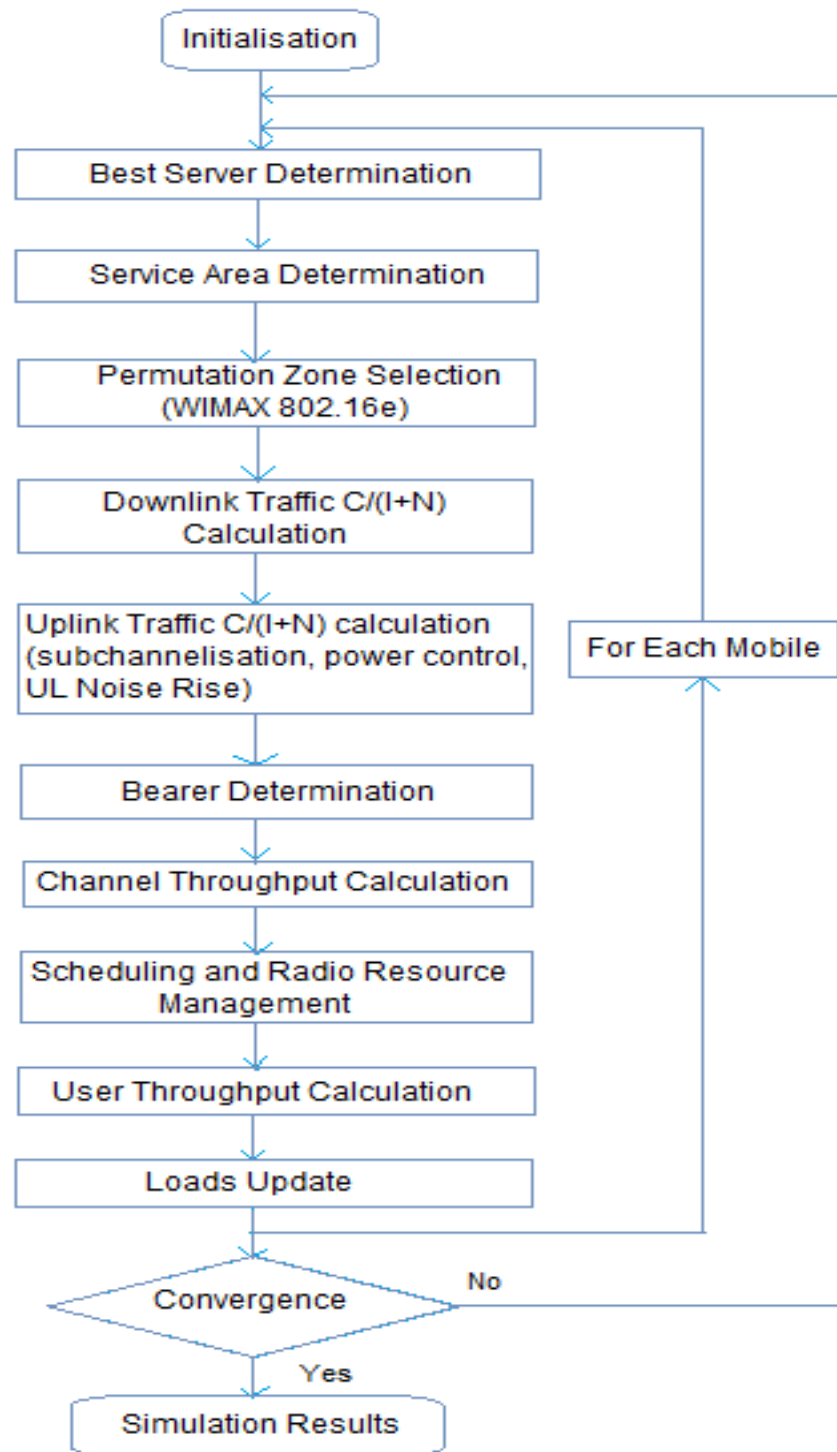
La figura 2.2 muestra el algoritmo de simulación WiMAX. El proceso de simulación en WiMAX consta de los siguientes pasos:

### 1. Generación de móviles y Distribución.

Las simulaciones requieren los datos de tráfico, tales como mapas de tráfico (raster, vector, o datos de tráfico en tiempo real) o listas de suscriptores. Atoll genera una distribución de usuario para cada simulación utilizando un algoritmo de Monte Carlo. Esta distribución de usuario se basa en la entrada de datos de tráfico y se pondera por una distribución de Poisson.

Cada móvil generado durante las simulaciones se asigna un servicio, un tipo de movilidad, y un terminal de acuerdo con el perfil de usuario asignado a él. Un estado de la transmisión se determina de acuerdo a las probabilidades de actividad. El estado de la transmisión es una salida importante de la simulación, ya que tiene un impacto directo en el siguiente paso del proceso de simulación, es decir, la gestión de recursos de radio (RRM), y tiene un impacto en el nivel de interferencia en la red.

La ubicación geográfica de cada móvil se determina al azar para los móviles generados en base a los datos de tráfico a partir de mapas de tráfico. A partir de listas de suscriptores se encuentran en las localidades de abonados. [13]



**Figura 2. 2: Algoritmo de las simulaciones WiMAX en ATOLL.**

Fuente: Forsk (2009). *Atoll 2.8.0 user manual RF Planning & Optimization Software.*

## 2. Determinación de la mejor celda Servidora

Atoll determina el mejor servidor para cada móvil basado en el nivel de señal de preámbulo en el enlace descendente. El mejor transmisor sirviendo se determina de acuerdo con el nivel de señal de preámbulo recibida desde la celda con la más alta potencia de preámbulo. Si existe más de una celda a cubrir el móvil, el que tiene el menor orden, es seleccionada como la porción celda (referencia).

## 3. Cálculos en el Downlink

Los cálculos de enlace descendente incluyen el cálculo de preámbulo enlace descendente y el tráfico de  $C / (I + N)$ , la determinación de la mejor portadora disponible para el tráfico de  $C / (I + N)$ , la asignación de recursos (RRM), y el cálculo de caudales de usuario. La segmentación se lleva a cabo si la configuración del marco, seleccionado por una celda, apoya la segmentación. El cálculo de interferencia se basa en las probabilidades de colisión entre segmentos. El efecto de la concentración de alimentación no es considerado.

## 4. Cálculos en el Uplink

Los cálculos de enlace ascendente incluyen el cálculo de enlace ascendente  $C / (I + N)$ , determinación de la mejor disponibilidad para el portador  $C / (I + N)$ , el control de potencia de enlace ascendente y subcanalización dependen de la portadora, la asignación de los recursos (RRM), actualización de valores de aumento de ruido de enlace ascendente para las celdas, y el cálculo de caudales de usuario.

## 5. Radio Gestión de Recursos y Cálculo de carga de la célula

Atoll utiliza un algoritmo de planificación inteligente para llevar a cabo la gestión de recursos de radio. El algoritmo de planificación se explica en detalle en la Guía de referencia técnica. El scheduler:

- a. Determina la cantidad total de recursos en cada celda.



- b. Selecciona los primeros N usuarios, de los usuarios generados en el primer paso, donde N es el número máximo de usuarios definidos en las propiedades de las celdas.
- c. Ordena los usuarios en orden decreciente de prioridad de servicio.
- d. Asigna los recursos necesarios para satisfacer las demandas de rendimiento mínimos de los usuarios a partir del primer usuario (con el servicio de más alta prioridad) para el último usuario.
- e. Si los recursos aún permanecen en el fondo de recursos después de esta asignación, asigna recursos a los usuarios con el máximo rendimiento que exige de acuerdo con el algoritmo de programación utilizado.

Al final de las simulaciones, un usuario activo puede ser conectado en la dirección correspondiente a su estado de actividad si:

- Tiene un mejor servidor asignado (paso 2),
- Haya un portador en la dirección que corresponde a su estado de actividad (el paso 3 y el paso 4),
- Que es uno de los usuarios seleccionados por el programador para la asignación de recursos (paso 5), y
- Que no se rechaza debido a la saturación de recursos (paso 5).

Si un usuario es rechazado durante el paso 2, paso 3 o el paso 4, la causa del rechazo es "Sin servicio". Si un usuario es rechazado durante el paso 5, la causa del rechazo puede ser por "Programador de saturación" o "Scheduler Saturation", es decir, el usuario no se encuentra entre los usuarios seleccionados para la asignación de recursos, o puede ser rechazado debido a la "saturación de recursos"(Resource Saturation), es decir, todos los recursos de la celda fueron utilizados por otros usuarios.

## 2.6. Definición de Resultados

Atoll calcula el número total de usuarios que intentan conectarse. Este número es el resultado de la primera aleatoriedad el cual se da la asignación de recursos de radio. Los resultados de las simulaciones contienen la siguiente información por sitio:

Peak MAC User Throughput (DL) o (UL) (kbps): La suma de los picos de rendimientos de usuarios MAC de todos los usuarios conectados en el enlace descendente en todas las celdas del sitio.

Effective MAC User Throughput (DL) o (UL) (kbps): La suma de los rendimientos efectivos de usuarios MAC de todos los usuarios conectado en el enlace descendente en todas las celdas del sitio.

Application User Throughput (DL) o (UL) (kbps): La suma de los caudales de aplicación de todos los usuarios conectados en el enlace descendente en todas las celdas del sitio.

Las celdas contienen la siguiente información, por sitio y el transmisor:

Carga de Tráfico (DL) (%): Las cargas de tráfico de las celdas calculadas en el enlace descendente durante la simulación.

Carga de tráfico (UL) (%): Las cargas de tráfico de las celdas calculadas en el enlace ascendente durante la simulación.

UL Rise ruido (dB): El aumento del ruido de las celdas calculadas en el enlace ascendente durante la simulación. [12]

## **CAPITULO III**

### **PLANIFICACIÓN DE LA RED WIMAX.**

Una vez descrito los conceptos y aspecto necesarios manejados por el software Atoll para la comprensión, en este capítulo se recopiló información acerca de la zona geográfica de la ciudad de Granada, para luego proceder al proceso de planificación de la red WiMax mediante dicha herramienta.

#### **3.1. Análisis Previo De La Situación Actual.**

- Descripción general de la ciudad de granada.

La ciudad de granada es una de las cabeceras departamentales más importantes del país. Es uno de los mayores atractivos turísticos de Nicaragua, y uno de los puntos más visitados por turistas extranjeros en la actualidad. Posee una arquitectura colonial y neoclásica exquisita, por ser una de las ciudades españolas más viejas del área del istmo centroamericano, que ha estado en una localidad desde su fundación en 1523 por Francisco Hernández de Córdoba. Siendo este el principal atractivo turístico de este departamento. Es visitada y alojada por el 25% de los turistas que vienen a nuestro país. [14]

- Ubicación geográfica

La ciudad de Granada está ubicada entre las coordenadas 11° 55' de latitud norte y 86° 57' de longitud oeste. Con una extensión territorial de 592.07 km<sup>2</sup>.

La ciudad está localizada en el noroeste del lago de Nicaragua a 45 Km. de Managua capital de la República de Nicaragua, pertenece a la región de formaciones volcánicas; algunos de estos han quedado aparentemente dormidos como el volcán Mombacho situado al sur de la ciudad con una altura de 1,344mts, siendo lo que predomina en el departamento, la parte norte de la ciudad son tierras bajas y planas.



**Figura 3. 1: Mapa topográfico de la ciudad de Granada.**

Recuperado de

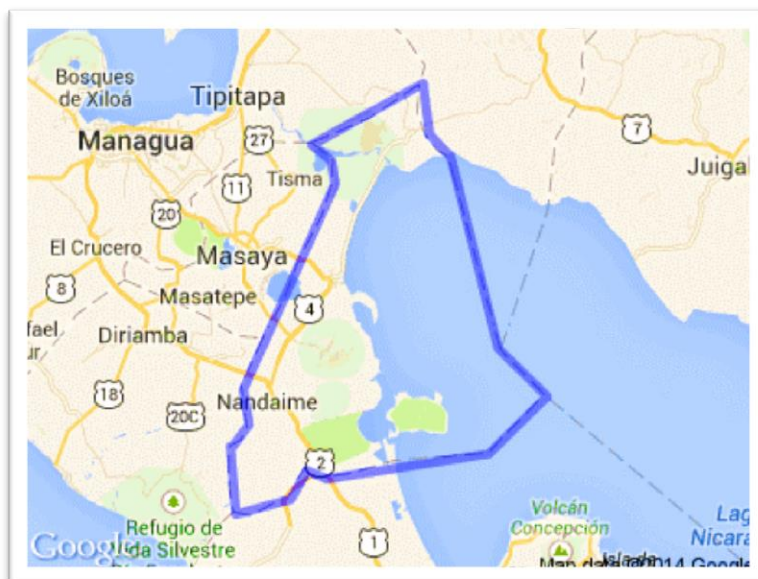
[http://www.zonu.com/mapas\\_nicaragua/Mapa\\_Topografico\\_Ciudad\\_Granada\\_Nicaragua.htm](http://www.zonu.com/mapas_nicaragua/Mapa_Topografico_Ciudad_Granada_Nicaragua.htm)

- División política

La ciudad de granada está dividida en cuatros distritos y a su vez en 110 barrios.

Los límites de la ciudad son:

- Al norte: con el Municipio de Tipitapa (Depto. de Managua).
- Al sur: con el municipio de Nandaime.
- Al este: con el municipio de San Lorenzo (Dpto. de Boaco) y el Lago de Nicaragua.
- Al oeste: con los Municipios de Tisma, Masaya, Laguna de Apoyo y el Municipio de Catarina.



**Figura 3. 2: Mapa limítrofe.**

Recuperado de <https://vianica.com/nicaragua/granada>

- **Clima**

El clima de la ciudad se define como semi-humedo (sabana tropical). La precipitación anual oscila entre los 1,200 y 1,400 mm caracterizándose por buena distribución de las lluvias durante el año. La temperatura varía entre los 27 y 27.5 grados Celsius.

- **Población**

La ciudad de Granada según el censo del 2005; cuenta con una densidad poblacional estimada de 111,886 habitantes. Considerándose en el área urbana de 85,699 habitantes.

- **Sector económico – productivo**

La ciudad de Granada tiene como principal fuente de ingreso al turismo; gracias al cual, esta ciudad ha tenido un rápido desarrollo que se ha convertido en una moderna población con hoteles y hostales de tres y cuatro estrellas, que presta facilidades de servicios turísticos, restaurantes, ventas de artesanías,

bares, bar-restaurantes, galerías, café-literario, museos, escuelas de idioma, etc. Todo esto ha sido posible a los atractivos del centro histórico de Granada y los atractivos naturales del Lago y sus alrededores que dinamizan la industria turística de la ciudad y el departamento en general. [15]

### 3.2. Modelado de la red.

Para poder llevar a cabo la modelación de la red el primer paso que realizamos fue la localización de los puntos, para luego pasar a definir parámetros de entrada en la herramienta Atoll, tales como: coordenadas, mapas y parámetros de diseño que van a caracterizar a la red. Posteriormente, se detallarán los pasos a seguir, para la creación de un nuevo proyecto y la incorporación de los distintos mapas necesarios para la planificación. Posteriormente, se describirán los pasos para las primeras predicciones iniciales, para luego realizar las simulaciones Monte Carlo que determinan la capacidad de la red y finalmente la realización de estudios de cobertura para determinar la calidad de la red.

#### 3.2.1. Localización De Los Puntos

Para poder comenzar a identificar y situar los puntos, donde estarán las estaciones base, es necesario tener en cuenta que la selección de los puntos estará basada por objetivo de cobertura, es decir, según la densidad poblacional que posea la zona de interés, para ello se utilizaron las siguientes herramientas:

- GPS
- Software Google Earth
- Software ATOLL
- Laptop



Por lo tanto se llevó a cabo los siguientes procedimientos:

1. Geo-referencia de las estaciones bases existentes.

Para ello realizamos visitas de campo a la ciudad de granada para conocer las estaciones bases existentes y geo-referenciar las coordenadas de cada una de ellas utilizando un GPS. De la misma manera las visitas de campo nos ayudaron para conocer el perfil del terrero.

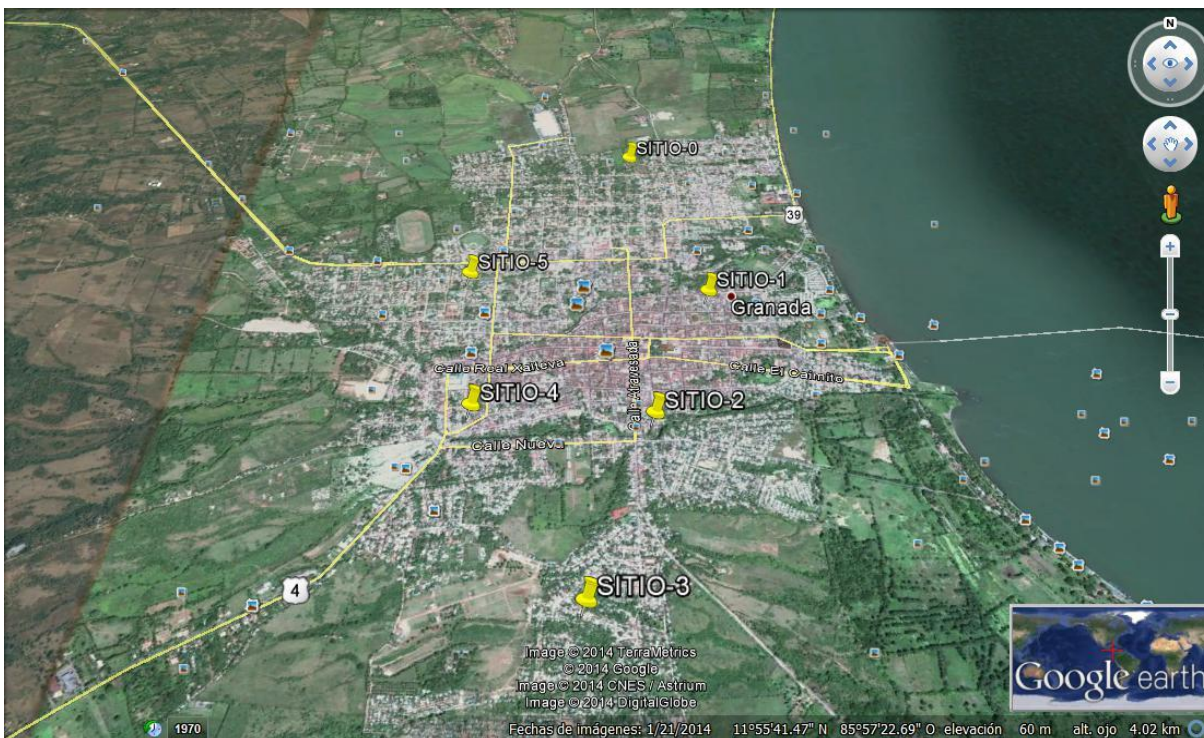
2. Registramos las coordenadas de los puntos en el mapa de Google Earth.

Con ayuda de la herramienta de Google Earth introducimos las coordenadas de las estaciones bases como punto de referencia.

3. Modificamos coordenadas a nuestras necesidades.

Modificamos los puntos existentes, colocando los sitios de manera que cada uno de ellos cubriera un área específica, para cubrir toda la ciudad de granada.

En la siguiente imagen se muestra cada uno de los puntos donde estarán las estaciones bases.



**Figura 3. 3: Vista de los puntos en Google Earth.**

En la siguiente tabla se muestran las coordenadas geográficas de los distintos sitios ubicados en la ciudad de Granada.

Nombre del lugar	Sitio	Latitud	Longitud
Villa	Site0	11°56'38.57"	85°57'19.29"
Calle la Libertad	Site1	11°55'56.33"	85°57'5.43"
Mercado	Site2	11°55'26.71"	85°57'15.99"
Reparto Adelita	Site3	11°54'51.79"	85°57'26.81"
Cementerio	Site4	11°55'27.67"	85°57'46.57"
Asilo de Ancianos	Site5	11°56'0.98"	85°57'49.81"

**Tabla 3. 1: Ubicación de los sitios.**

Cabe mencionar que inicialmente se colocaron 4 sitios de manera que se fueron incrementando según los resultados de las distintas pruebas que realizamos del estudio de cobertura por nivel de señal, para conocer los niveles de señales que garanticen la conexión de los usuarios a la red. Estudios planteados más adelante en el apartado 3.2.4.3

Una vez seleccionado los puntos donde estarán las estaciones bases el siguiente paso que realizaremos será la creación de un proyecto de tipo WiMAX móvil. Para ello, seleccionamos la plantilla WiMAX 802.16e (file / new/ From a Document Template), donde luego seleccionamos las coordenadas a utilizar e importamos los distintos mapas que describen la zona geográfica en la que se va a diseñar la red. Para ello, daremos click izquierdo en File /import e iremos cargando los distintos archivos index según el tipo de mapa, de las carpetas correspondiente a los mapas: Ortho, Clutter Classes, Clutter Heights y Vectors.



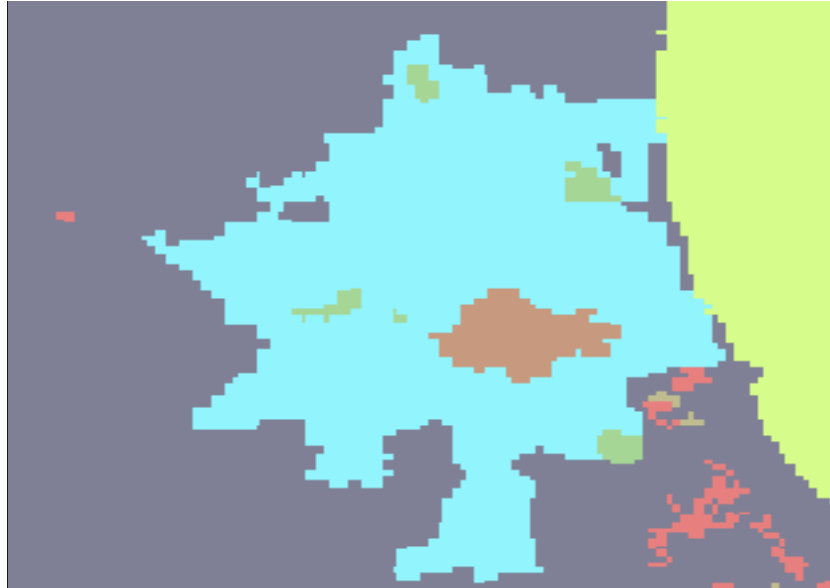
A continuación se muestra imágenes de los diferentes mapas cargados.

- Los mapas Ortho son archivos de datos geográficos que representan el entorno físico real, es decir, simplemente son imágenes o fotos de la ciudad y que se utilizan para proporcionar un fondo preciso para otros objetos o para los mapas menos precisos, que se utilizan sólo para su visualización; ya que no tienen ningún efecto en los cálculos.



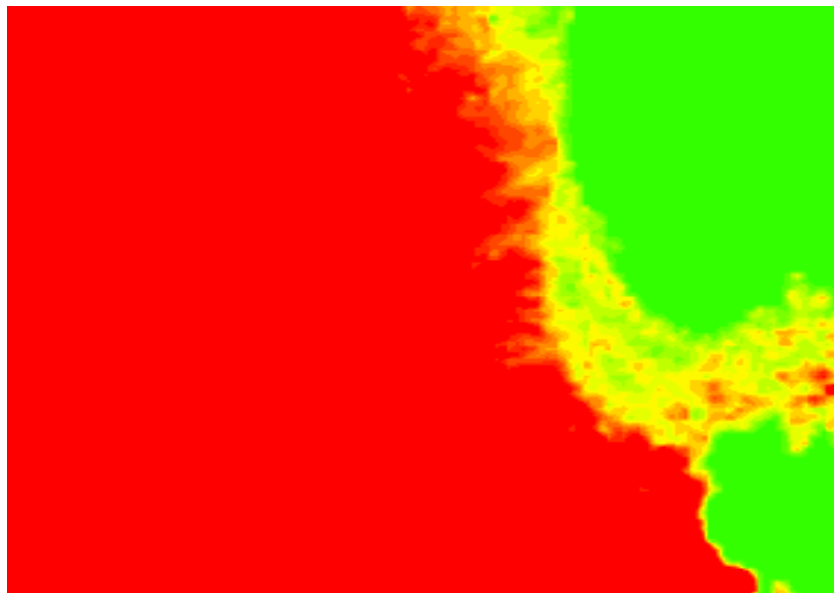
*Figura 3. 4: MAPA ORTHO.*

- Los mapas de uso del terreno (clutter classes): Muestra visualmente el uso que tiene cada zona, de forma que al posicionarnos con el cursor en un punto cualquiera nos muestra a que clase pertenece. Cada píxel en un archivo de clase clutter contiene un código (de un máximo de 256 clases posibles) que corresponde a un clutter de clase, o en otras palabras a un cierto tipo de uso de suelo.



**Figura 3. 5: MAPA CLUTTER CLASS.**

- Los mapas de altimetría representan el relieve de la zona a planificar, es un mapa importante porque contiene información topográfica del terreno. Este mapa describe la altitud de clutter en el DTM con una altura definida por píxel y puede ofrecer información más precisa.



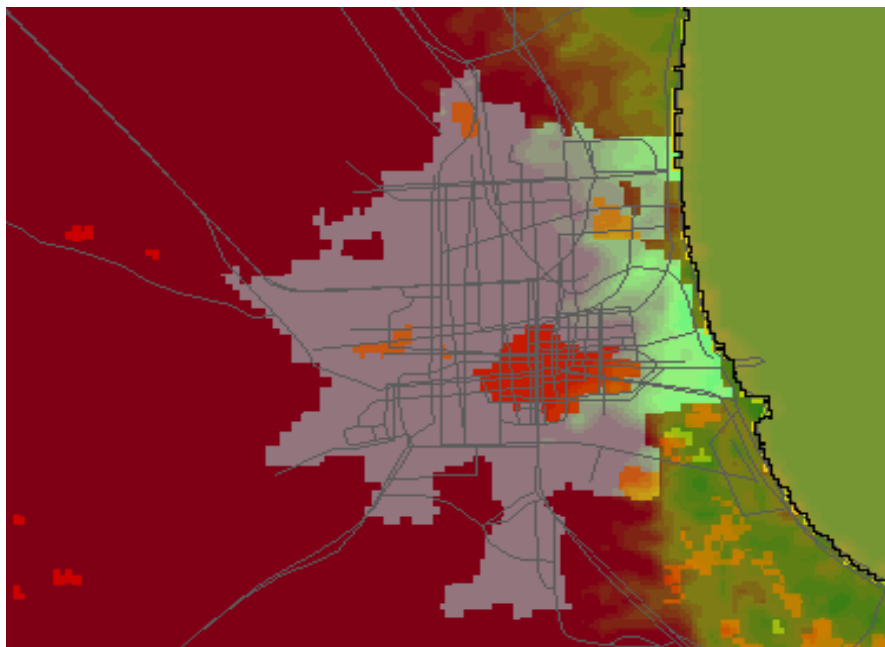
**Figura 3. 6: MAPA CLUTTER HEIGHTS.**

- Los mapas vectoriales identifican ríos, lagos, montañas, carreteras, etc. El mapa Vectors que vamos a utilizar es el que aparece en la siguiente figura.



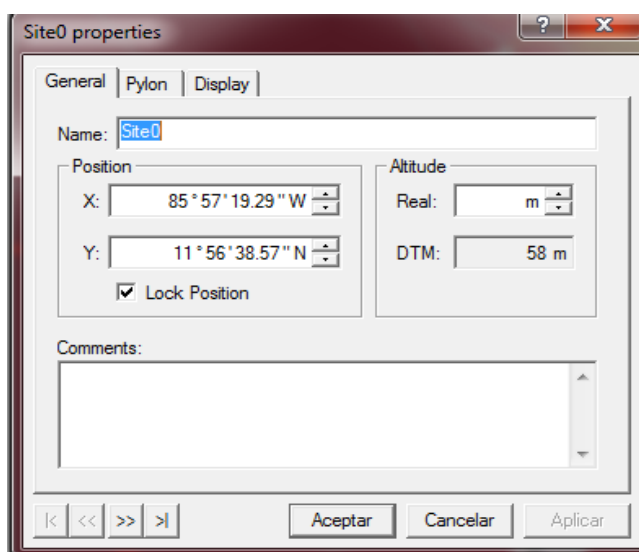
**Figura 3. 7: MAPA VECTOR.**

Una vez importados los mapas podremos visualizar las distintas capas de los distintos mapas. A continuación se muestra la figura de los distintos mapas superpuestos correspondiente a la ciudad de Granada.



**Figura 3. 8: SUPERPOSICION DE TODOS LOS MAPAS.**

Luego de haber cargado todos los mapas, se procedió a introducir las coordenadas de los distintas ubicaciones de los sitios en Atoll, para ello iremos a la ventana Explorer, seleccionamos la pestaña Data/ Site/ New, luego nos saldrá una ventana en la cual ubicaremos las coordenadas de los sitios que nos provee Google Earth. Ver figura

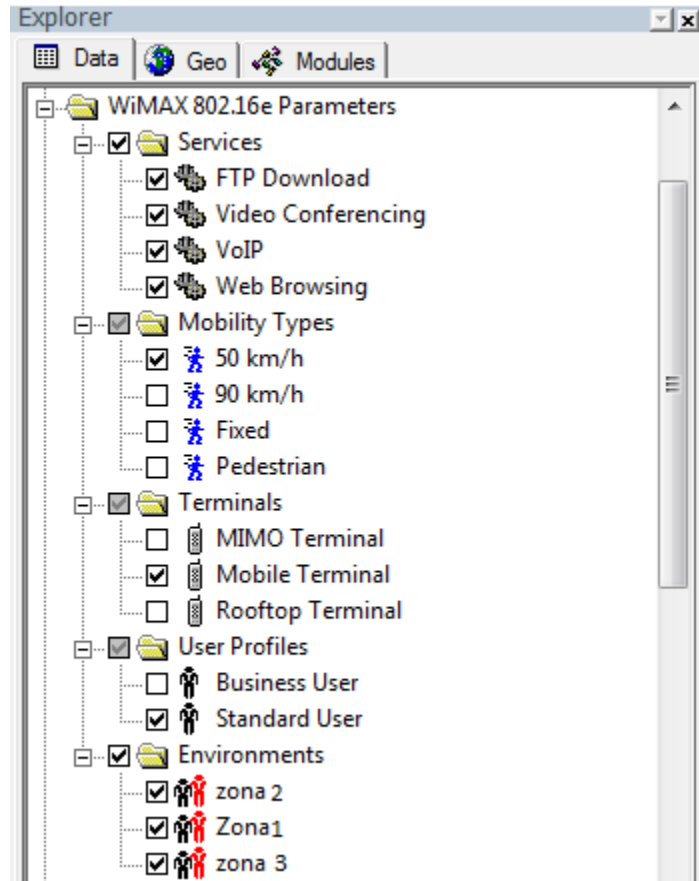


**Figura 3. 9: Colocación de coordenadas.**

### 3.2.2. Parámetros De Diseño

Una vez de haber colocado los sitios lo siguiente será, establecer el funcionamiento del sistema, es decir, vamos configurar los distintos parámetros requerido en nuestra red. Este proceso es uno de los más importantes puesto que supone la base sobre la que realizaremos las simulaciones expuestos más adelante.

A continuación se ira detallando cada una de las configuraciones a realizar y las consideraciones a tomar en cuenta para el diseño. Ver figura



**Figura 3. 10: Parámetros WiMax 802.16e.**

### 3.2.2.1. Características De Servicios

Para un análisis de prestaciones se deben de definir los servicios que se van a ofrecer, en nuestro caso serán 4 servicios:

1. FTP Download
2. Video Conferencing
3. VoIP
4. Web Browsing.

Las características consideradas para cada servicio son las que asigna Atoll por defecto, puesto que se trata de valores típicos para planificación de redes WiMax. La siguiente tabla reúne las características de los servicios utilizados.

	FTP Download	Video Conferencing	VoIP	Web Browsing
Type	Data	Voice	Voice	Data
Priority	0	1	2	0
QoS Class	Best Effort	UGS	UGS	nrtPS
Activity factor (DL)		0.5	0.6	
Activity factor (UL)		0.5	0.6	
Highest Bearer (UL)	4	4	4	4
Highest Bearer (DL)	8	8	8	8
Max. throughput demand (UL)	100 kbps	64 kbps	12.2 kbps	64 kbps
Max. throughput demand (DL)	1000kbps	64 kbps	12.2 kbps	128 kbps
Average requested throughput (UL)	10 kbps	64 kbps	12.2 kbps	32 kbps
Average requested throughput (DL)	10 kbps	64 kbps	12.2 kbps	64 kbps
Scaling factor	95 %	95 %	95 %	95 %
Offset	0 kbps	0 kbps	0 kbps	0 kbps
Body loss	0 dB	0 dB	3 dB	0 dB

**Tabla 3. 2: Características de los servicios de la Red WiMax.**

### 3.2.2.2. Movilidad

El tipo de movilidad que se selecciono fue de 50km/h esto es debido a la siguiente condicione:

Lo que se requiere es que exista movilidad y que sea posible el handover de una celda a otra, para que se logre conseguir la continuidad de cobertura entre los distintos sectores.

### 3.2.2.3. Características de la terminal

Para los distintos servicios que se ofrecen, se va a considerar un único tipo de terminal (móvil), el cual las características de esta plantilla será la que defina Atoll por defecto. Ver tabla.

Mobile Terminal	
Min power	-22
Max power	23
Noise figure	8
Losses	0
WiMax Equipment	Default WiMax Equipment
Diversity support	None

**Tabla 3. 3: características de la terminal.**

### 3.2.2.4. Características del perfil de usuario.

Mediante los perfiles de usuarios se modelaran las necesidades de la red que deben satisfacer a cada uno de los usuarios existente. Debido a que la cobertura es continua y el tipo de terminal es móvil.

Para ello seleccionaremos el perfil *Standard User* que define Atoll por defecto, en el cual están definido las especificaciones de los servicios, pero agregaremos los dos servicios que faltan ya que este solo contiene dos servicios: *Web Browsing* y *VoIP*, y para ello seleccionaremos la plantilla *User Profiles/ Standard/ Properties*. En las siguientes figuras se muestra los pasos para agregar los servicios y se adjunta la tabla de las características del perfil.

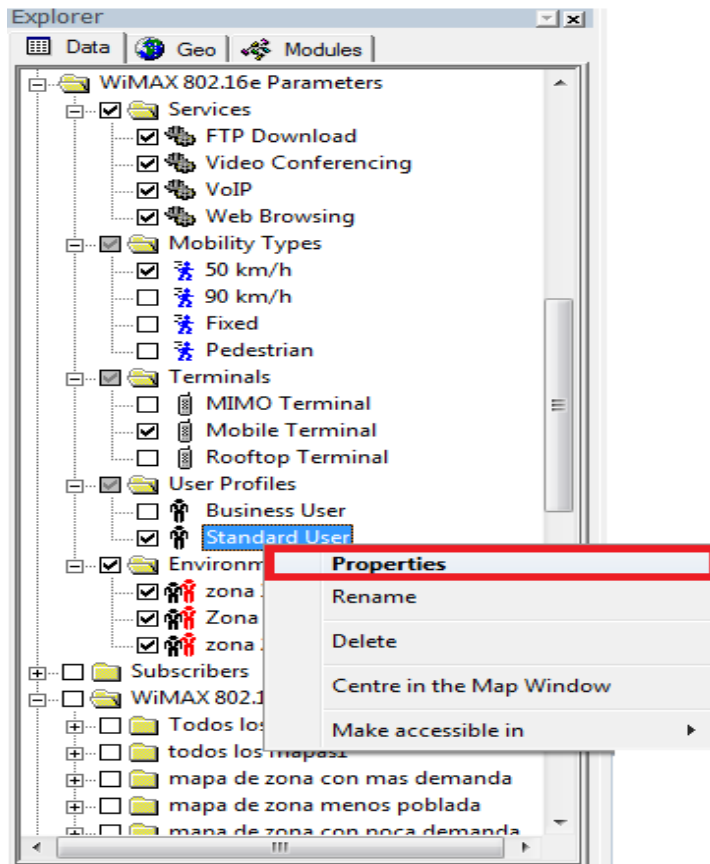


Figura 3. 11: Pasos para agregar los servicios al perfil de usuarios.

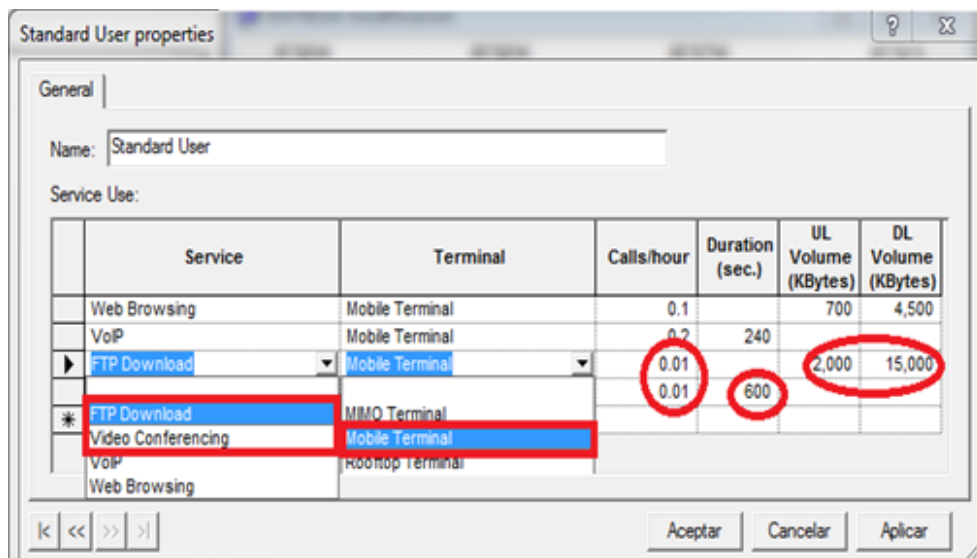


Figura 3. 12: Servicios agregados.



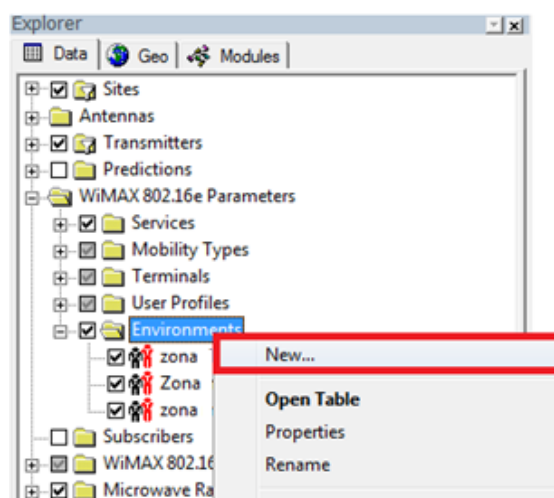
A continuación se muestran las características del perfil de usuarios para cada servicio.

Servicio	Terminal	Conexión por hora	Duración (sec.)	Volumen de datos en UL (KBytes)	Volumen de datos en DL (KBytes)
FTP Download	Mobile Terminal	0.01		2,000	15,000
Video Conferencing	Mobile Terminal	0.01	600		
VoIP	Mobile Terminal	0.2	240		
Web Browsing	Mobile Terminal	0.1		700	4,500

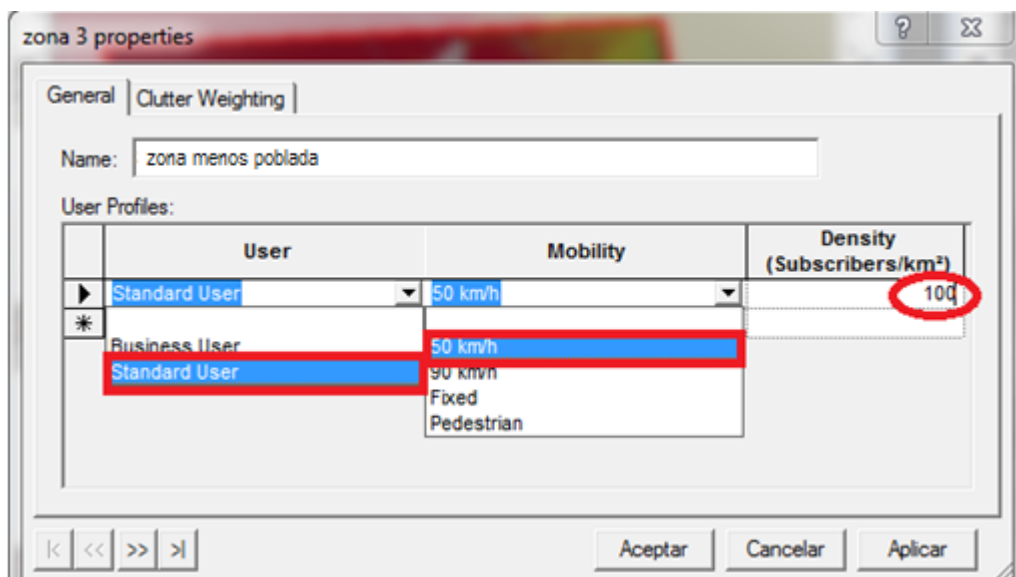
**Tabla 3. 4: características del perfil de usuarios.**

### 3.2.2.5. Consideraciones de los entornos.

Uno de los pasos importante para modelar el tráfico generado en la red es definir los entornos (Environments), con una densidad de abonados determinada para cada entorno, con el propósito de realizar el estudio de dos escenarios mostrados más adelante, para observar la demanda de servicio en la ciudad de Granada. Para ello, seleccionamos la carpeta Environments/ New e introducimos el valor indicado.



**Figura 3. 13: Creación de entornos.**



**Figura 3. 14: Características de los entornos.**

Como podemos observar al lado izquierdo de la figura 3.13, hemos creado tres entornos que corresponde a una zona específica con cierta cantidad de densidad de abonados asignados, esto se realizó para ver la capacidad de demanda de cada sitio y celdas; más adelante se mostraran las simulaciones correspondiente.

### 3.2.3. Plantilla general de transmisores

El siguiente paso es crear una copia de plantilla de transmisor existente en Atoll y modificarlo a nuestras necesidades (antes de incorporar los transmisores a los sitios), para eso daremos click izquierdo en *Data Tab/ Transmitters/ properties/ Station Template* y por ultimo sumamos la copia de la plantilla: 10MHz urban de 3 sectores, la cual lo nombramos proyecto y lo adecuamos según nuestras necesidades. Para ello debemos de tener en cuenta la banda de frecuencia en la que vamos a trabajar.

Para definir la banda de frecuencia en la que vamos a trabajar nos basaremos en frecuencias licenciadas, estos tienen una mayor ventaja ante frecuencias no licenciadas ya que el uso es exclusivo y está protegido de

interferencias externas, aunque tiene un precio potencialmente alto, bien lo vale, ya que tiene una alta calidad de servicio. [16]

Una de las frecuencias más utilizadas en Latinoamérica es la 2.5GHz [17], por lo tanto decidimos trabajar a esta frecuencia con una canalización de 10MHz. En la siguiente figura se muestran valores de: altura de la antena sobre el suelo (30mts), potencia del transmisor máximo (25db), resolución (10m) y además de un *scheduler* de algoritmo *Proportional Fair* como se muestra en la siguiente figura

**Figura 3. 15: Configuración de la plantilla Proyecto.**

### 3.2.3.1. Creación y configuración de los transmisores

Una vez hecho esto se crearon y agregaron los transmisores, para ello, iremos a la plantilla *Transmitters/ New* e iremos introduciendo valores necesario. Pero hay que tener en cuenta que los valores que se introdujeron fueron: *altura de la antena, tilt eléctrico, Modelo de la antena, modelo de propagación, Feeder, banda de frecuencia, Preamble power* y *WiMax Equipment*, los demás valores son los que incorpora Atoll por defecto. A continuación se muestra la tabla que reúne las características de las plantillas.

	Parámetros	Valor
General	Sectors	3
	Hexagon radius	0 m
	1st sector azimuth	0 °
	Height/ground	30 m
	Mechanical downtilt	0 °
	Additional electrical downtilt	5 °
	Main antenna model	120deg 14dBi 0Tilt
	Number of antenna ports (transmission)	1
	Number of antenna ports (reception)	1
	Main propagation model	Erceg-Greenstein (SUI)
	Main radius	3000 m
	Transmisores	TMA
Feeder		1/2" at 3300 MHz
Transmitter Equipment		Default BTS Equipment
Feeder length (transmission)		30 m
Feeder length (reception)		30 m
Miscellaneous losses (transmission)		0 dB
Miscellaneous losses (reception)		0 dB
Total losses (transmission)		1.31 dB
Total losses (reception)		-2.12 dB
Noise figure		4 dB
Cells Wimax	Max power	40 dBm
	Frequency band	2.5GHz – 10MHZ
	Preamble power	25db
	Proportional Fair	Scheduler
	Traffic Power Reduction (db)	3
	Idle Pilot Power Reduction	10
	WiMax Equipment	Default WiMax Equipment (DL)
	Preamble C/N threshold (db)	-4
	Max Traffic Load (UL) (%)	100 %
	Max Traffic Load (DL) (%)	100%
	Frame Configuration	FFt size 1024
Max number of neighbours (intra-technology)	16	

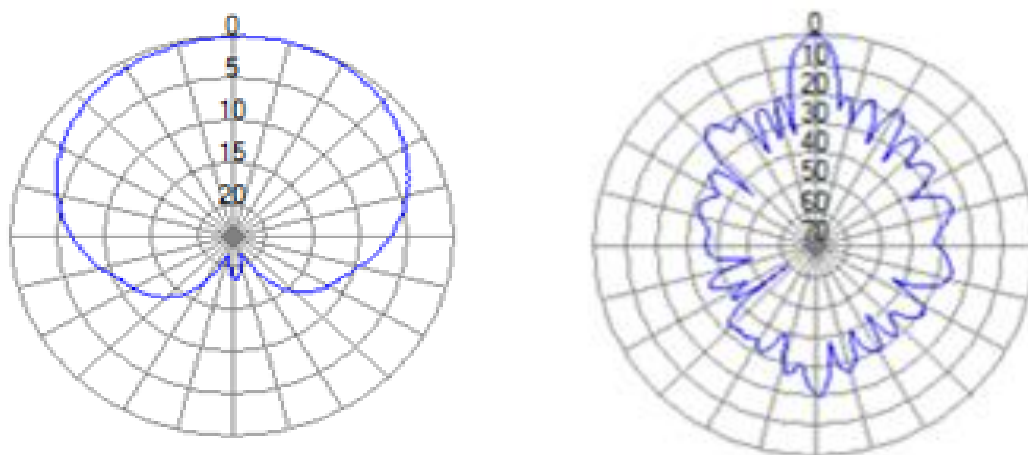
**Tabla 3. 5: Parámetros de las plantillas de cada transmisor.**

Como podemos observar dentro de las plantillas definimos el tipo de antena a utilizar el cual corresponde a la antena direccional 120deg 14dBi 0Tilt por el fabricante Kathrein que incorpora Atoll y que radiará por tres sectores. Cabe mencionar que la elección de dicha antena será con propósitos de simulaciones.

120deg 14dBi 0Tilt			
Fabricante	Ganancia (dbi)	Azimut Max. Radiación (°)	Patten Electrical Tilt (°)
Kathrein	14.5	120	0

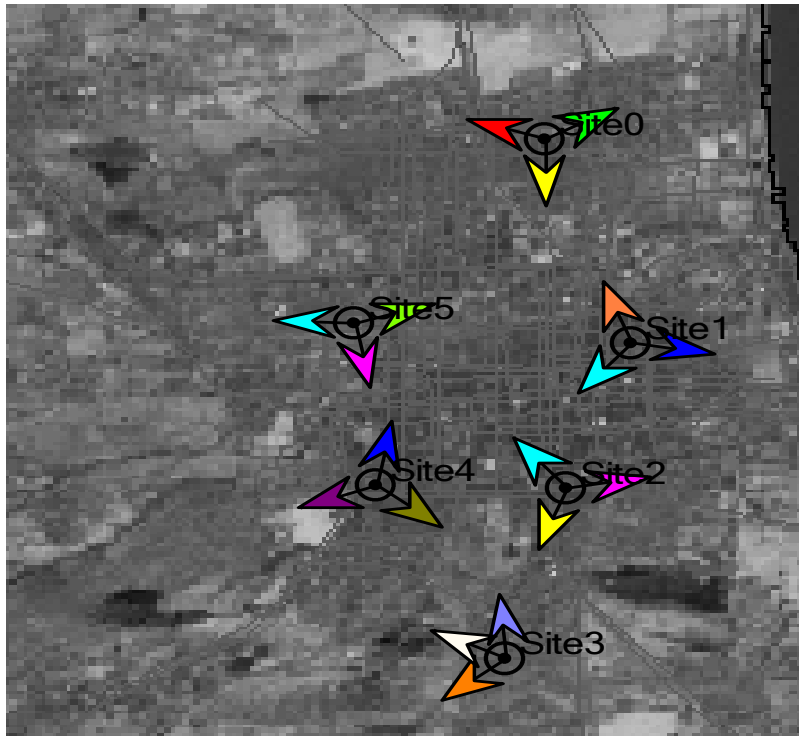
**Tabla 3. 6: Características de la antena.**

Los patrones de radiaciones de esta antena se muestran en las siguientes figuras.



**Figura 3. 16: Patrón de radiación horizontal y vertical de la antena.**

Hay que tener en cuenta que durante la realización de las simulaciones si los transmisores no cubren la zona deseada o no soporta la demanda de servicio por parte de los usuarios, se procederá a instalar nuevos transmisores y/o quitar trasmisores si es necesario. En la siguiente figura se muestran los transmisores creados.



**Figura 3. 17: Visualización de Transmisores.**

En principio podemos observar que obtuvimos un total de 18 transmisores para cubrir toda la zona en estudio, con una configuración determinada para cada uno de ellos. En la siguiente tabla se muestran los valores numéricos de su orientación.

Site	Trasmisor	Azimut (°)
Site0	Site 0-1	60
	Site 0-2	180
	Site 0-3	287
Site1	Site 1-1	100
	Site 1-2	220
	Site 1-3	340
Site2	Site 2-1	80
	Site 2-2	200
	Site 2-3	320
Site3	Site 3-1	230
	Site 3-2	295
	Site 3-3	353
Site4	Site 4-1	10
	Site 4-2	130
	Site 4-3	250
Site5	Site 5-1	71
	Site 5-2	169
	Site 5-3	273

**Tabla 3. 7: Orientación de las antenas.**

### 3.2.4. Estudios De Cobertura

Una vez configurado cada estación base y celdas que vamos a utilizar, lo siguiente será realizar estudios o predicciones de cobertura; estudios que se van a utilizar para todo el análisis de la red. Y como mencionábamos en el capítulo anterior existen varios tipos de predicciones de cobertura en ATOLL. En nuestro caso nos enfocaremos en cuatro tipos de predicciones las cuales son: Coverage by Signal Level, Coverage by Transmitter, Coverage by Throughput y Coverage by C/(I+N) Level.

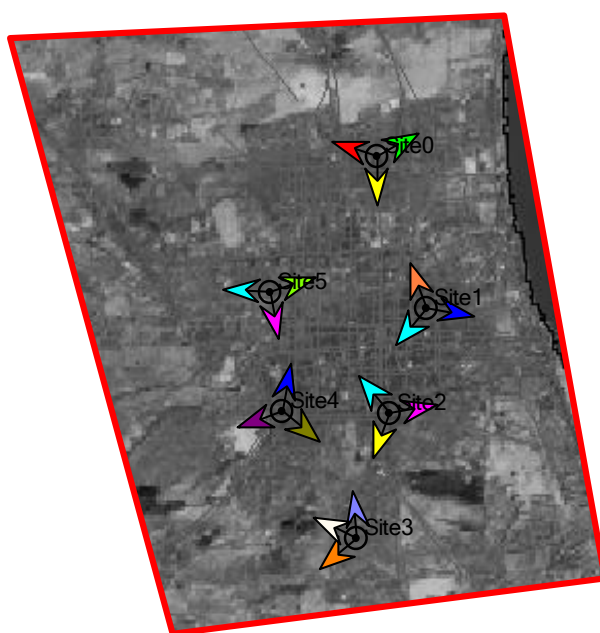


En las predicciones cada píxel del mapa en Atoll, es considerado como un usuario no interferente con un servicio, movilidad y terminal específico que se definen al momento de realizar la predicción.

Cabe destacar que los estudios de cobertura muestran los resultados para unas determinadas condiciones de cobertura. Estos estudios se basan en las matrices de pérdidas (que Atoll calcula), en el modelo de propagación elegido, el área de cálculo definida, condiciones de cobertura y en la resolución para cálculos. Tras los cálculos, Atoll muestra los resultados como una representación gráfica de los pixeles que satisfacen las condiciones de cobertura.

#### 3.2.4.1. Creación de la zona de cómputo.

Por lo tanto para las primeras predicciones lo que se hará es delimitar la zona donde se van a realizar los cálculos, ya que el mapa es extenso y el cálculo sería más dilatado, por lo tanto todo cálculo realizado será dentro de la zona de cómputo. Para poder delimitarlo lo que realizamos fue: centrar y aumentar la vista del mapa en el área de interés luego seleccionamos la ventana *Explore*, clicamos la pestaña *GEO* y pulsamos *Traffic/ New*. Ver figura



**Figura 3. 18: Creación de computation zone.**

### 3.2.4.2. Modelo De Propagación

Otro requerimiento que hay que tomar en cuenta antes de realizar los cálculos en Atoll es, que debemos seleccionar el modelo de propagación para nuestras predicciones.

Sabemos que un modelo de propagación básicamente predice lo que sucederá con la señal transmitida entre el transmisor (Tx) y el receptor (Rx). La ruta que sigue la señal desde el origen a su destino puede ser un ambiente en el cual exista línea de vista (LOS) o un ambiente con una gran cantidad de obstáculos tales como montañas, edificios o árboles. Donde las pérdidas de señal se expresan en decibeles.

En nuestro caso elegimos el modelo de propagación Erceg-Greenstein (sui), elección que se hizo con ayuda de la tabla 4.8, considerando la frecuencia en la que íbamos a trabajar, de 2.5GHz.

La Universidad de Stanford desarrollo un conjunto de modelos de canal para la simulación del fenómeno de multitrayectoria que proporciona un método simple más exacto para la estimación de las pérdidas de trayecto sobre el canal de RF en condiciones de NLOS. Con este modelo es posible predecir más exactamente la cobertura que se puede alcanzar con una estación base configurada de una manera determinada. Puesto que El grupo de trabajo del IEEE 802.16 recomienda el uso del modelo SUI para la estimación de cobertura en sistemas WiMAX. [16]

Modelo	Bandas de frecuencias	Uso recomendado
Longley-Rice (teórico)	Aprox. 40MHz	1) Superficies planas 2) Muy bajas frecuencias
ITU 370-7 Viena 93	100 - 400 MHz	1) Largas distancias ( $d < 10$ km) 2) Bajas frecuencias
ITU 526-5 (teórico)	30 - 10000 MHz	1) Receptores fijos
WLL	30 - 10000 MHz	1) Receptores fijos 2) Enlaces de microondas 3) Wimax
Okumura-Hata	150 – 1000 MHz	1) $1 < d < 20$ km 2) GSM 900 3) CDMA 2000
Cost-Hata	1500 - 2000 MHz	1) $1 < d < 20$ km 2) GSM 1800 3) UMTS
ITU 529-3	300 – 1500 MHz	1) $1 < d < 100$ km 2) GSM, CDMA
Standard Propagation	150 – 3500 MHz	1) $1 < d < 20$ km 2) GSM (900 y 1800), UMTS, CDMA 200 y WiMAX
Erceg-Greentein (SUI) Model	1900 – 6000 MHz	1) $100 \text{ m} < d < 8$ km 2) WiMAX

**Tabla 3. 8: Recomendaciones para la elección del modelo de propagación.**

Cabe mencionar que el modelo SUI clasifica el terreno en tres tipos, llamados A, B y C.

- Tipo A: Experimenta las mayores pérdidas por propagación, y corresponde a terrenos montañosos con una densidad boscosa moderada o alta.
- Tipo B: Corresponde con el término medio y comprende tanto los terrenos montañosos con una densidad boscosa baja como los terrenos planos con densidad boscosa elevada o moderada.
- Tipo C: Experimenta las menores pérdidas por propagación y corresponde a zonas planas con reducida densidad de árboles.

En nuestro caso utilizamos el tipo B. A continuación se muestra ecuación del modelo de propagación Erceg- Greenstein (SUI).

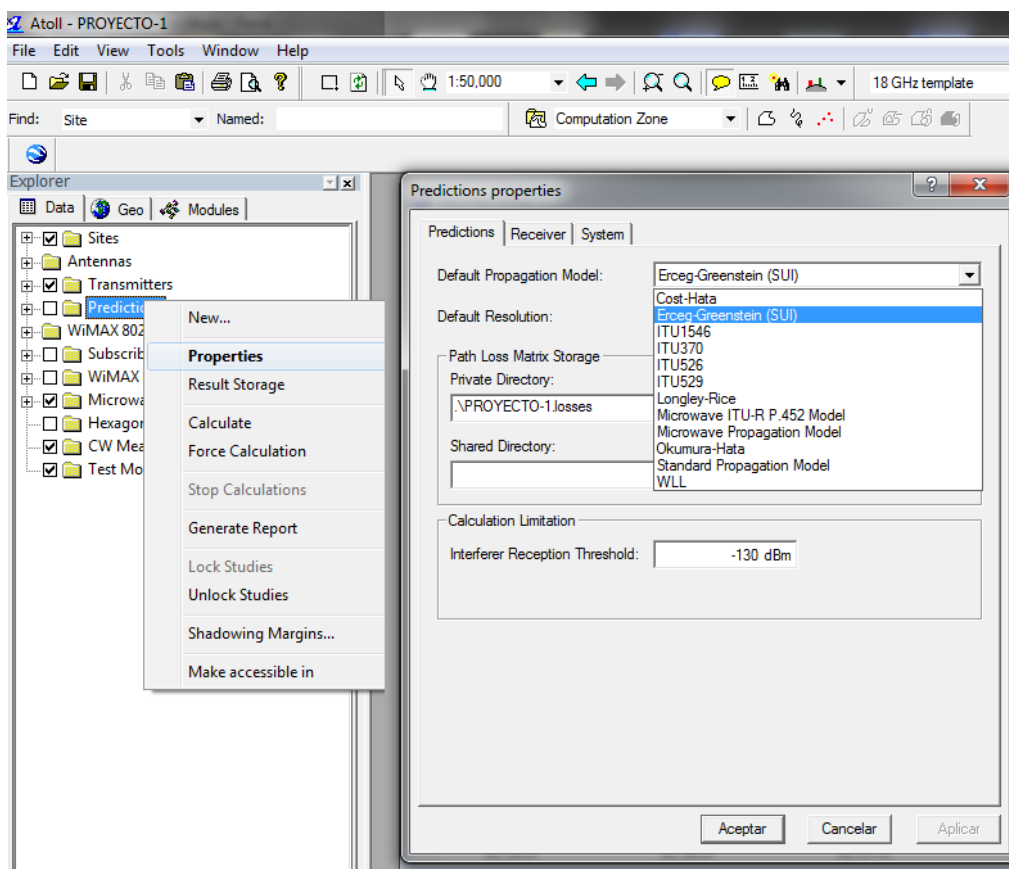
$$Lu = -7.366 + 26\log f + 10a(Hb)(1 + \log d)$$

$$a(Hb) = 4.6 - 0.0075 Hb + \frac{12.6}{Hb}$$

$$a(Hr) = 10.8\log\left(\frac{Hr}{2}\right)$$

$$Total = Lu - a(Hr)$$

Por lo tanto, para dicha selección, iremos a la ventana *data* de *Atoll*, pulsamos la plantilla *Prediction/ Properties/ Default Propagation Model* y seleccionamos el modelo a utilizar, luego en la misma ventana *Prediction properties* se define la altura del receptor, equivalente a 1.5 m. Ver figura

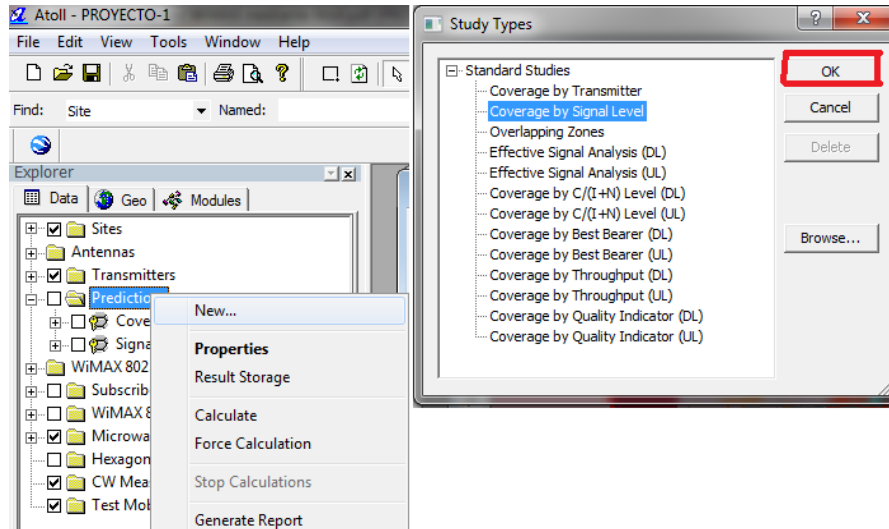


**Figura 3. 19: Modelo de propagación.**

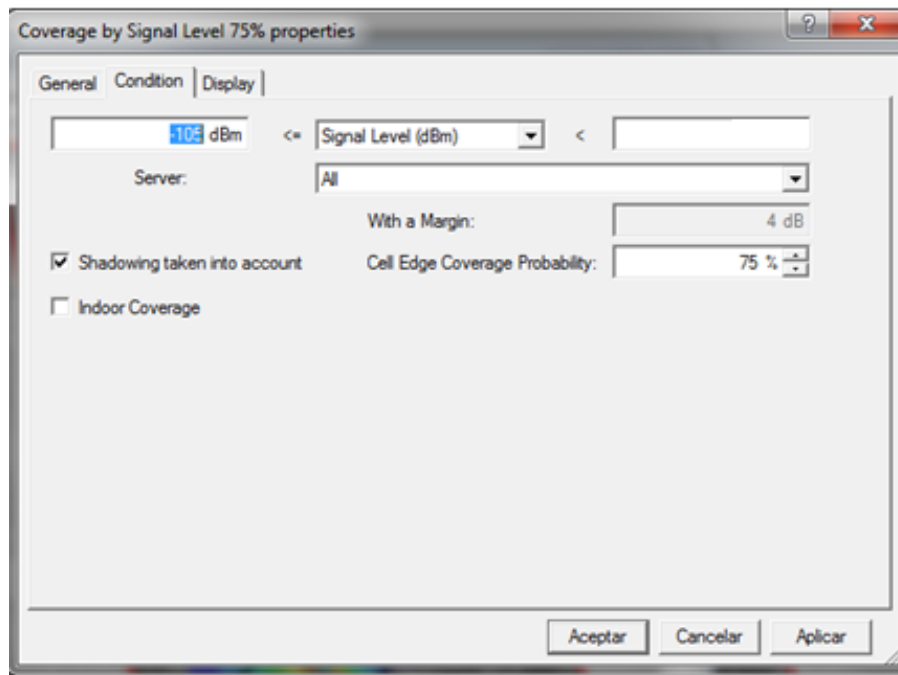
### 3.2.4.3. Estudio De Cobertura Por Nivel De Señal

En este apartado se mostraran los estudios por nivel de señal puesto que es uno de los primeros análisis que se debe realizar independiente de la carga de tráfico, con el objetivo de analizar el estado inicial de la red desde el punto de vista de las condiciones de propagación.

Tomando en consideración un valor de nivel de sensibilidad del receptor de -105dbm y una probabilidad de cobertura en la célula del 75%, para garantizar la conexión de los usuarios. Para eso creamos un nuevo estudio seleccionando la plantilla *Prediction/ New*. En las siguientes figuras muestras los pasos y características necesarias para los cálculos.

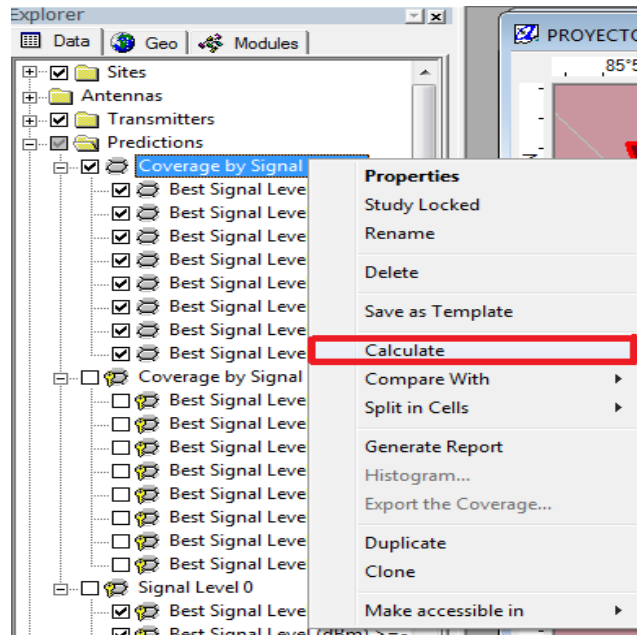


**Figura 3. 20: pasos para la creación de predicción.**



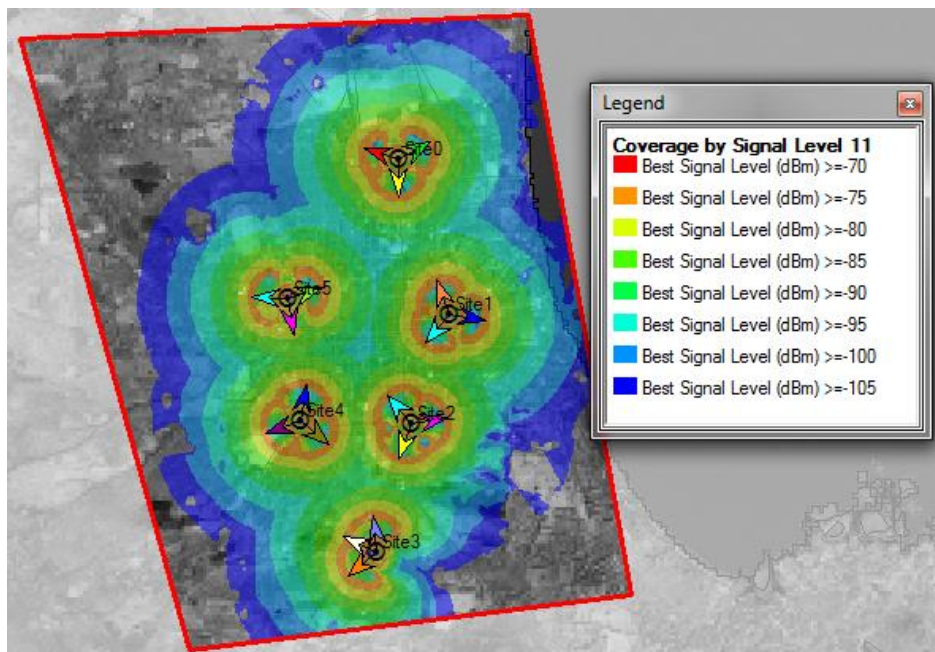
**Figura 3. 21: Definición de las características.**

Luego pulsamos el botón derecho sobre la nueva predicción y seleccionamos la opción *calculate* para que nos muestre los resultados. Ver figura.



**Figura 3. 22: Pasos para forzar el cálculo.**

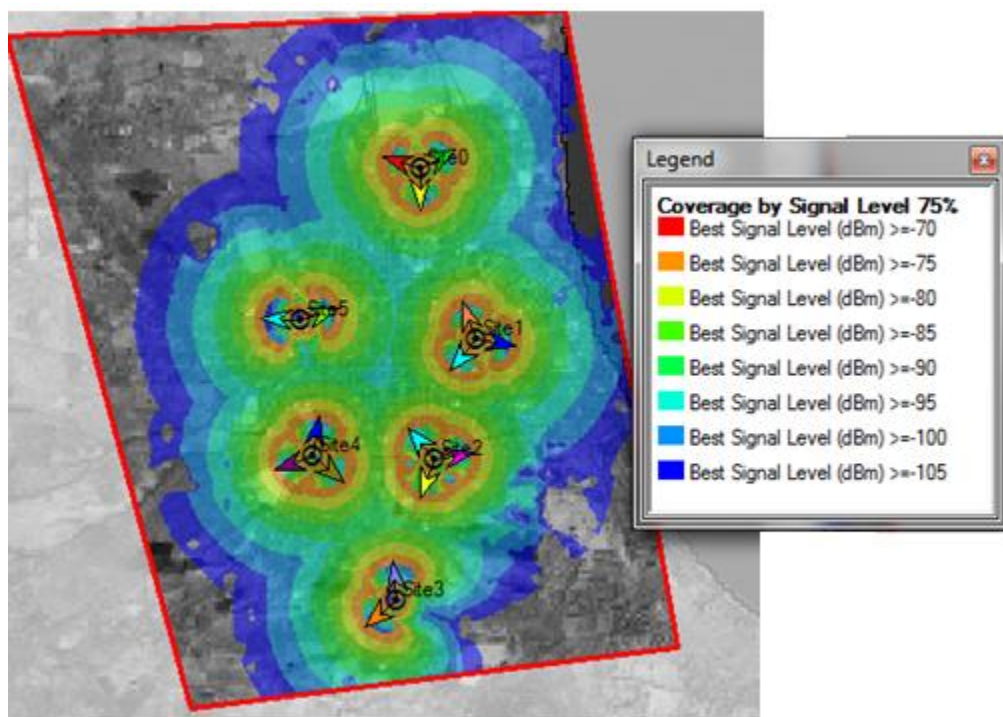
A continuación se muestra los resultados de estudio de cobertura por todos los transmisores.



**Figura 3. 23: Resultados del estudio por cobertura.**

Este estudio proporciona una representación gráfica de nivel de señal recibido por el terminal, y como podemos observar en la figura anterior, los resultados son favorables para cada sitio que cubre la zona deseada, ya que se consigue un nivel de señal mínimo de sensibilidad por encima de -90 dBm en la zona de estudio y al tomar un valor de sensibilidad de terminal móvil de -105 dBm, tenemos 15db de margen de desvanecimiento de la señal radioeléctrica, por lo que en principio el nivel de señal no debe ser un problema para nuestra red. Pero existen pérdidas debido al solapamiento de niveles de señales entre celdas, y que claramente podemos visualizar, en los transmisores 2 perteneciente al sitio3 y sitio5, y es previsible que estos transmisores están dando servicio a muchos usuarios que pueden ser asumidos por las celdas vecinas sin que su grado de saturación aumente significativamente, también se tiene que tomar en cuenta ya que puede que impliquen interferencia y gastos innecesario a la red.

Por lo tanto, basado a lo ya antes mencionado hemos eliminados dichos transmisores, quedando como resultado un total de 16 transmisores activos.

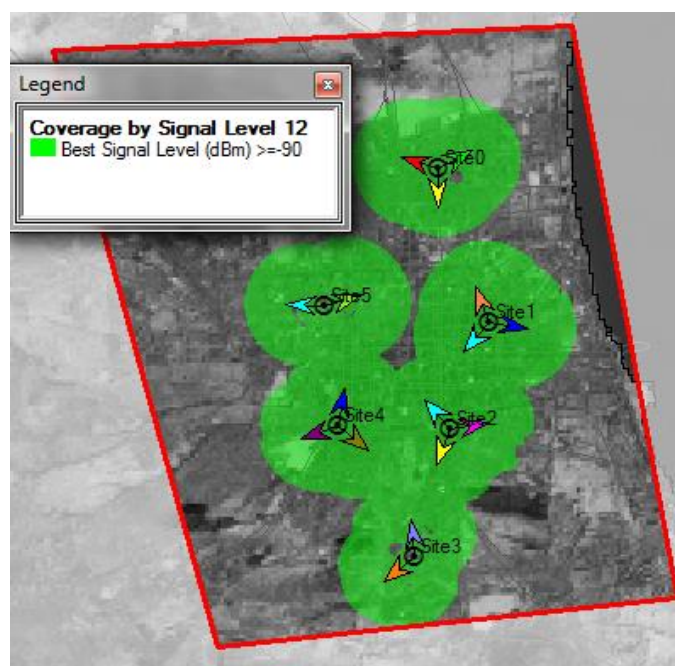


**Figura 3. 24: Cobertura por nivel de señal.**



Los resultados obtenidos para el estudio antes realizado, observamos que se consigue un nivel de señal mínimo de sensibilidad por encima de -90 dBm, pero para el nuevo estudio ante los cambios efectuados podemos observar que los resultados siguen siendo favorables puesto que conseguimos niveles de señales mínimos por encima de -90dbm igual a la primera predicción realizada, por el cual es satisfactorio para cubrir el área de interés.

En la siguiente figura se muestra que en cada uno de los puntos de acceso se tiene un nivel de -90dbm en casi la totalidad de la superficie de la zona en estudio.



**Figura 3. 25: Estudio de cobertura para un nivel de señal de -90dbm.**

Para poder ver los resultados con mayor claridad, Atoll genera informes y a partir de ellos podemos analizar qué porcentaje de la superficie cubre cada transmisor.

A continuación en las siguientes tablas se muestran los valores correspondientes a cada sitio.

Villa		
Superficie total: 1.8412 km <sup>2</sup>		
Nivel de señal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Best Signal Level (dBm) >=-75	0.1985	10.781
Best Signal Level (dBm) >=-80	0.463	25.1466
Best Signal Level (dBm) >=-85	0.8337	45.2803
Best Signal Level (dBm) >=-90	1.3289	72.1758
Best Signal Level (dBm) >=-95	1.7097	92.8579
Best Signal Level (dBm) >=-100	1.841	99.9891
Best Signal Level (dBm) >=-105	1.8412	100

Calle la libertad		
Superficie total: 1.1768 km <sup>2</sup>		
Nivel de señal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Best Signal Level (dBm) >=-75	0.2049	17.4116
Best Signal Level (dBm) >=-80	0.4358	37.0326
Best Signal Level (dBm) >=-85	0.7006	59.5343
Best Signal Level (dBm) >=-90	1.0059	85.4776
Best Signal Level (dBm) >=-95	1.166	99.0823
Best Signal Level (dBm) >=-100	1.1761	99.9405
Best Signal Level (dBm) >=-105	1.1768	100

Mercado		
Superficie total: 1.0362 km <sup>2</sup>		
Nivel de señal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Best Signal Level (dBm) >=-75	0.1865	17.9985
Best Signal Level (dBm) >=-80	0.4307	41.5653
Best Signal Level (dBm) >=-85	0.7534	72.708
Best Signal Level (dBm) >=-90	0.9598	92.6269
Best Signal Level (dBm) >=-95	1.0237	98.7937
Best Signal Level (dBm) >=-100	1.0362	100
Best Signal Level (dBm) >=-105	1.0362	100

Reparto Adelita		
Superficie total: 1.2991 km <sup>2</sup>		
Nivel de señal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Best Signal Level (dBm) >=-75	0.1404	10.8075
Best Signal Level (dBm) >=-80	0.3277	25.2252
Best Signal Level (dBm) >=-85	0.6284	48.372
Best Signal Level (dBm) >=-90	1.0051	77.3689
Best Signal Level (dBm) >=-95	1.1908	91.6635
Best Signal Level (dBm) >=-100	1.2804	98.5605
Best Signal Level (dBm) >=-105	1.2991	100

Cementerio		
Superficie total: 1.1622 km <sup>2</sup>		
Nivel de señal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Best Signal Level (dBm) >=-75	0.196	16.8646
Best Signal Level (dBm) >=-80	0.4419	38.0227
Best Signal Level (dBm) >=-85	0.7537	64.8511
Best Signal Level (dBm) >=-90	0.9891	85.1058
Best Signal Level (dBm) >=-95	1.1348	97.6424
Best Signal Level (dBm) >=-100	1.162	99.9828
Best Signal Level (dBm) >=-105	1.1622	100

Asilo de Ancianos		
Superficie total: 1.693 km <sup>2</sup>		
Nivel de señal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Best Signal Level (dBm) >=-75	0.1341	7.9209
Best Signal Level (dBm) >=-80	0.3471	20.5021
Best Signal Level (dBm) >=-85	0.6893	40.7147
Best Signal Level (dBm) >=-90	1.1691	69.0549
Best Signal Level (dBm) >=-95	1.5119	89.303
Best Signal Level (dBm) >=-100	1.6669	98.4584
Best Signal Level (dBm) >=-105	1.693	100

**Tabla 3. 9: Porcentajes de cobertura por superficie para cada nivel de señal.**

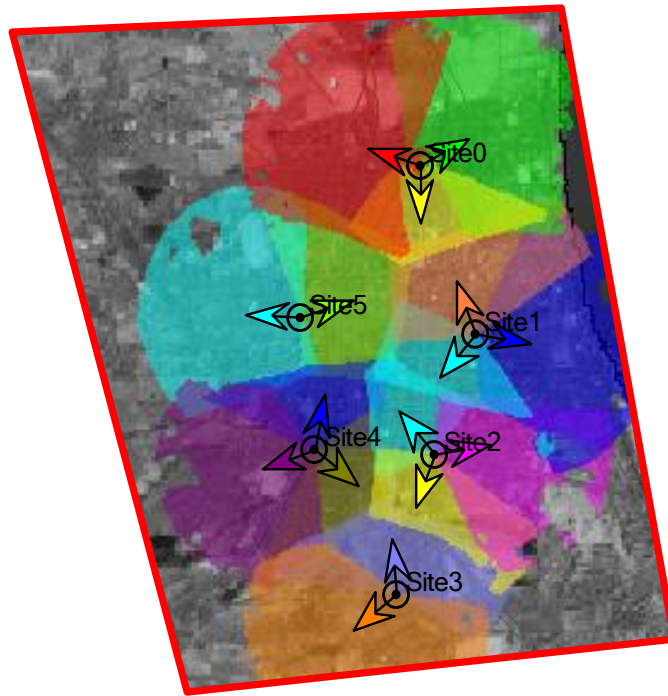
#### 3.2.4.4. Estudio de cobertura por transmisor

Luego de haber obtenido los niveles mínimos de señal necesarios para la conexión a la red de los usuarios, lo siguiente será estudiar la superficie geográfica a la que dará servicio cada transmisor.

Por lo tanto para este estudio, Atoll permite seleccionar diferentes colores para cada transmisor donde la simulación realizada marcará la zona de cobertura de cada transmisor, de esta manera se ha ido alternando para tratar de que no coincidiesen transmisores adyacentes del mismo color, por lo cual Atoll considera que cada punto geográfico de nuestras zonas de interés recibirá servicio de red por parte del sector (de una determinada estación base) cuya señal radioeléctrica transmitida llegue con el mayor nivel de potencia a dicho emplazamiento.

Para determinar las superficies que ocupará cada sector, iremos a la plantilla *Prediction/ New*, pero esta vez seleccionaremos el tipo de cobertura, que será por *coverage by trasmitter* y así calcularemos la superficie que ocupara cada sector.

El nivel de señal mínimo para que los usuarios sean capaces de conectarse a la red, será el mismo valor que utilizamos para el estudio por nivel de señal de -105dbm. La siguiente figura muestra los resultados de la capacidad de todos los sectores.



**Figura 3. 26: Cobertura por transmisor.**

Para poder ver los resultados con mayor claridad, Atoll genera informes y a partir de ellos podemos analizar qué porcentaje de la superficie cubre cada transmisor. Ver tablas.

GENERAL		
Superficie total: 14.0192 km <sup>2</sup>		
Cobertura por transmisor	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Site0_3	1.9591	13.9744
Site0_2	0.8979	6.4048
Site0_1	1.8127	12.9301
Site1_3	1.0374	7.3999
Site1_2	0.6094	4.3469
Site1_1	1.6659	11.883
Site2_1	1.1117	7.9298
Site2_2	0.7136	5.0902
Site2_3	0.4807	3.4289
Site3_1	1.3884	9.9036
Site3_2	1.1154	7.9562
Site4_3	1.471	10.4928
Site4_2	0.6501	4.6372
Site4_1	0.6593	4.7028
Site5_3	1.8136	12.9365
Site5_1	1.084	7.7323

Villa		
Superficie total: 1.8442 km <sup>2</sup>		
Transmisor	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Site0_3	0.6308	34.2045
Site0_2	0.776	42.0779
Site0_1	0.8587	46.5622
Site1_3	0.2097	11.3708
Site1_1	0.0462	2.5052
Site5_1	0.0389	2.1093

Calle la Libertad		
Superficie total: 1.1768 km <sup>2</sup>		
Transmisor	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Site0_2	0.0537	4.5632
Site1_3	0.6336	53.8409
Site1_2	0.4008	34.0585
Site1_1	0.4076	34.6363
Site2_3	0.037	3.1441
Site4_1	0.0126	1.0707
Site5_1	0.1746	14.8368

Mercado		
Superficie total: 0.362 km <sup>2</sup>		
Transmisor	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Site1_2	0.1309	12.6327
Site1_1	0.0815	7.8653
Site2_1	0.5154	49.7394
Site2_2	0.3331	32.1463
Site2_3	0.3687	35.5819
Site3_2	0.0063	0.608
Site4_2	0.0352	3.397
Site4_1	0.0113	1.0905



Reparto Adelita		
Superficie total: 1.2993 km <sup>2</sup>		
Transmisor	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Site2_1	0.0108	0.8312
Site2_2	0.1215	9.3512
Site3_1	0.7473	57.5156
Site3_2	0.6735	51.8356
Site4_2	0.0336	2.586

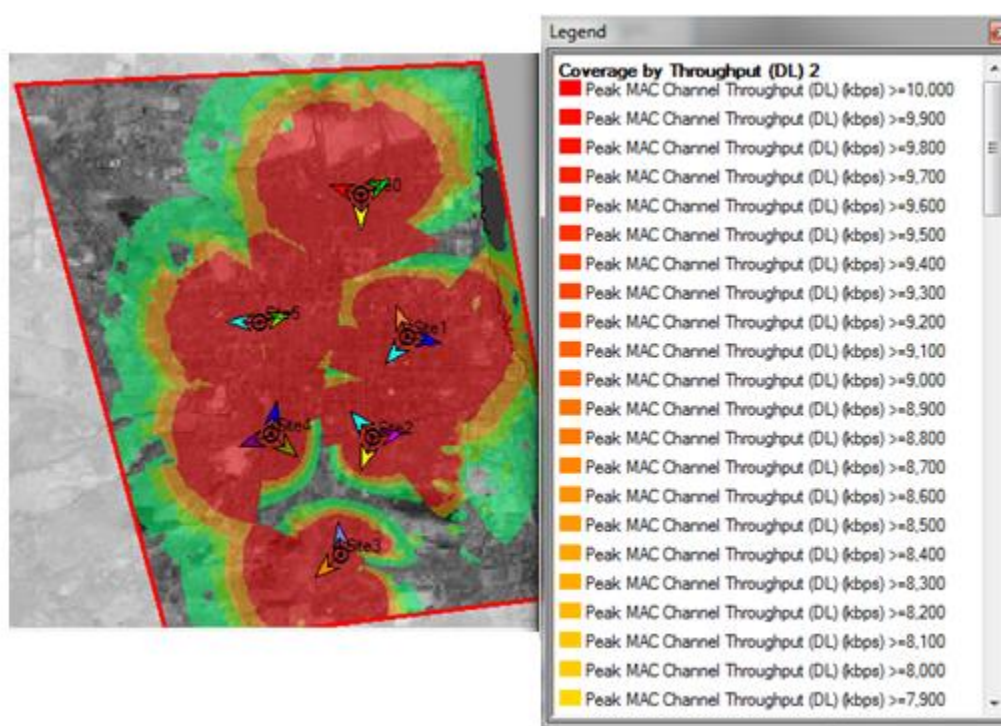
Cementerio		
Superficie total: 1.1622 km <sup>2</sup>		
Transmisor	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Site2_2	0.0035	0.3012
Site2_3	0.0337	2.8997
Site3_2	0.0019	0.1635
Site4_3	0.6484	55.7907
Site4_2	0.3831	32.9633
Site4_1	0.4398	37.842
Site5_3	0.0138	1.1874
Site5_1	0.0005	0.043

Asilo de Ancianos		
Superficie total: 1.0042 km <sup>2</sup>		
Transmisor	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Site0_3	0.0169	0.9991
Site0_2	0.0146	0.8631
Site1_2	0.0035	0.2069
Site2_3	0.0126	0.7449
Site4_3	0.0608	3.5944
Site4_1	0.1916	11.3272
Site5_3	1.054	62.3116
Site5_1	0.7141	42.217

**Tabla 3. 10: Porcentajes de cobertura por superficie para cada transmisor.**

### 3.2.4.5. Estudio De Cobertura Por Throughput

Otro tipo de predicción que realizamos fue por nivel de cobertura por Throughput. Por medio de este estudio podremos ver cuál es el nivel de señal máximo y tasa de transmisión en la red, pero para ello, tenemos que definir ciertas características como: qué tipo de terminal utilizamos, movilidad del usuario, servicio que se le brinda a cada usuario y condiciones de carga. Cabe mencionar que para el presente estudio, las condiciones de carga no se asignan porque no hemos simulado la demanda de tráfico en la red. A continuación se muestra resultado para dicho estudio.



**Figura 3. 27: Cobertura por Throughput (DL).**

Como podemos observar, del estudio realizado, Atoll presenta los resultados de forma gráfica. Dado los transmisores en la zona de estudio, los niveles de señal que podemos esperar en todo el sistema, son valores favorables para la red, ya que se encuentra por encima a los 7Mbps.

### 3.2.5. Simulaciones

En este punto se va a estudiar el comportamiento y capacidad de nuestra red WiMAX, ante un caso real.

Una vez detallados los parámetros de entrada tomando en consideraciones las características requeridas para la modelación de la red y estudios de cobertura para conocer el estado inicial de la red que dará servicio a los suscriptores, el último paso que resta para culminar la planificación radio de la red será mostrar el comportamiento de todo el sistema en una situación cercana a la realidad.

En el proceso de optimización de nuestra red necesitaremos estudiar la capacidad de nuestro sistema, teniendo en cuenta distribuciones reales de usuarios y la demanda de servicios generados.

En las simulaciones, Atoll asigna a cada usuario un servicio, un tipo de movilidad y un terminal según los perfiles de usuario definidos. La situación geográfica de cada usuario generado en la simulación es determinada aleatoriamente.

Este estudio lo desarrollaremos en dos escenarios: Inicialmente, vamos a determinar el número máximo de usuarios que admitiría cada estación base, con la configuración inicial de un único transmisor por sector y posteriormente, veremos el comportamiento de toda la red ante una densidad de usuarios real. Por lo tanto para el segundo escenario tuvimos que considerar el total de habitantes del área urbana de la ciudad y calcular el 1% de dicha población bajo ciertas condiciones que serán expuestas más adelante.

Estos escenarios son planteados por medio de simulaciones que permiten entender la forma en que Atoll genera diversos resultados para ver el comportamiento de la red. Esto lo haremos utilizando mapa de tráfico como fuente de datos, y que forma parte de la optimización de la red WiMax en ATOLL, al

igual que, la asignación de vecinas, la planificación de frecuencias y la asignación de preamble indexes.

### 1. Simulación de Monte Carlo

Hay que tener claro que una simulación Monte Carlo permite tener una instantánea del desempeño de una red obteniendo así datos como distribución geográfica de los usuarios con sus respectivas demandas de tráfico, la asignación de los recursos a cada uno de los usuarios simulados y las cargas de tráfico de las celdas. En los escenarios que tengan ambientes multi-usuarios, usamos este tipo de simulación.

### 2. Mapas de tráfico

Como mencionábamos para estudiar los aspectos de tráfico es necesario usar mapas de tráfico donde esté definida la densidad de dicho tráfico generada por los usuarios. Esta densidad no será la misma en una zona menos poblada que en una zona densamente poblada, ya que en esta última la demanda de tráfico será mucho más alta. Este mapa no fue suministrado, por lo que ha sido necesario generarlo a partir del mapa de uso del terreno.

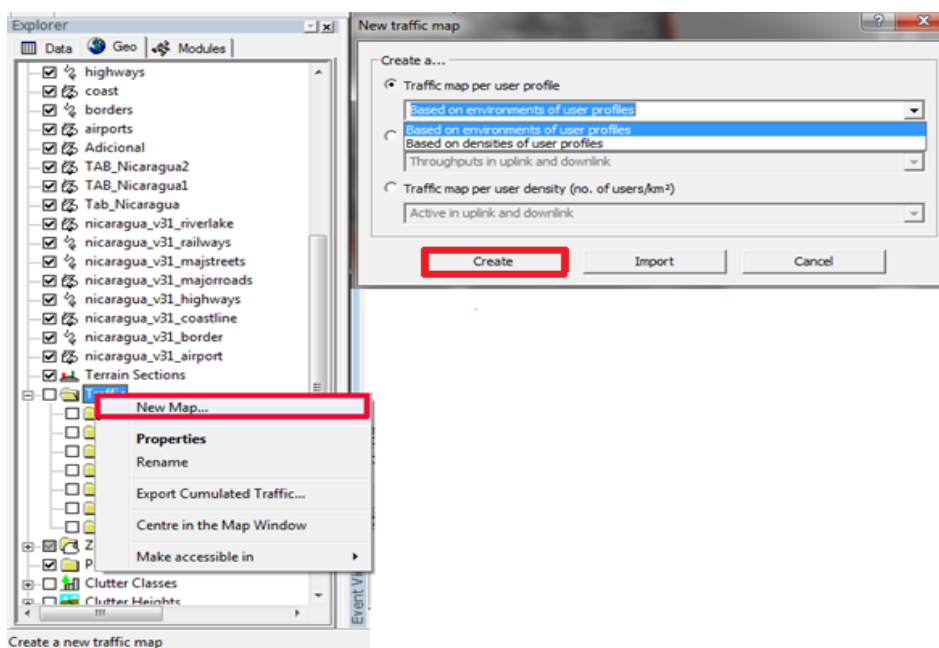
Atoll provee 3 tipos de mapas de tráfico, las cuales son:

- Mapa de tráfico por sector.
- Mapa de tráfico por perfil de usuario.
- Mapa de tráfico por densidad (número de usuarios por km<sup>2</sup>).

Nosotras utilizaremos mapas de tráfico por perfil de usuarios. Dentro de esta opción, existen dos parámetros de mapa: basados en el ambiente del perfil de usuario y en densidades de perfil de usuarios, nosotras utilizaremos el primero, porque este tipo de mapa describe el comportamiento de diferentes tipos de usuarios, es decir que, en las simulaciones, Atoll asigna a cada usuario un servicio, un tipo de movilidad y un terminal según los perfiles de usuario definidos.

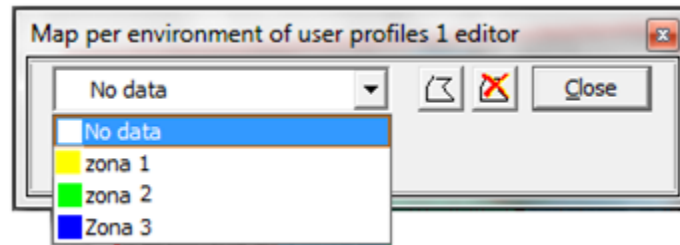
Donde la situación geográfica de cada usuario generado en la simulación es determinada aleatoriamente. Y el estado de la transmisión se determina según la probabilidad de conexión. Este parámetro, es un resultado importante de las simulaciones, puesto que tiene una implicación directa en la gestión de los recursos radio, y además, tiene relación con el nivel de interferencia en la red.

Para ello, iremos a la ventana *Explorer*, seleccionamos la pestaña *Geo/Traffic/ New Map*, luego veremos una ventana, como se muestra en la siguiente figura.



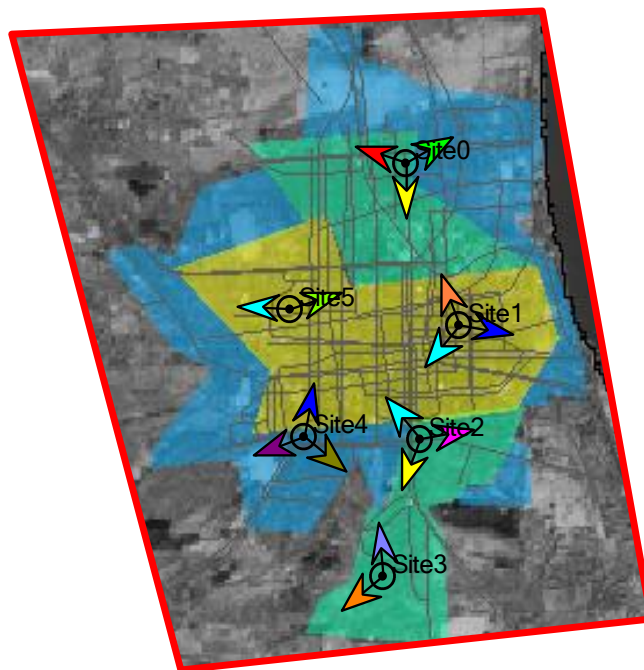
**Figura 3. 28: Creación de un mapa de tráfico.**

Luego de haber pulsado la opción *Create*, aparece una barra de herramientas con los entornos definidos para delimitar cada zona de interés que definirá el mapa de tráfico.



**Figura 3. 29: Asignación del entorno al mapa de tráfico.**

A continuación en la siguiente figura se muestra mapas de tráfico para cada entorno, con propósito de estudio de demanda de tráfico por los usuarios de cada sector.



**Figura 3. 30: Mapas de tráfico.**

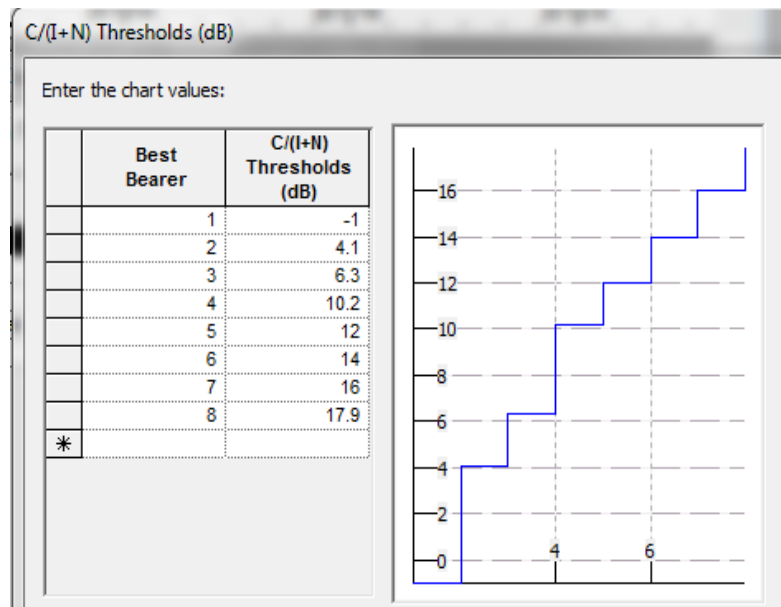
De este modo se creó mapas de tráfico acorde a objetivos de cobertura por cada zona de la ciudad, basadas en el estudio de campo realizado en la ciudad y por los entornos (*Environments*) creados con anterioridad. Las densidades de usuarios para cada *entorno* fueron modificadas dependiendo de los objetivos de cada simulación.

La Tabla 3.11 reúne las características de los entornos. Cabe destacar que los valores de densidades inicialmente para cada simulación realizada son menores o iguales a los valores indicados a continuación. Y que de ser diferentes, serán mencionados en las simulaciones respectivas donde hayan sido modificados.

Environments	User Profile	Mobility	Density (subscribers/km2)
Zona 3	Standard User	50Km/h	150
Zona 2	Standard User	50Km/h	300
Zona 1	Standard User	50Km/h	400

**Tabla 3. 11: Características de los entornos.**

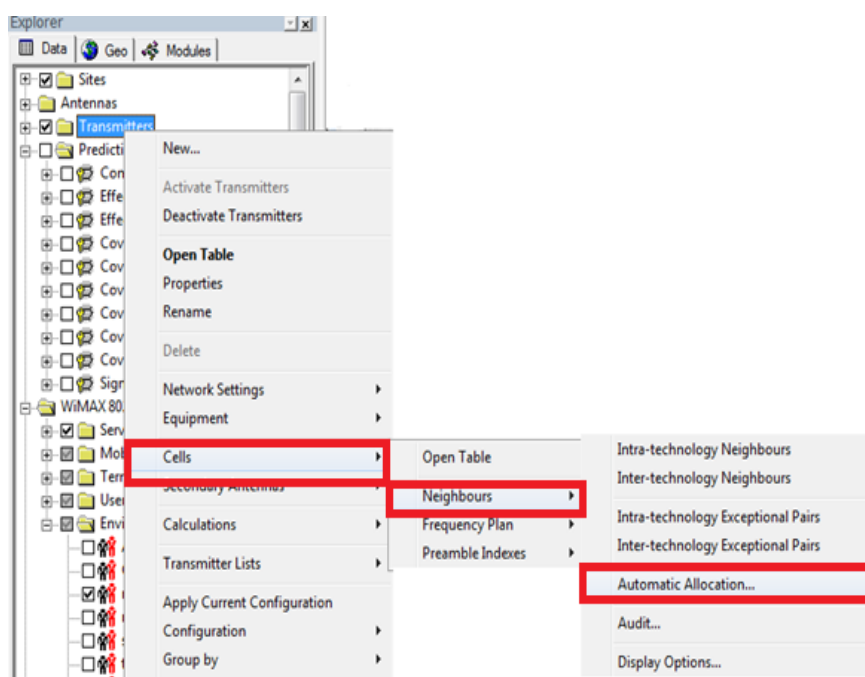
Sin embargo los umbrales de selección de los diferentes servicios portadores radio (Bearer Selection Thresholds) están definidos en ATOLL. En el desarrollo de este proyecto no se modificaron los umbrales. No obstante, cabe destacar que ATOLL permite modificar los umbrales de selección de Radio Bearers para cada movilidad independientemente, así como agregar otros tipos de usuarios con distintas movilidades dentro de cada entorno definido. Ver figura.



**Figura 3. 31: Bearer selection thresholds para todas las movilidades de la Red.**

### 3. Asignación De Vecinas

Se realizó una asignación automática de vecinas estableciendo un número máximo de 16 vecinas para la misma tecnología (Intra-technology) con una distancia máxima entre vecinos de 3000 m. Se impuso que el algoritmo realizara los cálculos considerando shadowing para una probabilidad de cobertura del 75% en el borde de la celda, un margen de histéresis (RSRP Margin) de 5 dB entre la zona de cobertura de la celda servidora y las celdas vecinas y un porcentaje del 10 % de solape (% Min Covered Area) entre las celdas servidora y vecina para ser consideradas vecinas.

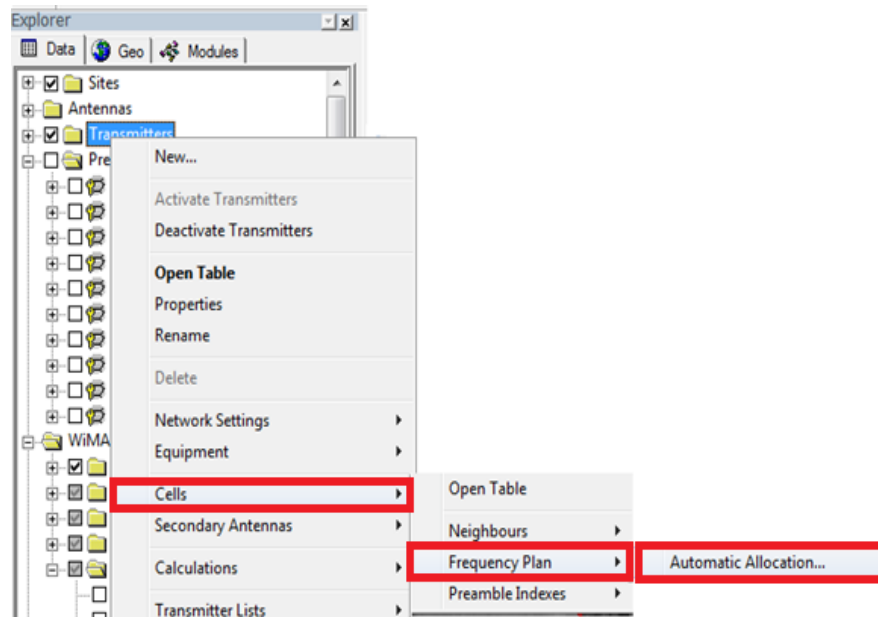


**Figura 3. 32: Pasos para la asignación de vecinas.**

### 4. Planificación de frecuencias

Se realizó una planificación automática de frecuencias tomando en cuenta la asignación de las vecinas realizada previamente. Con esta planificación se reducen las interferencias.

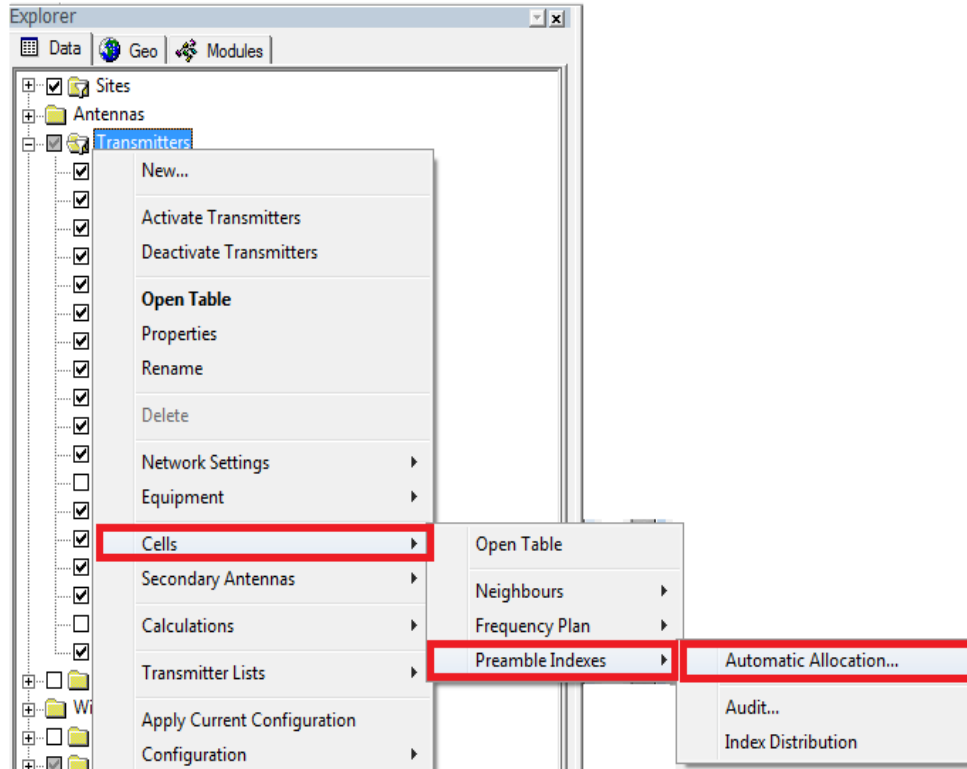




**Figura 3. 33: Pasos para la planificación de frecuencia.**

#### 5. Planificación de preamble indexes.

El índice de preámbulo de la celda de servicio es simplemente el número de la PN (pseudo ruido) secuencia recibido con la mayor potencia. El índice de preámbulo proporciona el número de segmento (0, 1, o 2), los índices de preámbulo deben asignarse de manera inteligente a celdas con el fin para evitar interferencias innecesarias en el preámbulo. En nuestro caso realizaremos una planificación automática de preamble indexes. Ver figura

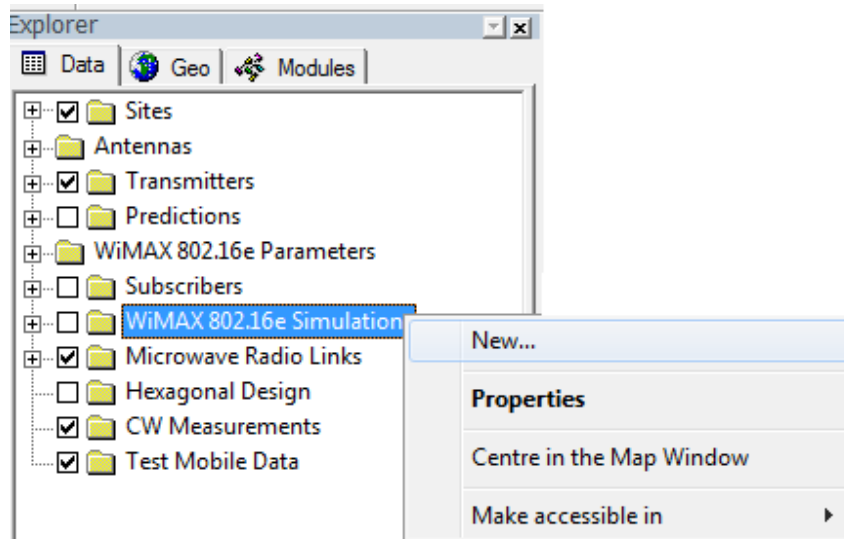


**Figura 3. 34: Pasos para la planificación de preamble indexes.**

Una vez generados todos los mapas de tráfico y configuraciones necesarias, pasaremos a realizar las simulaciones expuestas en dos escenarios.

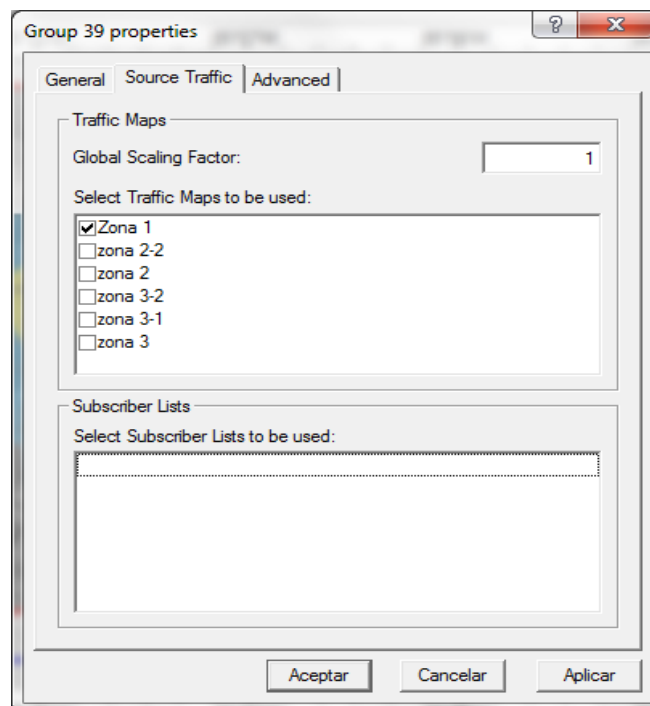
### 3.2.5.1. Escenario 1

Como mencionábamos en este escenario vamos a determinar el número máximo de usuarios que admitiría cada estación base. Para dar validez estadística a los resultados, consideramos un grupo de 10 simulaciones para eliminar en parte la aleatoriedad de las simulaciones en Atoll. A fin de dar un promedio de los usuarios que tienen acceso y el desempeño efectivo de la red. Para ello, seleccionamos la pestaña Data de la ventana Explorer. Pulsamos el botón derecho sobre la carpeta *WiMAX Simulations*. Seleccionamos la opción *New* y nos aparecerá una nueva ventana en la que definimos las propiedades de la nueva simulación.



**Figura 3. 35: Creación de simulaciones.**

En la pestaña *Source Traffic* seleccionamos los mapas de tráfico que queremos utilizar en la simulación, y los demás campos los dejamos con los valores por defecto que define Atoll.



**Figura 3. 36: Elección de los mapas de tráfico a utilizar en la simulación.**

Para efectuar la simulación partiremos de una densidad inicial de usuarios baja por cada entorno e iremos incrementándola hasta que obtengamos la capacidad (en el enlace descendente) máxima del sector en estudio. Una vez logremos la congestión del transmisor, veremos el número de usuarios pidiendo conexión en cada momento que nos proporcionan las simulaciones. De esta forma, sabremos el número de usuarios que pueden estar conectados simultáneamente en cada sitio. Notar, que este número máximo de usuarios se obtendrá para los hábitos de utilización definidos en el apartado 3.2.2.4

Por lo tanto lo que haremos será delimitar la zona para cada transmisor en estudio, donde todo cálculo realizado será dentro de la zona de cómputo. A continuación se muestran coordenadas de cada zona de cómputo.

Transmisor	Coordenadas de cada zona	
Site 0_1	85°57'25.17"W 85°56'43.2"W 85°56'40.27"W 85°57'24.44"W 85°57'25.17"W	11°57'5.87"N 11°57'0.53"N 11°56'23.48"N 11°56'21.92"N 11°57'5.87"N
Site 1_1	85°57'14.12"W 85°56'26.05"W 85°56'40.27"W 85°57'15.71"W 85°57'14.12"W	11°55'41"N 11°55'35.22"N 11°56'23.48"N 11°56'22.34"N 11°55'41"N
Site 2_1	85°57'17.62"W 85°56'32.16"W 85°56'48.91"W 85°57'25.18"W 85°57'17.62"W	11°55'41.43"N 11°55'36.51"N 11°55'3.44"N 11°55'11.32"N 11°55'41.43"N
Site 3_1	85°57'53.28"W 85°57'6.96"W 85°57'7.72"W 85°57'39.62"W 85°57'53.28"W	11°54'33.95"N 11°54'29.49"N 11°54'55.3"N 11°55'1.9"N 11°54'33.95"N
Site 4_1	85°58'16.6"W 85°57'20.63"W 85°57'24.25"W 85°58'18.01"W 85°58'16.6"W	11°55'57.57"N 11°55'50.07"N 11°55'20.79"N 11°55'26.16"N 11°55'57.57"N
Site 5_1	85°58'3.49"W 85°57'15.44"W 85°57'16.56"W 85°57'56.79"W 85°58'3.49"W	11°55'54.95"N 11°55'41"N 11°56'27.07"N 11°56'25.49"N 11°55'54.95"N

**Tabla 3. 12: Resultados de un único transmisor por cada sector.**

Las densidades de abonados iniciales para cada entorno utilizado por los transmisores en estudios son los siguientes mostrados en la tabla.

Transmisor	Densidad de Abonados	Entornos	Perfil de usuario	Movilidad
Site 0_1	150	Zona 3	Standard User	50Km/h
	250	Zona 2		
Site 1_1	100	Zona 3	Standard User	50Km/h
	200	Zona 2		
	350	Zona 1		
Site 2_1	50	Zona 3	Standard User	50Km/h
	300	Zona 2		
	400	Zona 1		
Site 3_1	400	Zona 2	Standard User	50Km/h
Site 4_1	80	Zona 3	Standard User	50Km/h
	300	Zona 1		
Site 5_1	20	Zona 3	Standard User	50Km/h
	100	Zona 2		
	300	Zona 1		

**Tabla 3. 13: Extensión del perfil de usuarios.**

A continuación se van a detallar los resultados obtenidos para cada uno de los transmisores que componen nuestro estudio.

Sitio	Transmisor	Tráfico de carga (DL)%	N° medio de usuarios conectados
Site0	Site 0_1	50.26	16
Site1	Site 1_1	82.97	29
Site2	Site 2_1	48.65	18
Site3	Site 3_1	62.71	22
Site4	Site 4_1	56.29	20
Site5	Site 5_1	76.11	28

**Tabla 3. 14: Resultados de un único transmisor por cada sector**

Podemos observar claramente que los transmisores (en el enlace de bajada) son capaces de soportar a más usuarios. Por el cual aumentaremos la extensión de las densidades de usuarios para cada *entorno*. Observar la siguiente tabla.

Transmisor	Densidad de Abonados	Entornos	Perfil de usuario	Movilidad
Site 0_1	250	Zona 2	Standard User	50Km/h
	400	Zona 1		
Site 1_1	100	Zona 3	Standard User	50Km/h
	200	Zona 2		
	450	Zona 1		
Site 2_1	120	Zona 3	Standard User	50Km/h
	450	Zona 2		
	600	Zona 1		
Site 3_1	550	Zona 2	Standard User	50Km/h
Site 4_1	150	Zona 3	Standard User	50Km/h
	500	Zona 1		
Site 5_1	20	Zona 3	Standard User	50Km/h
	150	Zona 2		
	400	Zona 1		

**Tabla 3. 15: Extensión del perfil ante nuevos cambios.**

En la siguiente tabla se muestran resultados del tráfico de carga en el enlace descendente ante los cambios realizados. Ver tabla

Sitio	Transmisor	Tráfico de carga (DL)%	Nº medio de usuarios conectados
Site0	Site 0_1	76.64	24
Site1	Site 1_1	89.71	38
Site2	Site 2_1	78.09	29
Site3	Site 3_1	75.89	26
Site4	Site 4_1	97.35	39
Site5	Site 5_1	97.18	36

**Tabla 3. 16: Resultados de la carga de tráfico ante nuevos cambios.**

Ante los nuevos resultados podemos observar que los transmisores tienen la capacidad de soportar a más usuarios, y que se consigue conectar a 192 usuarios, con una tasa de rechazo menor del 2%. En el caso de los sitios 4 y 5 la capacidad máxima de tráfico en el enlace descendente es cercana al 100%, por lo tanto procedimos a aumentar la densidad de abonados para que las condiciones de carga en el transmisor 1 de cada estación base de cada sitio sean cercanas al 100% y de esta manera podremos observar la máxima capacidad de las celdas.



Transmisor	Densidad de Abonados	Entornos	Perfil de usuario	Movilidad
Site 0_1	350	Zona 2	Standard User	50Km/h
	550	Zona 1		
Site 1_1	120	Zona 3	Standard User	50Km/h
	300	Zona 2		
	500	Zona 1		
Site 2_1	200	Zona 3	Standard User	50Km/h
	600	Zona 2		
	650	Zona 1		
Site 3_1	850	Zona 2	Standard User	50Km/h
Site 4_1	200	Zona 3	Standard User	50Km/h
	700	Zona 1		
Site 5_1	100	Zona 3	Standard User	50Km/h
	200	Zona 2		
	400	Zona 1		

**Tabla 3. 17: Últimos cambios realizados de la densidad (Subscribers/km<sup>2</sup>).**

Sitio	Transmisor	Tráfico de carga (DL)%	N° medio de usuarios conectados
Site0	Site 0_1	90.56	37
Site1	Site 1_1	97.16	45
Site2	Site 2_1	95.14	38
Site3	Site 3_1	89.13	36
Site4	Site 4_1	98.53	51
Site5	Site 5_1	98.22	38

**Tabla 3. 18: Condiciones de carga cercana al 100% por cada transmisor.**

Como mencionábamos los resultados obtenidos están bajo condiciones de carga próximas al 100% de cargas de tráfico en el enlace de bajada (Downlink). Con una tasa de rechazo de conexión menor al 5%, lo que implicará que los sectores se encuentren congestionados impidiendo que se puedan conectar más usuarios. Además, dentro de esa tasa de rechazo también se situarán los usuarios cuya relación señal a interferencia-ruido esté por debajo de cero. A pesar de que se tiene una tasa de rechazo de conexión próxima al 5%, los resultados son favorables puesto que apenas existe rechazo de usuarios. El total medio de usuarios pidiendo conexión con la configuración inicial de un único transmisor por sector es de 245, por lo cual, basado en los resultados podemos ver que no será necesario colocar nuevos sitios. A continuación veremos la capacidad en toda la red.

### 3.2.5.2. Escenario 2

En este apartado vamos a ver el comportamiento de toda la red ante un caso real.

Realizaremos el estudio de la capacidad de la red para un porcentaje de utilización del 1% de la población de la ciudad de granada para las edades de 14 a 64 años de edad, obteniendo un total de usuarios existente de, 857 usuarios pidiendo conexión en un instante determinado. Por lo tanto para este escenario se ha tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

1. No todos los usuarios van a estar presentes simultáneamente en los diferentes sectores.
2. Sólo una porción de los usuarios se conectará a la red (no se conectarán todos en el mismo intervalo de tiempo).
3. Existirá una pequeña parte de clientes que posean el servicio puesto que es un diseño nuevo.

Por tanto, inicialmente no existirá una gran cantidad de usuarios que vayan a conectarse a la red WiMAX, por lo que vamos a realizar el estudio para dicho porcentaje. Obviamente, estas condiciones de carga serán más exigentes que las condiciones en funcionamiento normal (Escenario 1), puesto que habrá instantes en los que estarán conectados todos los usuarios y momentos en los que el número de usuarios conectados sea inferior.

Para realizar la simulación procedimos a realizar los pasos antes mostrados para el primer escenario, consideramos un grupo de 10 simulaciones para eliminar en parte la aleatoriedad de las simulaciones en Atoll.

En la siguiente tabla se puede observar el número de usuarios que existirán en toda la zona de interés y así observar que si el sistema es capaz de soportar la conexión simultánea de los suscriptores existentes.

Entornos	Densidad (subscribers/km <sup>2</sup> )
Zona 1	100
Zona 2	350
Zona 3	700

**Tabla 3. 19: Extensión del perfil**

Los resultados obtenidos de carga de tráfico en el DL para cada sitio en toda la red de acceso, se muestra en la siguiente tabla.

Transmisor	Carga de tráfico (DL) (%)	Carga de tráfico (UL) (%)	Nivel de ruido (dB)
Site 0-1	49.53	3.07	1.13
Site 0-2	56.83	2.68	4.95
Site 0-3	29.03	0.86	3.08
Site 1-1	73.27	4.35	17.43
Site 1-2	62.87	3.3	0.84
Site 1-3	83.66	7.35	0.96
Site 2-1	53.87	2.73	2.72
Site 2-2	32.1	1.11	21.89
Site 2-3	40.3	3.22	11.75
Site 3-1	37.79	3.56	1.75
Site 3-2	38.85	1.51	18.99
Site 4-1	30.81	1.56	0.05
Site 4-2	24.24	0.81	12.35
Site 4-3	54.52	6.02	5.06
Site 5-1	91.61	6.26	0.82
Site 5-2	97.38	6.63	2.17

**Tabla 3. 20: Resultados de carga tráfico en el DL.**

El resultado de las simulaciones muestra que el total de usuarios en el enlace descendente es de 279, con un total de 10 usuarios no conectados, equivalente al 3.6%. Y Como podemos observar en la tabla antes mostrada, existe la posibilidad de que nuevos usuarios puedan conectarse a la red.

Debido a lo ya antes mencionado lo que procedimos a realizar, fue aumentar la extensión del perfil de usuarios. Ver tabla

Entornos	Densidad (subscribers/km <sup>2</sup> )
Zona 1	300
Zona 2	500
Zona 3	800

**Tabla 3. 21: Extensión del perfil ante nuevos cambios.**

Como se puede observar en la tabla antes mostrada aumentamos el número de densidad de abonados para cada entorno. A continuación se muestra los resultados ante los cambios efectuados.

Transmisor	Carga de tráfico (DL) (%)	Carga de tráfico (UL) (%)	Nivel de ruido (dB)
Site 0-1	78.68	4.72	2.03
Site 0-2	64.82	4.02	5.99
Site 0-3	69.71	3.32	10.84
Site 1-1	88.9	5.07	9.2
Site 1-2	77.78	3.99	0.38
Site 1-3	100	6.37	1.09
Site 2-1	65.43	3.8	3.32
Site 2-2	38.38	1.39	15.94
Site 2-3	47.73	3.15	10.87
Site 3-1	44.91	3.12	0.63
Site 3-2	49.36	2.14	16.04
Site 4-1	46.47	1.96	3.18
Site 4-2	45.69	2.27	14.94
Site 4-3	63.09	5.39	4.71
Site 5-1	100	8.02	2.76
Site 5-2	98.12	7.71	7.85

**Tabla 3. 22: Resultados de carga tráfico.**

El resultado ante las simulaciones realizadas corresponde a un total medio de usuarios pidiendo conexión de 373, con un total de 15 usuarios rechazados, equivalente al 4.2%. Podemos observar que algunos transmisores poseen condiciones de carga igual o próxima al 100%, no haciendo posible que algunos usuarios puedan conectarse a la red en estos sectores. Pero como hemos indicado con anterioridad lo que queremos obtener es la capacidad máxima del sistema. Basado en los resultados, aún existe la posibilidad de agregar más subscriptores a la red.

A continuación se presenta el tercer cambio efectuado en la extensión de los perfiles con el propósito de ver como es el comportamiento de la red ante una extensión mayor a los realizados anteriormente.

Entornos	Densidad (subscribers/km <sup>2</sup> )
Zona 1	700
Zona 2	1100
Zona 3	1800

**Tabla 3. 23: Extensión del perfil.**

Ante los cambios efectuados, en la tabla 4.24 mostraremos los resultados obtenidos.

Transmisor	Carga de tráfico (DL) (%)	Carga de tráfico (UL) (%)	Nivel de ruido (dB)
Site 0-1	100	7.14	4.71
Site 0-2	100	14.11	17.6
Site 0-3	100	8.6	11.26
Site 1-1	100	29.47	14.45
Site 1-2	100	17.92	4.65
Site 1-3	100	25.91	2.35
Site 2-1	100	7.63	16.37
Site 2-2	98.24	10.18	15.51
Site 2-3	100	8.47	13.02
Site 3-1	100	6.48	3.11
Site 3-2	99.43	5.79	15.55
Site 4-1	100	12.83	0.04
Site 4-2	95.69	8.18	28.97
Site 4-3	100	19.15	13.04
Site 5-1	100	34.17	8.14
Site 5-2	100	22.14	2.31

**Tabla 3. 24: Resultados de carga tráfico**

Ante los nuevos resultados, observamos que la capacidad en el enlace de bajada (Downlink) es máxima, obteniendo un total de 1067 usuarios pidiendo conexión y con un total de 51 usuarios rechazados equivalente al 4.8%. Esto quiere decir que se ha asignado todos los recursos disponibles en el downlink y por lo tanto la red no tendrá la capacidad de aceptar a más usuarios, al contrario del uplink aún quedan recursos de forma que el enlace de subida podría aceptar a más usuarios.

A pesar de que el sistema se encuentra a su máxima capacidad, podemos reseñar que las probabilidades de rechazo que se obtienen se encuentran dentro

de un margen aceptable, ya que en todos los casos se tiene una probabilidad de rechazo de conexión inferior al 7%.

Podemos comparar los resultados obtenidos del escenario 1 (configuración inicial a un transmisor por sector) y escenario 2 (caso real). Vemos que la capacidad para el escenario 1 muestra una visión de la capacidad máxima en el sistema y lo podemos observar en el escenario 2 puesto que los resultados obtenidos son los esperados, ya que obtuvimos un total de 1067 usuarios pidiendo conexión.

Por tanto, podemos concluir que en las simulaciones presentadas en este capítulo somos capaces de conseguir que se conecten a la red 1016 usuarios de los usuarios inicialmente en objetivo (857 usuarios de la población). Además, hemos de tener en cuenta que el número de usuarios presentes en nuestra red fluctuará excesivamente a lo largo de los años, puesto que el número de usuarios cada año puede que aumente. Por este motivo, se considera que es necesario el sobredimensionamiento para atender futuras demandas, ya que este sobredimensionamiento inicial incrementaría los costes de implantación de la red WiMAX diseñada.

### 3.2.5.3. Resultados por distribución de usuarios según el estado de conexión

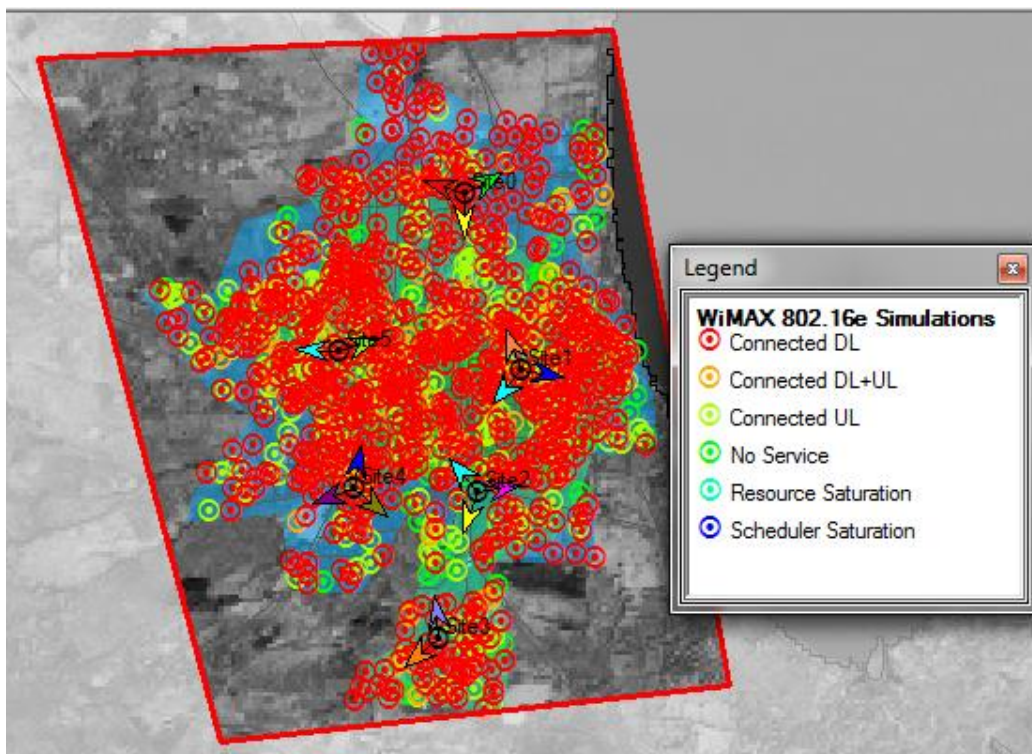
La distribución de usuarios según el estado de la conexión, obtenida a partir de la última simulación realizada con anterioridad. Los usuarios se consideran conectados en caso de presentar una conexión activa en cualquiera de los dos enlaces o inclusive en ambos (*Connected DL*, *Connected UL* y *Connected DL+UL*).

Por el contrario, pueden considerarse no conectados (rechazados) por diversos motivos:

- Inactividad (*Inactive*).



- Falta de cobertura (*No Coverage*).
- No alcanzar una  $C/(I+N)$  suficiente para utilizar el radio *bearer* en el sentido en que desea conectarse.
- Que la capacidad de *throughput* del terminal (dependiente de su categoría) no sea suficiente como para alcanzar el mínimo *throughput* demandado por el usuario (*No Service*).
- El móvil no es seleccionado por el *scheduler* para la asignación de recursos (*Scheduler Saturation*)
- Todos los recursos de la celda fueron usados para los demás usuarios, o porque el mínimo *throughput* *uplink* es superior al *throughput* alcanzado utilizando los recursos asignados al usuario (*Resource Saturation*).



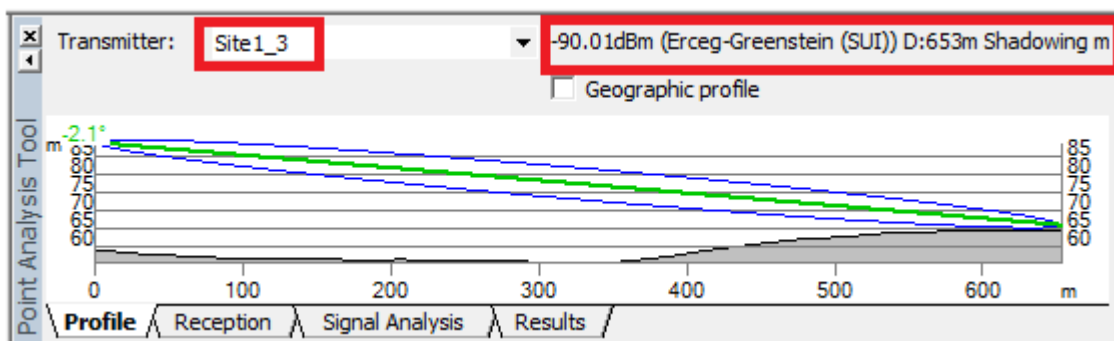
**Figura 3. 37: Distribución de usuarios por estado de conexión.**

Se puede observar a simple vista que la mayor parte de los usuarios están conectados en el enlace Downlink y que un número mínimo de usuarios son rechazados (sin servicio).

También con la herramienta llamada Point Analysis Tool podremos observar los resultados del balance de potencia entre estos dos puntos, el usuario y la estación base que brinda el servicio a dicho usuario. La figura nos muestra el escenario.



**Figura 3. 38: Link Budget.**

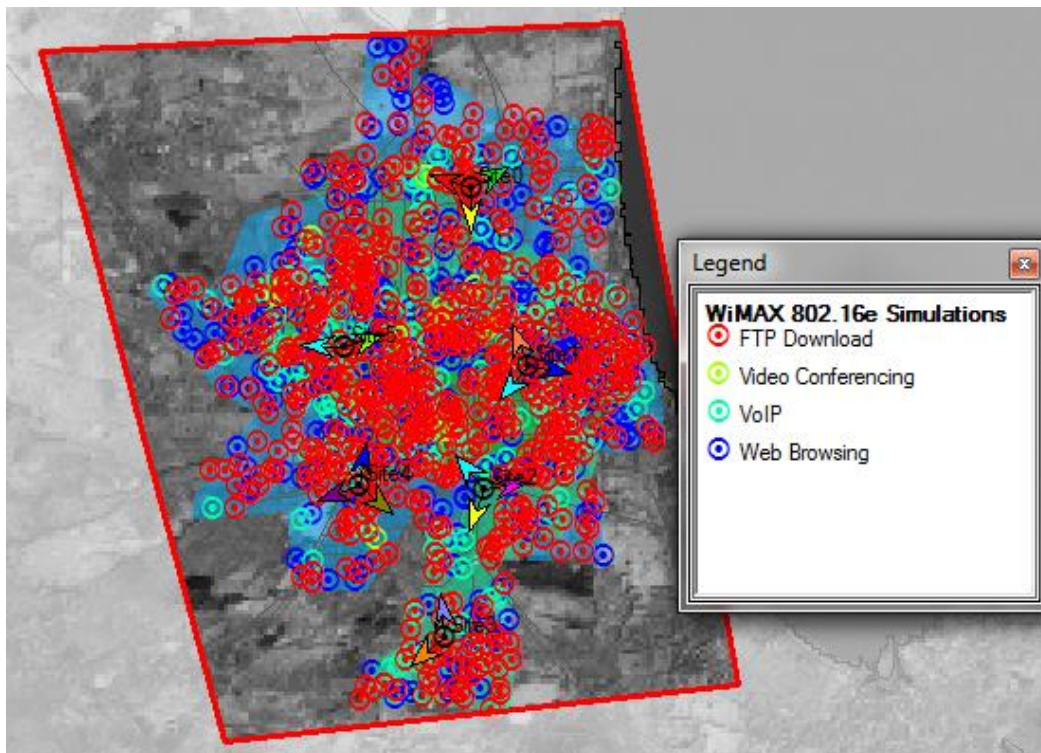


**Figura 3. 39: Zona de Fresnel.**

Aquí se muestra los datos de la señal recibida, el margen de probabilidad de cobertura en el borde de la celda, modelo de propagación utilizado, y distancia emisor-receptor.

#### 3.2.5.4. Distribución de usuario por servicio en uso

En este apartado describiremos la distribución de usuarios según el servicio que estén utilizando. Además se indican los valores de *Peak MAC User Throughput* y *Effective MAC User Throughput* y *Application User Throughput*. La figura muestra el estado de conexión por servicio y se adjunta una tabla con sus respectivas distribuciones.



**Figura 3. 40: Distribución de usuarios por servicio.**

A simple vista se observa que el servicio más utilizado por los usuarios de la red es el de FTP (*FTP Downloading*), seguido por el servicio de navegación (*Web Browsing*), y por último los servicios de voz (VoIP), y video conferencia (*Video Conferencing*) en este orden.

A continuación se muestra la tabla las distribuciones de los usuarios según el servicio demandado en los enlaces uplink y downlink.

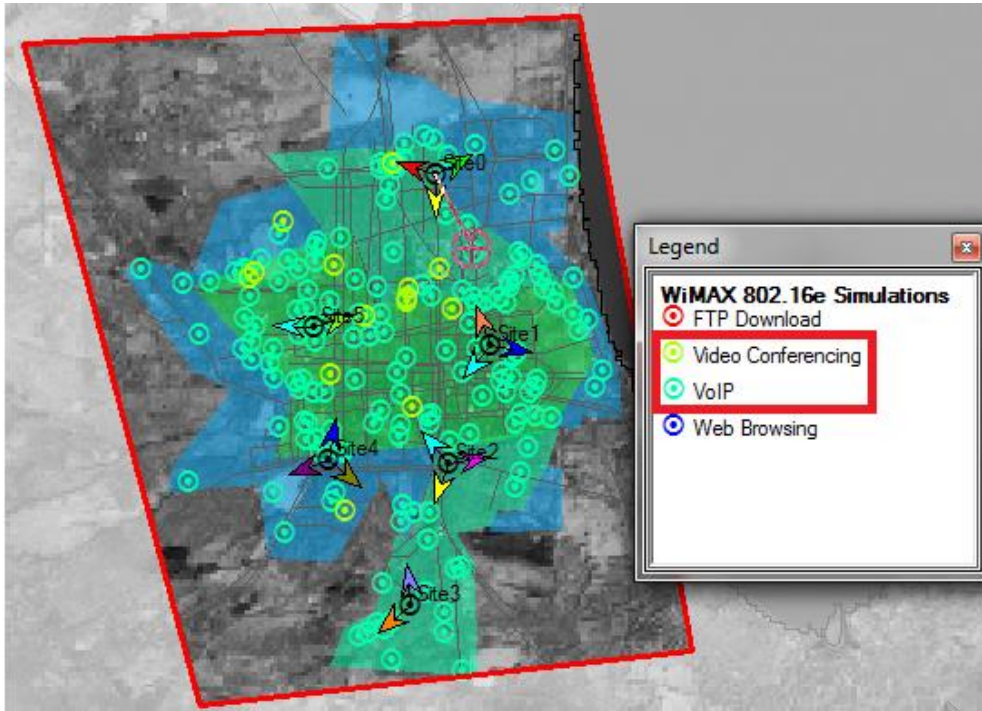
Usuarios conectados 1016		FTP	Video Conf.	VoIP	Web Browsing
		549	14	153	300
Usuarios por estado	UL	79	4	52	87
	DL	469	4	40	213
	UL+DL	1	6	61	0
DL	Peak MAC	240.86 Mbps	640.02kbps	1.23 Mbps	27.22 Mbps
	Effective MAC User Throughput	238.24 Mbps	578.09 kbps	1.22 Mbps	26.58 Mbps
	Application User Throughput	226.33Mbps	549.19 kbps	1.16 Mbps	25.25 Mbps
UL	Peak MAC	8 Mbps	640 kbps	1.38 Mbps	5.57 Mbps
	Effective MAC User Throughput	7.73 Mbps	607.9 kbps	1.32 Mbps	5.36 Mbps
	Application User Throughput	7.35 Mbps	577.59 kbps	1.25 Mbps	5.1 Mbps

**Tabla 3. 25: Resultados en el Uplink y Downlink.**

Es importante destacar que la relación entre el *throughput* requerido y el número de usuarios por servicio es mucho mayor en el caso de Video conferencia. Este hecho se traduce en un desequilibrio de los recursos requeridos para cada enlace.

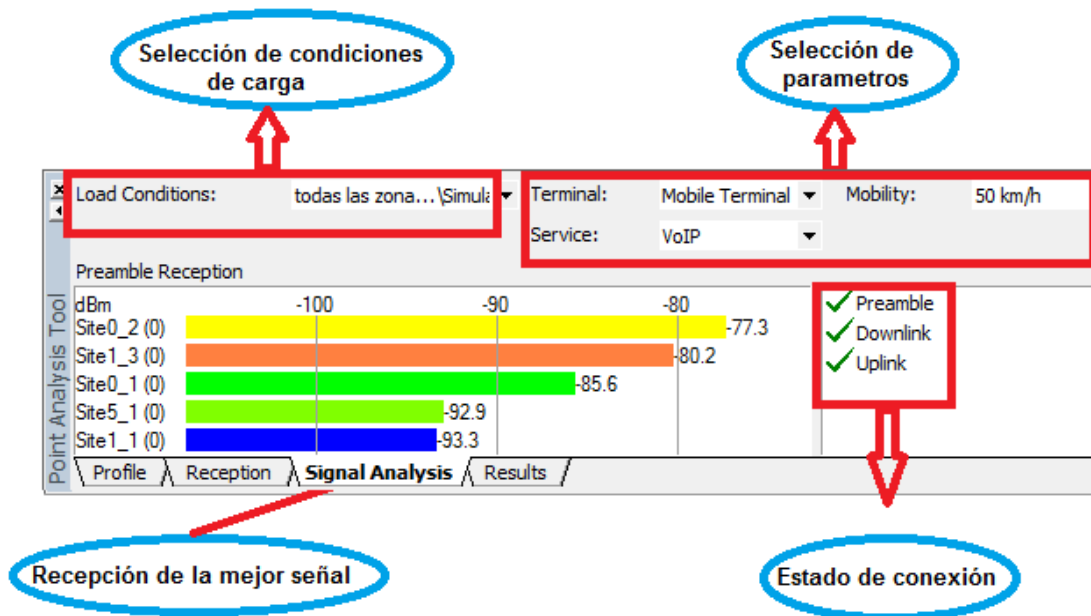
Podemos apreciar mejor los resultados con el Point Analysis Tool la cual permite predecir en cualquier punto del mapa el perfil entre un transmisor de referencia y un receptor, para ello lo que se hizo fue seleccionar solo dos tipos de servicio (VoIP y video conferencia) para que se pudiera visualizar y luego seleccionar uno de los usuarios generados por Atoll. La figura muestra el análisis punto a punto entre el transmisor del *Sitio\_0 – Zona 2* y uno de los usuarios generados aleatoriamente durante la simulación Monte Carlo.





**Figura 3. 41: Selección de servicio y usuario en estudio.**

En la siguiente imagen se puede observar los niveles de señales de los transmisores que pueden dar servicio a este usuario, ya que se encuentra en la zona de cobertura, permitiendo así que el usuario pueda conectarse a la red.



**Figura 3. 42: Resultados obtenidos usando Point Analysis Tool.**

Una vez mostrados los resultados del sistema ante la situación real, pasaremos a realizar los estudios de cobertura para obtener los niveles de señal a interferencia-ruido en ambos enlaces (descendente y ascendente) y los estudios de cobertura para obtener una medida de la tasa máxima de datos en ambos enlaces. Estudios de cobertura específicos para redes WiMAX que nos permitirán determinar la calidad de la red.

Antes de empezar a realizar el proceso de medición de calidad de la red, debemos actualizar los valores de carga de las simulaciones realizadas. Para ello, debemos seleccionar la pestaña *Data* de la ventana *Explorer*. Desplegamos el contenido la carpeta *WiMAX Simulations*, nuevamente desplegamos la carpeta en la que se encuentra la simulación de la que queremos cargar los resultados. A continuación, pulsamos dos veces sobre la simulación y nos aparecerá la ventana que se muestra en la figura 4.43. Seleccionamos la pestaña *Cells* y pulsamos el botón *Commit Results*. Automáticamente se cargarán los resultados de las columnas *DL Traffic Load (%)*, *UL Traffic Load (%)* y *UL Noise Rise (dB)*.

A partir de este momento, podremos realizar los estudios de calidad basándonos en los resultados obtenidos.

Simulation 9 properties

Statistics Sites Cells Mobiles Initial Conditions

Actions

Site	Transmitter	Name	Traffic Load (DL) (%)	Traffic Load (UL) (%)	UL Noise Rise (dB)
Site0	Site0_3	Site0_3 (	100	7.14	4.71
Site0	Site0_2	Site0_2 (	100	14.11	17.6
Site0	Site0_1	Site0_1 (	100	8.6	11.26
Site1	Site1_3	Site1_3 (	100	29.47	14.45
Site1	Site1_2	Site1_2 (	100	17.92	4.65
Site1	Site1_1	Site1_1 (	100	25.91	2.35
Site2	Site2_1	Site2_1 (	100	7.63	16.37
Site2	Site2_2	Site2_2 (	98.24	10.18	15.51
Site2	Site2_3	Site2_3 (	100	8.47	13.02
Site3	Site3_1	Site3_1 (	100	6.48	3.11
Site3	Site3_2	Site3_2 (	99.43	5.79	15.55
Site4	Site4_3	Site4_3 (	100	12.83	0.04
Site4	Site4_2	Site4_2 (	95.69	8.18	28.97
Site4	Site4_1	Site4_1 (	100	19.15	13.04
Site5	Site5_3	Site5_3 (	100	34.17	8.14
Site5	Site5_1	Site5_1 (	100	22.14	2.31

Commit Results

Aceptar Cancelar Aplicar

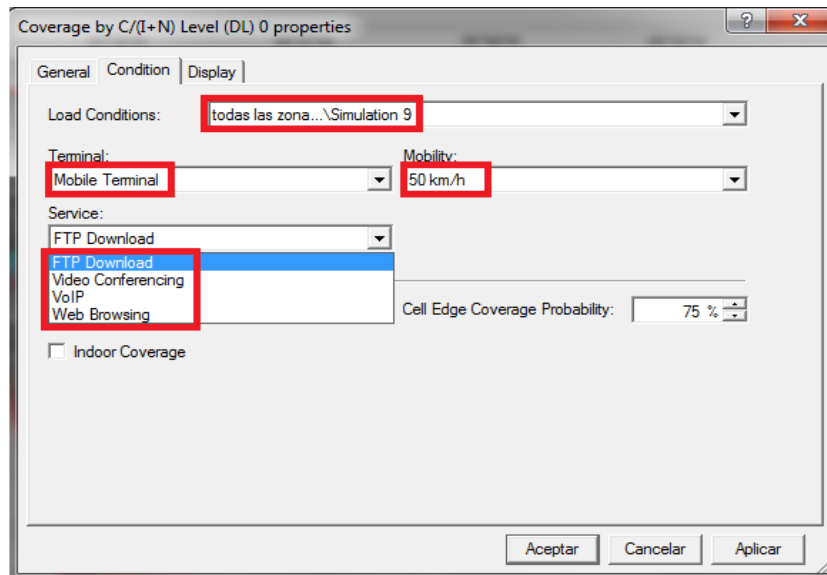
**Figura 3. 43: Pestaña Cells de la simulación generada.**

A continuación se mostrarán los resultados de los siguientes estudios de calidad.

### 3.2.5.5. Estudio de cobertura del nivel de $C/(N+I)$

La relación del nivel de potencia de señal frente a ruido-interferencia es un parámetro que mide la calidad con que llega al receptor la señal radioeléctrica que le proporciona servicio de red. Siempre que  $C/(N+I)$  sea mayor que cero la conexión será viable, sin embargo, cuanto mayor sea su valor se conseguirá una mayor robustez frente a interrupciones y una mayor velocidad de transferencia de datos. Mediante estos estudios podremos determinar la calidad de la señal recibida en cada sector de la red. Estos estudios se realizarán para los diferentes tipos de servicio, por usuario y movilidad, en el enlace descendente y ascendente.

Para ello seleccionamos la pestaña Data de la ventana Explorer, pulsamos el botón derecho sobre la carpeta *Predictions* y seleccionamos la opción *New*. A continuación, nos aparecerá una ventana con los diferentes tipos de estudio, seleccionamos *Coverage by  $C/(I+N)$  Level (DL)* o *Coverage by  $C/(I+N)$  Level (UL)*, pulsamos *Ok* y nos aparecerá una ventana como la siguiente:



**Figura 3. 44: Creación de estudio de calidad de red.**

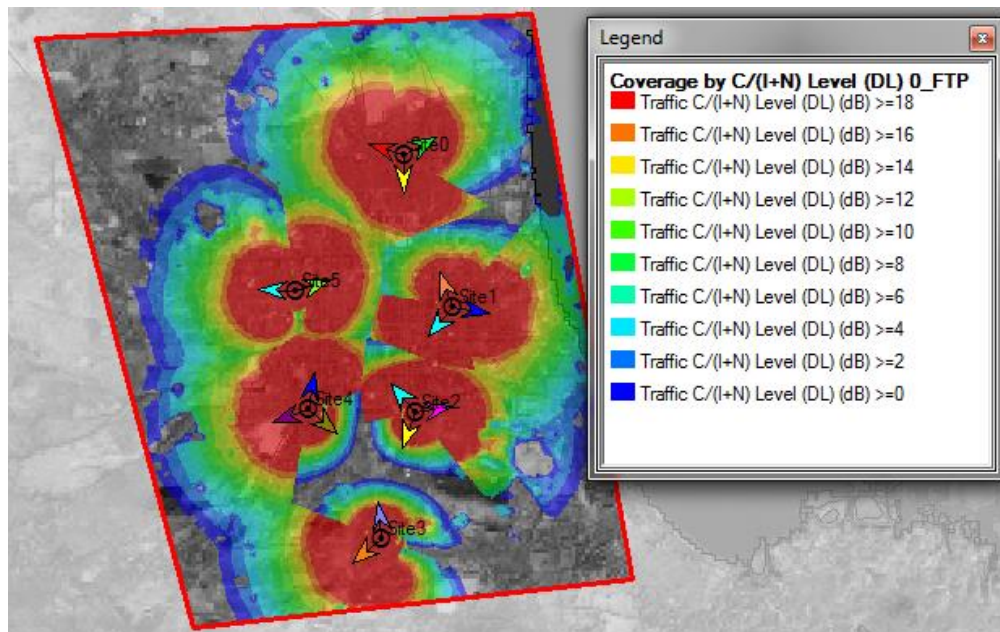
Como se puede observar seleccionamos la simulación con las condiciones de carga, el tipo de terminal (móvil), tipo movilidad (50 Km/h) y el tipo de servicio en estudio.



Una vez creado el estudio debemos forzar a que Atoll lo calcule, para ello, pulsamos el botón derecho del ratón sobre el nuevo estudio y seleccionamos la opción *Calculate*.

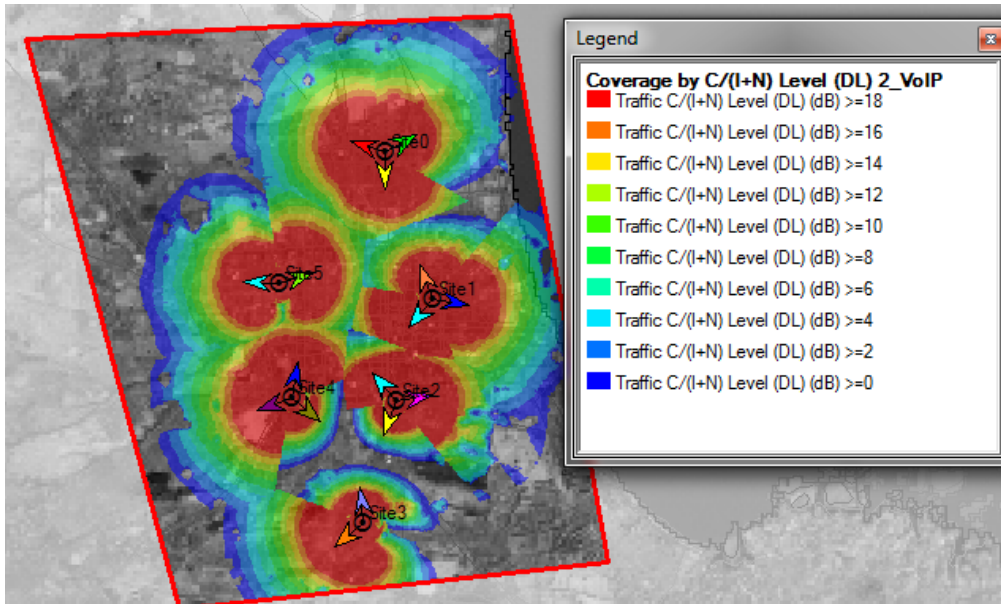
A continuación, se enumeran y se muestran los resultados obtenidos de dichos estudios para los diferentes tipos de servicios, tanto en el enlace descendente como en el ascendente.

### 1. Servicio FTP



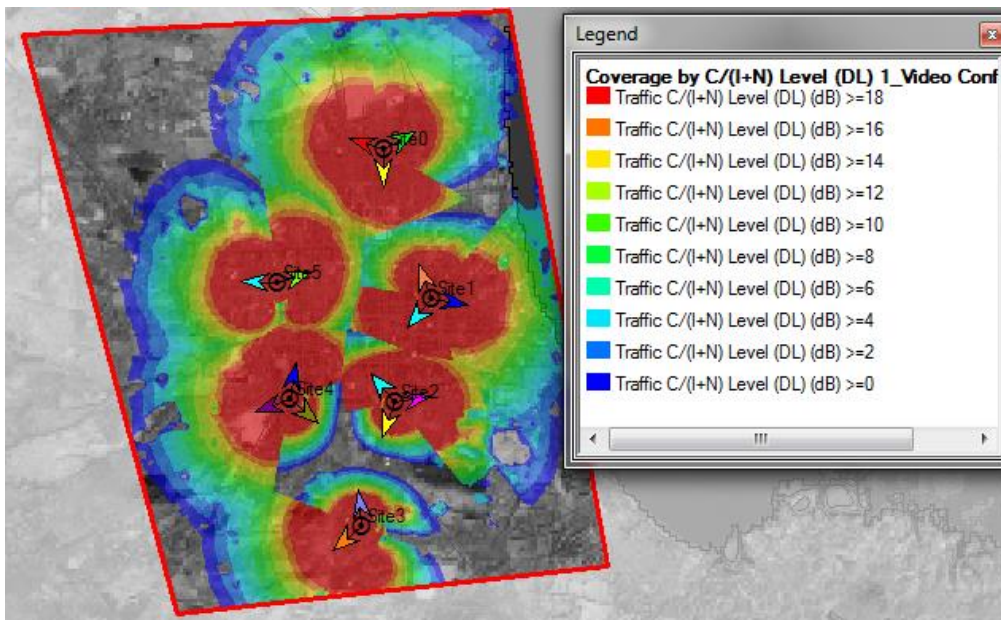
**Figura 3. 45: Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace descendente para el servicio FTP**

## 2. Servicio VoIP.



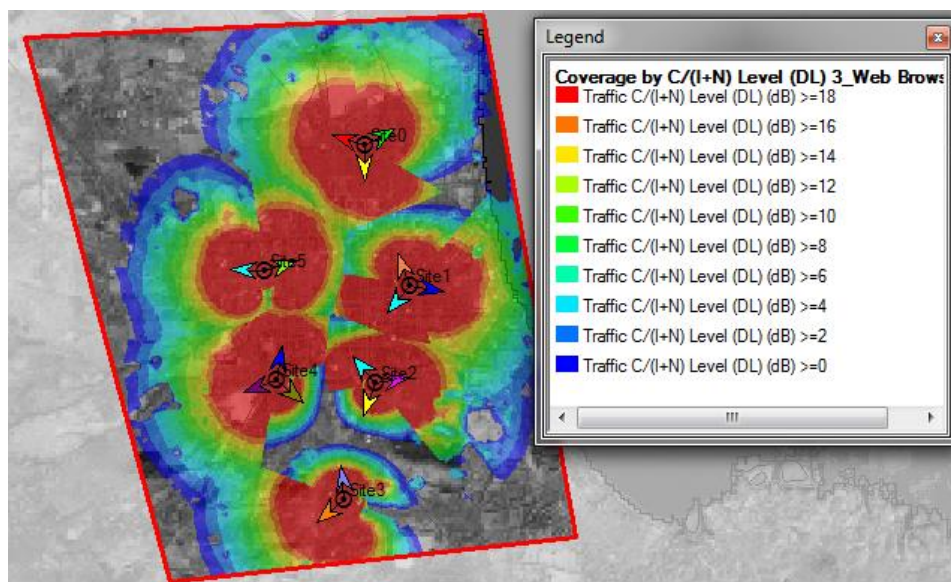
**Figura 3. 46:** Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace descendente para el servicio VoIP.

## 3. Servicio Video Conferencia



**Figura 3. 47:** Estudio de cobertura por nivel de relación C/(I+N) en el enlace descendente para el servicio Video Conferencia.

#### 4. Servicio Web Browsing.

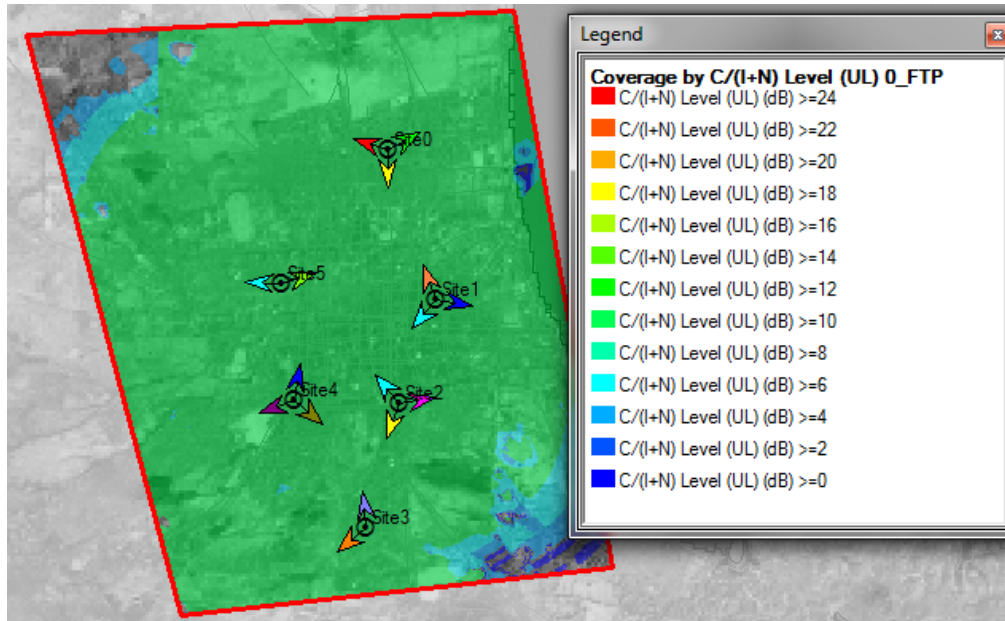


**Figura 3. 48:** Estudio de cobertura por nivel de relación  $C/(I+N)$  en el enlace descendente para el servicio Web Browsing.

Bajo las condiciones de los resultados se ha podido observar, que en cada sector existen relaciones  $C/(I+N)$  por encima de cero. Esto es debido a que en las simulaciones se ha obtenido a la mayoría de usuarios con relación  $C/(I+N)$  por encima de 8db, indicando que el mínimo de la población de usuarios esta entre 0 y 6db con relación  $C/(I+N)$ .

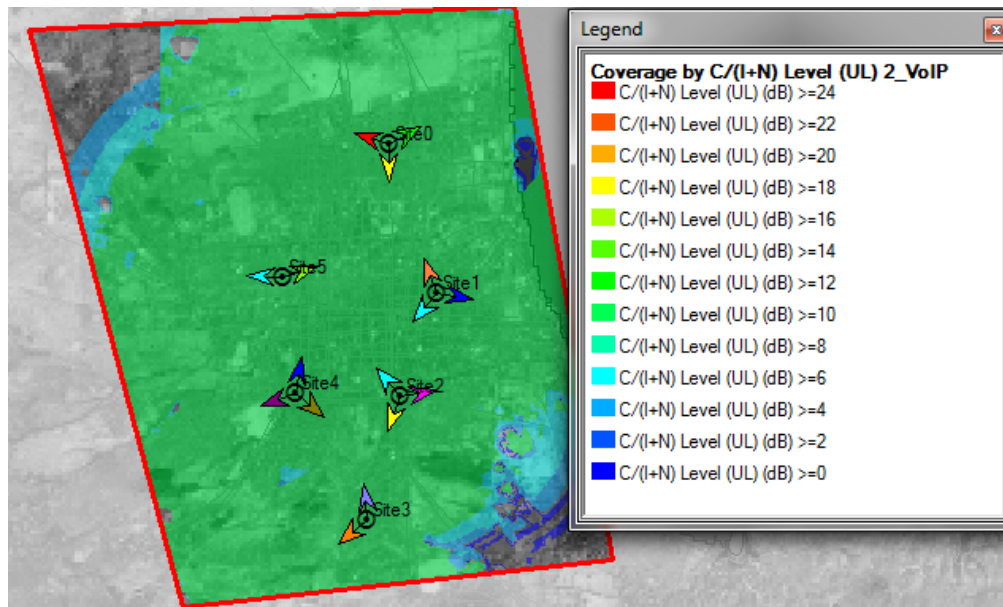
Una vez creado el estudio de los diferentes servicios en el enlace descendente, se crearan nuevas predicciones de nivel de potencia de señal frente a ruido-interferencia. En las siguientes figuras se mostrarán los resultados de dichos estudios para los diferentes tipos de servicios en el enlace ascendente.

## 1. servicio FTP.



**Figura 3. 49:** Estudio de cobertura por nivel de relación  $C/(I+N)$  en el enlace ascendente para el servicio FTP.

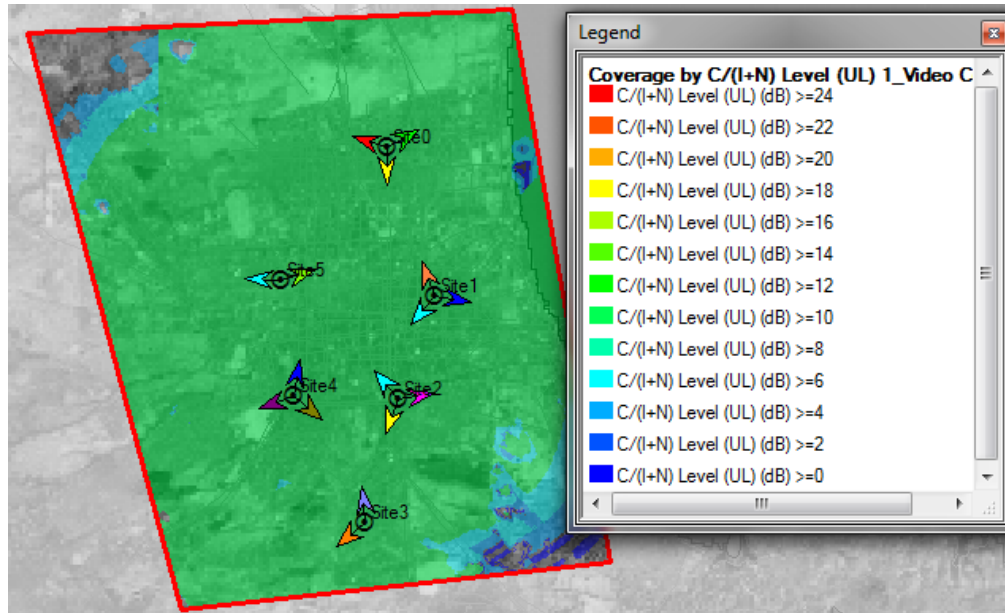
## 2. Servicio VoIP.



**Figura 3. 50:** Estudio de cobertura por nivel de relación  $C/(I+N)$  en el enlace ascendente para el servicio VoIP.

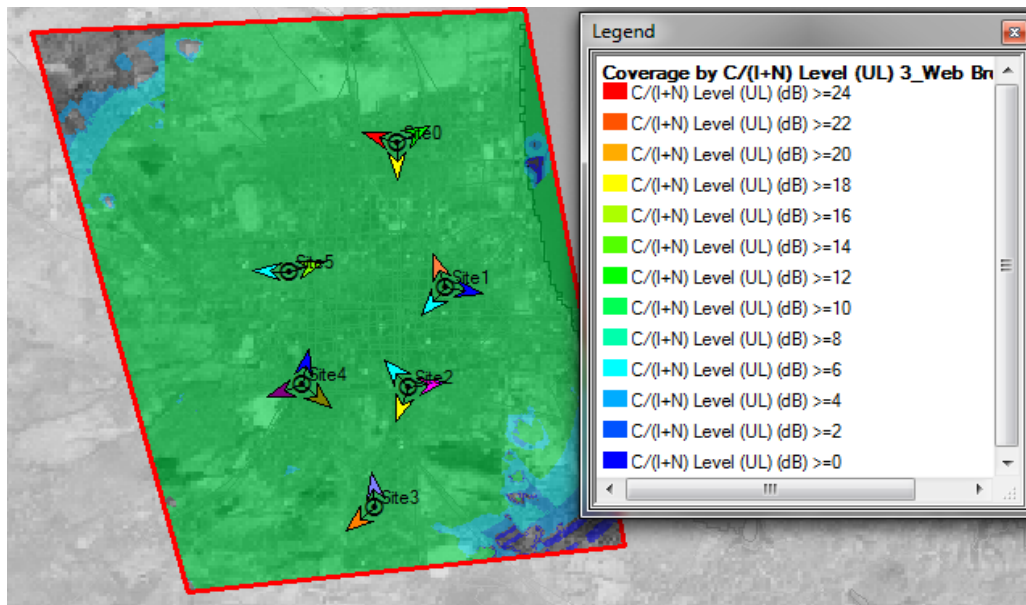


### 3. Servicio Video Conferencia.



**Figura 3. 51:** Estudio de cobertura por nivel de relación  $C/(I+N)$  en el enlace ascendente para el servicio Video Conferencia.

### 4. Servicio de web Browsing.



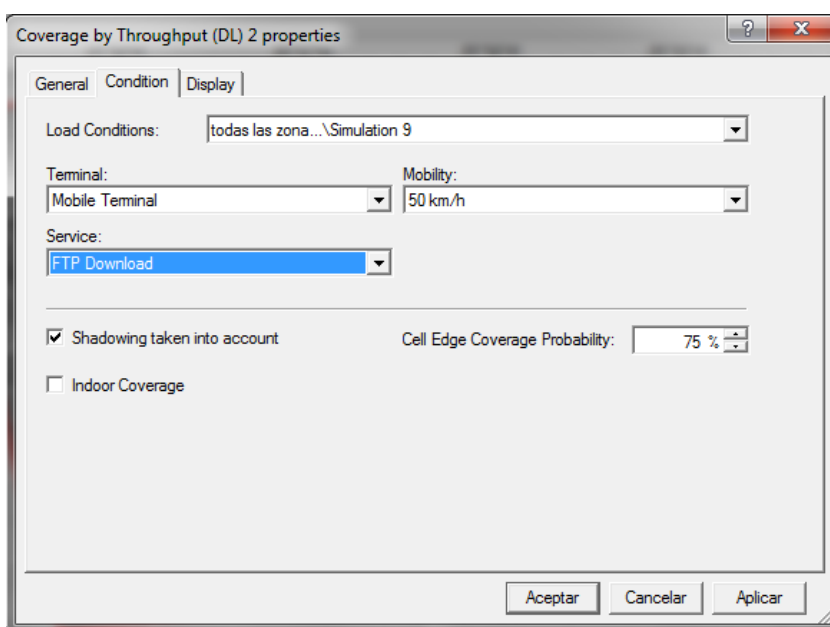
**Figura 3. 52:** Estudio de cobertura por nivel de relación  $C/(I+N)$  en el enlace ascendente para el servicio de web Browsing.

Como puede observarse, para todos los servicios tenemos una relación  $C/(I+N)$  favorable en el enlace ascendente, ello es debido a que en las simulaciones prácticamente la totalidad de los usuarios poseían unos niveles de  $C/(I+N)$  en el UL por encima de los 11 dB.

### 3.2.5.6. Estudio de cobertura de la tasa máxima disponible de transmisión de datos

Mediante este estudio podremos conocer la tasa máxima de datos que se podría alcanzar en los enlaces descendente y ascendente en cada canal. Esta tasa podría ser asignada a un único usuario (en caso de necesitarla) o estar repartida entre varios usuarios (mediante subcanalización).

Para realizar este tipo de predicciones, seleccionamos la pestaña Data de la ventana Explorer. Pulsamos el botón derecho sobre la carpeta *Predictions* y seleccionamos la opción *New*. A continuación, nos aparecerá una ventana con los diferentes tipos de estudio, seleccionaremos *Coverage by Channel Throughput (DL)* o *Coverage by Channel Throughput (UL)*, pulsamos *Ok* y nos aparecerá una ventana como la siguiente:



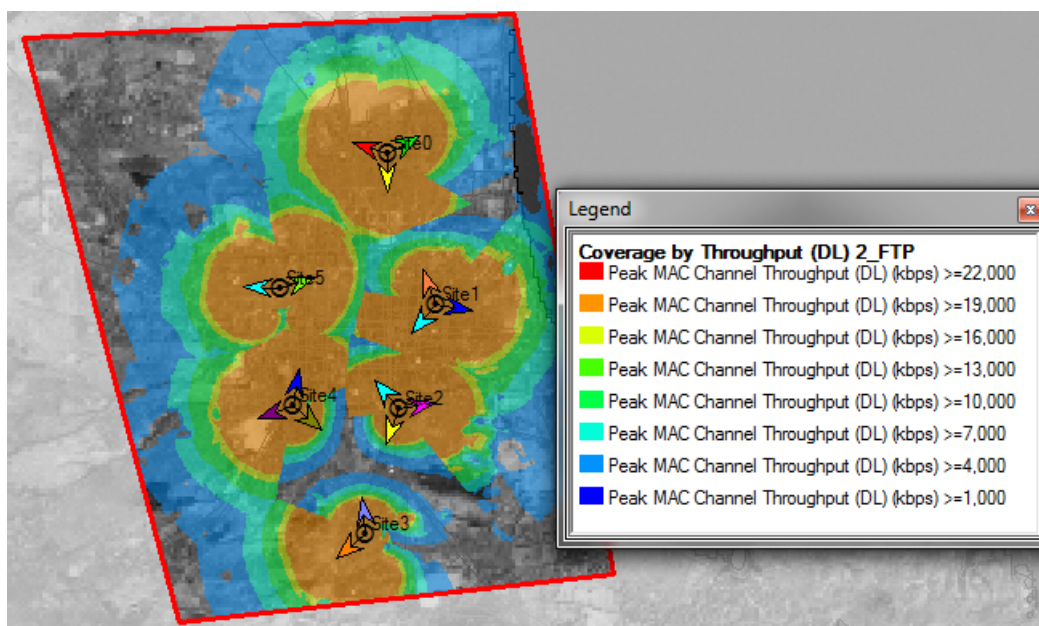
**Figura 3. 53: Creación de estudio de cobertura para Throughput de canal**

Como se puede observar en la pestaña seleccionamos las condiciones de carga (simulación), el tipo de terminal (móvil), tipo movilidad (50 Km/h) y el tipo de servicio en estudio.

Una vez creado el estudio debemos forzar a que Atoll lo calcule, para ello, pulsamos el botón derecho del ratón sobre el nuevo estudio y seleccionamos la opción *Calculate*. Pero para ello se tiene que la mayor tasa que es requerida por un usuario en el enlace descendente es de 1000 kbps (servicio FTP), mientras que la mayor tasa requerida por un usuario en el enlace ascendente es de 100 kbps (servicio FTP). Sin embargo, se podrían conseguir velocidades muy superiores a las requeridas.

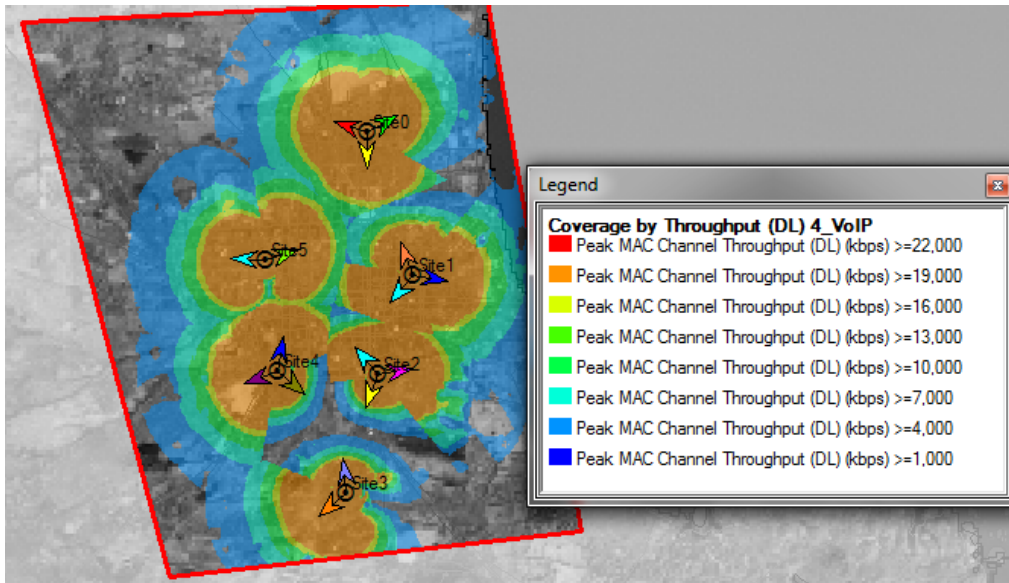
A continuación, se mostrarán los resultados de dichos estudios para los diferentes tipos de servicios, en el enlace descendente.

### 1. Servicio FTP



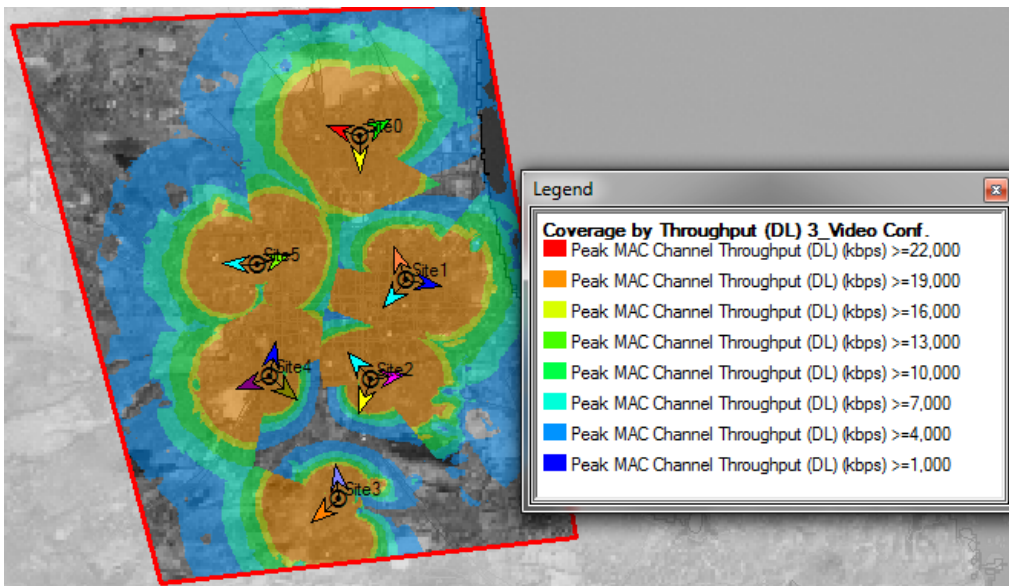
**Figura 3. 54:** Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal descendente para el servicio FTP.

## 2. Servicio VoIP



**Figura 3. 55: Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal descendente para el servicio VoIP.**

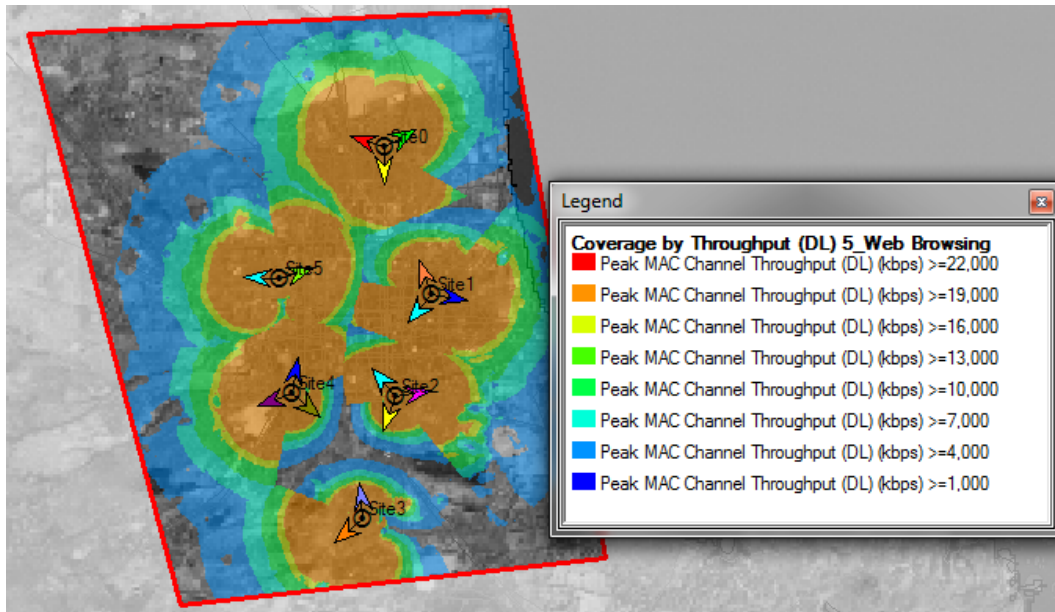
## 3. Servicio Video conferencia



**Figura 3. 56: Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal descendente para el servicio Video conferencia.**



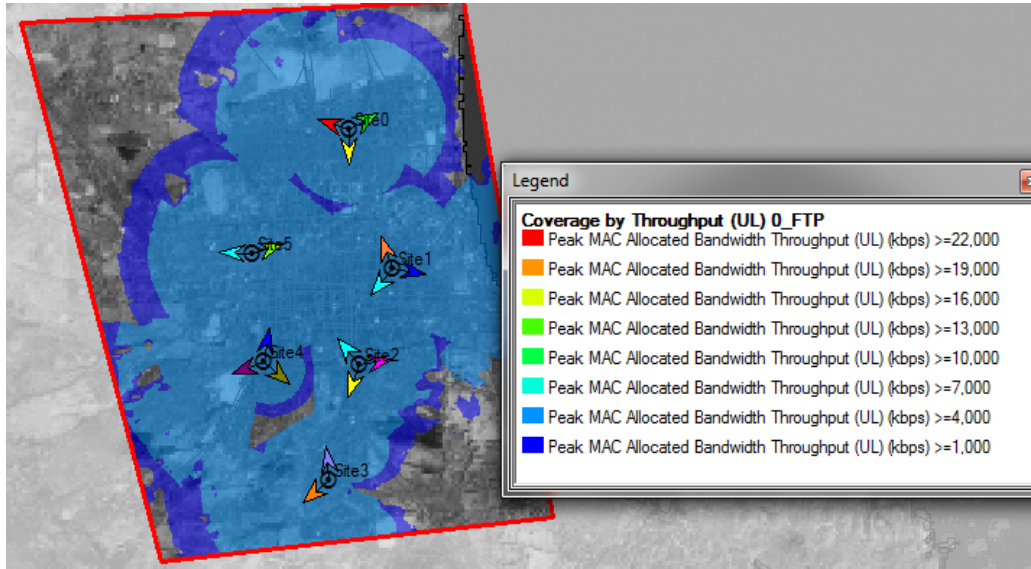
#### 4. Servicio Web Browsing



**Figura 3. 57:** Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal descendente para el servicio Web Browsing.

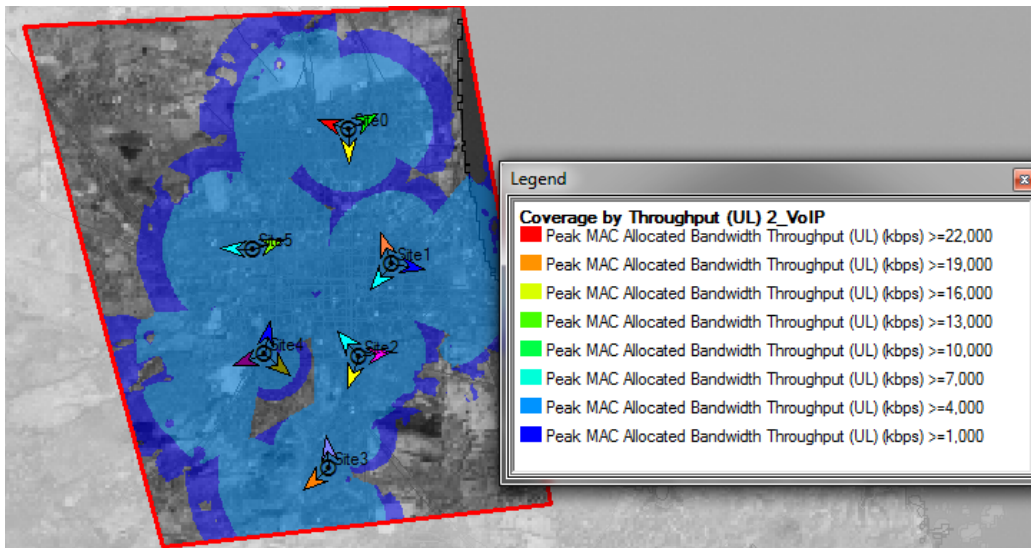
Una vez creado el estudio de los diferentes servicios en el enlace descendente, se crearan nuevas predicciones de cobertura por Throughput. En las siguientes figuras se mostrarán los resultados de dichos estudios para los diferentes tipos de servicios en el enlace ascendente.

## 1. Servicio FTP



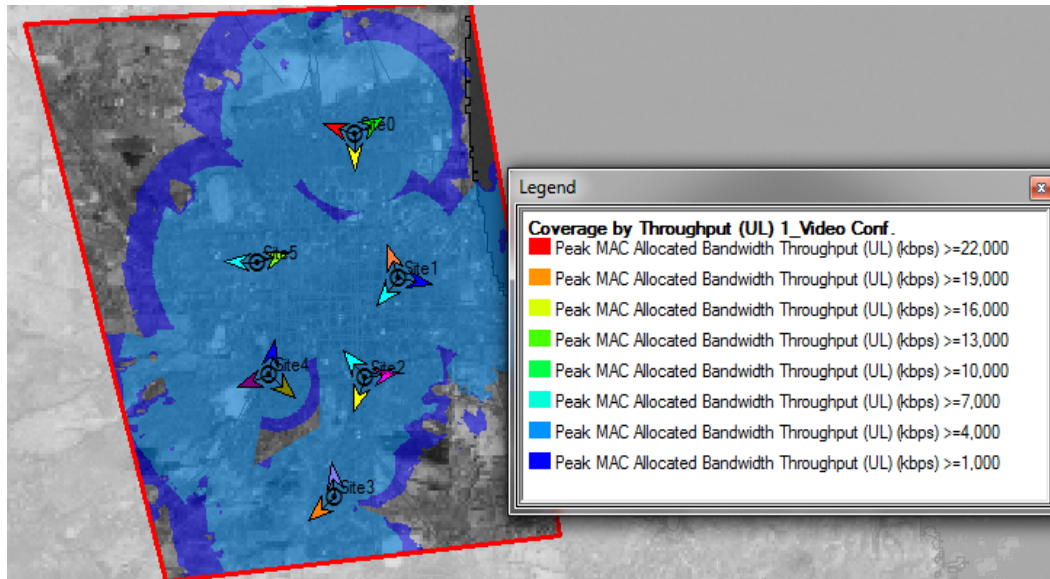
**Figura 3. 58:** Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal ascendente para el servicio FTP

## 2. Servicio VoIP



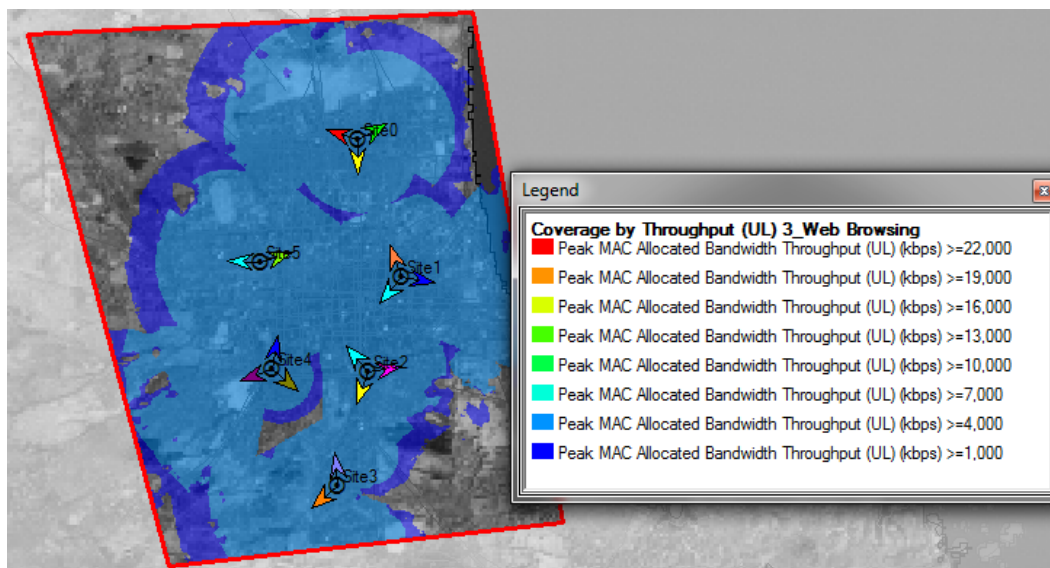
**Figura 3. 59:** Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal ascendente para el servicio VoIP.

### 3. Servicio Video Conferencia



**Figura 3. 60:** Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal ascendente para el servicio Video Conferencia.

### 4. Web Browsing



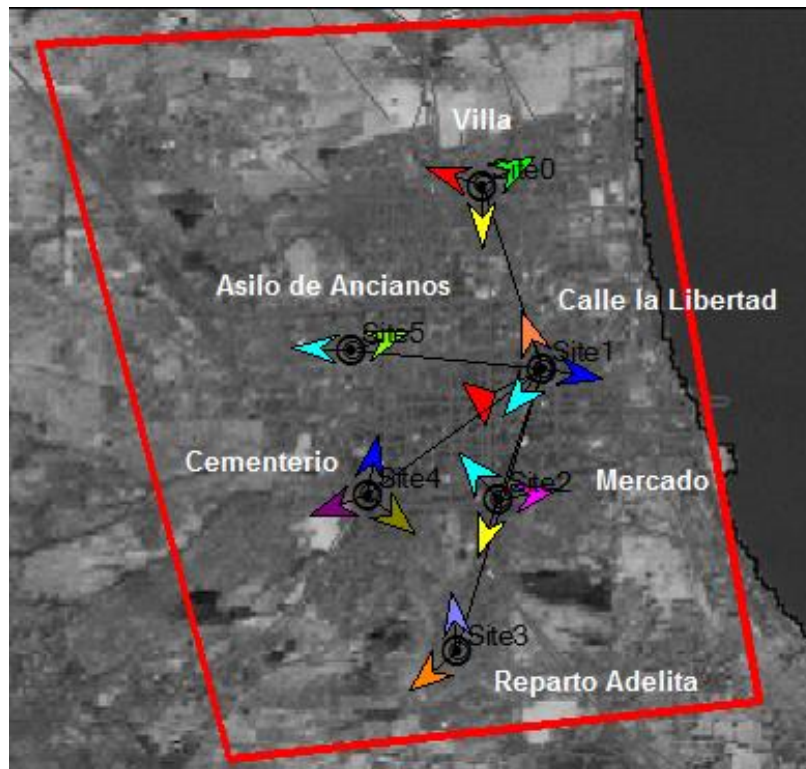
**Figura 3. 61:** Estudio de cobertura de tasa máxima disponible en el canal ascendente para el servicio Web Browsing.

## CAPITULO IV

### ESTIMACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se va a mostrar el presupuesto económico aproximado en el despliegue e implementación de las estructuras de red. Se considerarán también los gastos asociados a los radioenlaces necesarios para la comunicación de las distintas estaciones base con un emplazamiento central.

Se considerará que el emplazamiento central se situará en el centro de la ciudad, es decir, estará situada en la calle La libertad. Por tanto, habrá que interconectar cada estación base con este emplazamiento. Véase la siguiente figura.



**Figura 4. 1: Topología punto- multipunto de la red WiMAX**

Para comenzar se indicaran los factores para la selección del proveedor y luego se indicaran los equipos que elegimos para realizar el estudio. Dicho equipos se ajustaran a las necesidades de la red que hemos planificado.

#### 4.1. Factores para la selección del proveedor.

Entre los factores determinantes para la selección del proveedor lo que tomamos en cuenta fue:

- Cumplimiento del estándar IEEE 802.16e.
- Equipos Certificados por el WiMAX Forum.
- Características técnicas, como potencia de transmisión, sensibilidad del receptor, ganancia de las antenas, entre otros más, adecuadas para el diseño y requerimientos de la red.

#### 4.2. Elección y costo de equipos

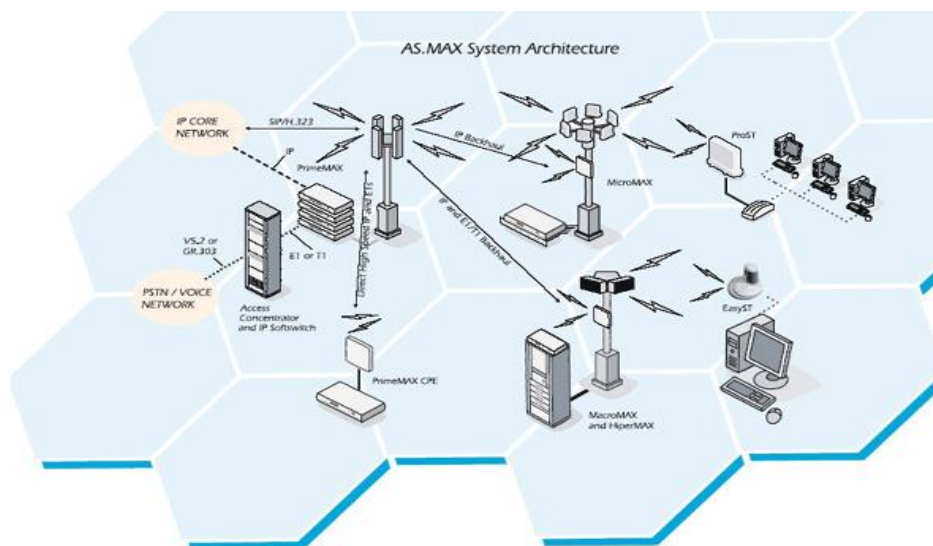
Para la implementación de la red WiMAX capaz de soportar al 1% de la población urbana de la ciudad de granada, fueron necesarios 6 estaciones bases y 16 transmisores. En la siguiente tabla se presentan los distintos emplazamientos distribuido en la zona de estudio.

Nombre del lugar	Sitio	Transmisores instalados
Villa	Site0	3
Calle la Libertad	Site1	3
Mercado	Site2	3
Reparto Adelita	Site3	2
Cementerio	Site4	3
Asilo de Ancianos	Site5	2

**Tabla 4. 1: Número de transmisores instalados**

Como ya hemos mencionado, en este apartado se mostrara el presupuesto económico aproximado en el despliegue e implementación de las estructuras de la red. Por lo tanto, a continuación, se presentan los equipos y costos que formaran parte de nuestra red de acceso, equipos encargados de gestionar la red, así como los equipos que conectaran cada uno de los emplazamientos con la estación base central.

Entre los distintos fabricantes y ofertas comerciales existentes en el mercado nos centraremos en los equipos del fabricante Airspan. Puesto que consideramos que presenta mejores prestaciones y aporta una solución más completa. Este fabricante ofrece equipos WiMAX para usuarios fijos, nómadas y móviles tanto en frecuencias libres como en frecuencias que requieren licencia de uso. En este caso nos enfocaremos en la tecnología AS.MAX que es de la familia de productos WiMAX de la empresa Airspan.



**Figura 4. 2: Estructura de red de la familia de equipos AS.MAX.**



AS.MAX ofrece dos modelos distintos de estaciones base, que es quien se encargará en cada emplazamiento de ofrecer acceso a la red. De las dos posibles soluciones, MicroMAX e HiperMAX, nos enfocaremos en la estación base HiperMAX, la cual es la más avanzada en cuanto a sus productos Wimax, conexión Punto-Multipunto y capacidad, entre otras características. Ya que el equipo MicroMAX trabaja a frecuencias distintas a la que se utilizara en nuestra red.

HIPERMAX ha sido desarrollado con arquitectura para proporcionar un producto de estación base altamente escalable, y es totalmente compatible con el modelo de referencia de WiMAX Mobile Network (GRN) como parte de la Red de Servicios de Acceso (ASN). HIPERMAX apoya el punto de referencia (R6) entre la estación base y el Gateway ASN, así como el punto de referencia (R8) entre estaciones base. Interfunciona HIPERMAX con ASN Gateway denominado ControlMAX de Airspan y con otras puertas de enlace ASN de terceros.

A continuación, se incluye el precio del equipo de comunicación HiperMAX.

<b>Equipos de comunicacion Hipermax</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>
Estación base HiperMAX	52,445.32 \$
Alimentación	1,451.13 \$
Antena de acceso	227 \$
Soporte de Antena	78.47 \$
Protección pararrayos	3,000 \$
<b>Costo Total</b>	<b>57,201.92 \$</b>

**Tabla 4. 2: Presupuesto de equipo HiperMAX. [6]**

La gestión y el control de una red de este tipo recaen en el Sistema de Gestión, que aunque no es necesario para el funcionamiento de la red, su incorporación permite controlar y gestionar el sistema desde un punto central, facilitando la configuración de equipos, la incorporación de nuevos equipos al sistema e incluso la gestión de los usuarios registrados. En definitiva, estos sistemas monitorizan el funcionamiento de la red en tiempo real, permitiendo, entre otras funciones, su recuperación en caso de averías en el menor tiempo posible. Cada fabricante desarrolla su propio sistema, generalmente un software con altos requerimientos de hardware. En el caso que nos ocupa, Airspan ha desarrollado el sistema Netspan. Este sistema permite tanto la gestión de equipamiento WiMAX propio de Airspan como la gestión de equipos desarrollados por otros fabricantes.

Entre las principales funciones que proporciona Netspan están:

- Gestión de fallos.
- La gestión de configuración.
- Gestión de alarmas.
- La gestión del rendimiento.
- Gestión de la seguridad.

A continuación, se incluye el precio del software para la gestión de equipamiento WiMAX.

Sistema de Gestión Netspan		
Unidades	Descripción	Precio unitario
1	Software de gestión	6,721.28 \$
1	Servidor(Hardware)	1,692.82 \$
1	Sistema operativo y software adicional.	564.27 \$
<b>Costo Total</b>		<b>8,978.37 \$</b>

**Tabla 4. 3: Presupuesto del sistema de Gestión. [6]**



Para permitir la movilidad a los usuarios dentro del área de cobertura, será necesaria la adquisición de un equipo que realice funciones de pasarela (ASN-GW). El equipo que nos proporciona el fabricante Airspan se denomina ControlMAX. Una de las funciones principales de las que se encarga este equipo es la gestión del handover.

Equipo ASN-GW ControlMAX		
Unidades	Descripción	Subtotal del Equipo
1	Suministro	
1	Instalación	
1	Puesta en marcha	
		45,141.89 \$

**Tabla 4. 4: Presupuesto de equipo ControlMAX. [6]**

Puesto que en nuestra red se ha considerado el servicio VoIP será necesario incorporar el equipo VoiceMAX. Este equipo permite el uso del servicio VoIP sobre redes WiMAX con un integrado sistema de control de admisión para asegurar la calidad del servicio. Mediante el uso de SIP, VoiceMAX se comunica con las estaciones base de la red WiMAX y con el software de gestión para una asignación dinámica de los recursos de la red con la menor pérdida del ancho de banda preasignado, asegurando al mismo tiempo la calidad de voz deseada.

Equipo VoiceMAX		
Unidades	Descripción	Subtotal
1	Suministro	
1	Instalación	
1	Puesta en marcha	
		33,856.41 \$

**Tabla 4. 5: Presupuesto de equipo VoiceMAX. [6]**

En la tabla 4.6 se muestra el presupuesto de los equipos antes expuesto para la estación base central. Cabe mencionar que las características técnicas de cada uno de los equipos necesarios en nuestra red se han incluido en los anexos o también se puede consultar en la página del fabricante: [www.airspan.com](http://www.airspan.com)

<b>Equipos para estación base central</b>		
<b>Unidades</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>
1	Estación base	57,201.92 \$
1	Sistema de Gestión Netspan	8,978.37 \$
1	Equipo ASN-GW ControlMAX.	45,141.89 \$
	Equipo VoiceMAX	33,856.41 \$
<b>Costo Total</b>		<b>145,178.59\$</b>

**Tabla 4. 6: Presupuesto para estación base central**

Luego de haber realizado el presupuesto para la estación base central, lo siguiente que se procedió a detallar fueron los costos comunes en cada emplazamiento. A continuación se presentan costos asociados a la instalación de la estación base.

<b>Caseta hormigón</b>		
<b>Unidades</b>	<b>Descripción</b>	<b>Subtotal del Equipo</b>
1	Suministro	
1	Instalación en destino	
1	Transporte	
1	Instalaciones interiores	
		14,760.32 \$

Acometida eléctrica		
Unidades	Descripción	Subtotal del Equipo
50	Línea Subterránea de BT hasta 100 m.	
50	con cable de hasta RV 4x25 en acera	
1	Suministro de material	
1	Instalación y puesta en funcionamiento.	
2	Tubos de protección	
	Arquetas de registro y reposiciones.	
		4,722.81\$

Cuadro eléctrico		
Unidades	Descripción	Subtotal del Equipo
1	Suministro de equipo cuadro eléctrico	
1	Instalación	
		7,443.46\$

Aire acondicionado		
Unidades	Descripción	Subtotal del Equipo
1	Suministro de máquina de aire acondicionado.	
1	Instalación	
		5,363.51\$

Equipo de fuerza para estación WiMAX		
Unidades	Descripción	Subtotal del Equipo
1	Bancada de Baterías	3,304 \$
-	Rectificadores	1,057.28 \$
-	Equipamiento de Batería DC	17,186.12\$
	<b>Costo Total</b>	21,547.4 \$

Game System		
Unidades	Descripción	Subtotal del Equipo
1	Suministro de sistema de seguridad	
1	Instalación	
		706.714\$

Seguridad		
Unidades	Descripción	Subtotal del equipo
1	Panel de alarmas	890.488 \$

A continuación se presenta el resumen del costo total de instalación de una estación base. Ver tabla

Instalación de la estación base		
Unidades	Descripción	Subtotal del Equipo
1	Caseta hormigón	14,760.32 \$
50	Acometida eléctrica	4,722.81 \$
1	Cuadro eléctrico	7,443.46\$
1	Equipo de fuerza para estaciones Wimax	21,547.4 \$
1	Aire acondicionado	5,363.51\$
1	Game System	706.714
1	Seguridad	890.488 \$
	<b>Costo Total</b>	55,434.702 \$

**Tabla 4. 7: Presupuesto de Instalación de una estación base. [6]**

El costo total de los equipos necesario para la comunicación, mediante el radioenlace WiMAX, de cada una de las estaciones base, se detallan en la siguiente tabla.

Radioenlace Wimax		
Unidades	Descripción	Total del Equipo
1	Suministro	
1	Instalación	
1	Puesta en marcha	
2	Transceptores	
2	Antenas	
	<b>Costo total</b>	29,904.69 \$

**Tabla 4. 8: Presupuesto de Radioenlace WiMax. [6]**

A continuación se presentan otros costos considerados dentro de la estimación del costo de la red.

Rubros		
Unidades	Descripción	Total del Equipo
6	Espacio para torre	24,000\$
6	Torre Monopolio	30,000\$
-	Mantenimiento	69,000\$
	<b>Costo total</b>	123,000\$

**Tabla 4. 9: Costo considerado**

Luego de haber mostrado los costos necesarios asociados a cada una de las estaciones base que forman parte del diseño de la red WiMAX para el área en estudio, mostraremos a continuación, los costos que comprenden el presupuesto de instalación de todos los equipos para uno de los puntos de acceso de la red.

Equipos para una estación base.		
Unidades	Descripción	Total del Equipo
1	Equipos de comunicación HiperMAX	57,201.92 \$
1	Instalación de la estación base	55,434.702 \$
1	Radioenlace Wimax	29,904.69 \$
	<b>Costo Total</b>	<b>142,541.312 \$</b>

**Tabla 4. 10: Presupuesto de cada emplazamiento**

Posteriormente en la tabla 4.11 se muestra el costo aproximado de los terminales de usuario WiMAX (Modems USB).

Los modems USB permiten una conexión rápida y fácil a Internet, desde diferentes lugares que se encuentren en el área de cobertura, solo basta su conexión física a la computadora portátil.

Modelo	Especificaciones	Costo
MIMax	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaz USB 2.0</li> <li>• Apoyo de cuatro bandas: 2.3-2.4 GHz, 2.5-2.69 GHz, 3.3-3.8 GHz, 4.9-5.8 GHz.</li> <li>• MIMO y Beamforming</li> <li>• Consumo de energía a menos de 2.4 Watts</li> <li>• Alto rendimiento: energía arriba de 22dBm, Rendimiento pico de 33Mbit/s</li> </ul>	\$50
Yota iCON	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaz USB 2.0</li> <li>• SO Soportados: XP, vista,7,8</li> <li>• Modulación: JQSPK, QAM, OFDMA</li> <li>• Estándar: IEEE 802.16e</li> <li>• Apoyo de frecuencia: 2.5 – 2.7 GHz</li> <li>• Potencia de salida: 0.2 w</li> <li>• Fuente de alimentación: 5 v</li> </ul>	\$25

**Tabla 4. 11: Costo aproximado de los Modems**

Para finalizar se presenta el presupuesto total de la red WiMAX diseñada, el cual asciende a un total de un millón sesenta y seis mil doscientos veinte y cuatro mil dólares con quinientos cuarenta y dos centavos.

<b>Presupuesto Red WiMAX</b>			
<b>Unidades</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Subtotal</b>
1	Equipos para estación base central.	145,178.59\$	145,178.59\$
6	Equipos para las estaciones base.	142,541.312 \$	712,706.56
-	Rubros	123,000\$	123,000\$
	<b>Costo Total</b>		<b>980,885.15 \$</b>

*Tabla 4. 12: Presupuesto total de la Red WiMax*

## Conclusiones

Con el fin de proveer servicios de datos en la ciudad de Granada, Nicaragua concluimos que:

Luego de haber realizado un estudio de las principales características de WiMAX podemos decir que es una de las tecnologías que permite amplios beneficios de cobertura, altas tasas de transmisión, fácil despliegue, escalabilidad y calidad de servicio (QoS).

Para llevar a cabo el proceso de diseño se hizo mediante la herramienta Atoll que provee una serie de características que nos permitió definir, desarrollar y optimizar nuestra red. El software está basado en ventanas fácil de usar, que puede predecir la cobertura de radio, gestionar datos de abonado móvil y evaluar la capacidad de red.

De los resultados obtenidos de los estudios de cobertura, para conocer los niveles de señal, la capacidad de cobertura por cada transmisor y la tasa de transmisión de datos, se consiguieron niveles de señal por encima de los -90dbm garantizando que los usuarios tengan una alta garantía de conexión, teniendo como margen de desvanecimiento de la señal radio eléctrica de -15dbm para prevenir posibles cortes de conexión, cobertura que dará servicio a en área total de 14.0192 km<sup>2</sup>, con velocidades de 19Mbps.

Por otro lado haciendo uso de las simulaciones Monte Carlo para conocer la capacidad de la red, de los resultados obtenidos del primer escenario, llegamos a la conclusión que nuestra red no requería de colocar más sitios o transmisores para cubrir el área deseada, puesto que dio una perspectiva inicial para brindar cobertura en la zona. Para el escenario dos, se pueden apreciar los resultados obtenidos correspondientes al 1% de la población urbana de la ciudad equivalente a 857 usuarios demandando conexión. A partir de los resultados que ha generado Atoll, se logró que se conecten 1016 usuarios y de esta manera se concluyó que



fuimos capaces de conseguir que se conecten a la red más de los usuarios inicialmente en objetivo, ante un caso real.

Por último se consideró los gastos de los equipos necesarios para la implementación de la red, siendo una red económica y escalable, permitiendo la conexión de nuevos equipos de ser necesario en el futuro.

## Recomendaciones

- Desarrollar un estudio para el sobredimensionamiento de la red en caso de mayores demandas en el futuro, tomando en cuenta los siguientes aspectos:
  - Colocación de nuevos transmisores.
  - Colocación de nuevas portadoras
  - Asignación de frecuencia.
  - Asignación de preamble indexes.
  - Potencia.
- Profundizar en el estudio de radio enlace para el diseño de la red troncal.
- Realizar el estimado del costo de aduana y permisos por el ente regulador TELCOR.

## Bibliografía

- [1]. Casado M., & Pérez D. Análisis y estado del arte de las tecnologías ADSL, Wifi y WiMax. Sistemas de telecomunicación.
- [2]. *WiMAX. Fundamentos y trabajo de capa física*. Recuperado el 14 de 09 de 2014.
- [3]. Hernández J., Ramírez D. (2007). Tesis: *Esquemas de modulación, codificación adaptables en redes WiMAX*. Instituto Politécnico Nacional.
- [4]. Yota. Noticias: Yota Comienza Despliegue de la Red WiMax en Nicaragua. Recuperado el 20 de enero de 2014, de <http://yota.com.ni/es/info/news/details/?ID=139169>
- [5]. Ocampo J. et al. *WiMAX*. Recuperado el 18 de Agosto de 2014.
- [6]. Carmona A. (2008). *Planificación mediante Atoll de red WiMAX móvil para los centros de la universidad de Sevilla*. Universidad de Sevilla.
- [7]. *WiMAX fórum programa de certificación*. Recuperado de: [www.Wimaxforum.org/](http://www.Wimaxforum.org/)
- [8]. Omar A. et al. (2013). Trabajo monográfico: *Análisis comparativo de modelos de propagación en un sistema WiMax 2.3GHz y 3.5GHz*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- [9]. A. G. Jeffrey G. Andrews, Rias Muhamed., *Fundamentals of WiMAX, Understanding Broadband Wireless Networking*. Pearson Education, Inc., 2007.
- [10]. IEEE Std 802.16 03-2004 Radio Conformance Test (RCT) for 10-66GHz, "P.85, 25 June 2004 2004.
- [11]. Pijo L. (junio de 2013). Tesis: *Diseño de una red WiMAX para el valle de Churín-lima* pontificia universidad católica del Perú
- [12]. Forsk. (2009). *Atoll 2.8.0 user manual RF Planning & Optimization Software*.
- [13]. Guinand C. (2012). *Planificación De Una Red Lte Con La Herramienta Atoll Y Análisis Del Impacto De Las Estrategias De Packet Scheduling*. Universidad politécnica de Catalunya.
- [14]. El nuevo diario. Recuperado el 15 de septiembre del 2014 de <http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/299129>
- [15] *Ficha municipal*. Recuperado el 21 de enero de 2014, de <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/GRANADA/granada.pdf>
- [16]. Ruiz O. & Flores M. (2012). Trabajo monográfico: *Análisis comparativo de modelos de propagación en un sistema WiMax 2.3GHz y 3.5GHz*. Universidad Nacional de Ingeniería.

[17]. Casilla C. et al. (2009). Tesis: *Aplicaciones de tecnología WiMAX a la zona rural de san Andrés Hidalgo Oaxaca*. Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

[18]. "VoiceMAX Datasheet", Airspan.

[19]. "HiperMAX Datasheet", Airspan.

[20]. "Netspan Datasheet", Airspan.

[21]. "ControlMAX Datasheet", Airspan.

## ANEXOS

Industry's most complete  
WiMAX product family  
in the widest selection  
of frequency bands



## WiMAX Solutions



## The Ultimate Mobile WiMAX Base Station

### Main Features

- HiperMAX supports:
  - Option of split indoor / outdoor or all outdoor configurations
  - Fully redundant architecture
  - Up to 6 channels per ATCA shelf with full redundancy or Up to 12 channels without redundancy
  - Optical, zero-loss connectivity between indoor and outdoor units
- Multi-frequency platform supporting 700MHz, 2.3GHz, 3.3GHz, 3.5GHz, 3.65GHz, 4.9GHz
- Up to 39dBm transmit power
- Supports FDD and TDD profiles
- Advanced antenna options, including diversity, MIMO and CSM
- Up to 5bps/Hz per radio (2x2 MIMO)
- HiperMAX uses PicoChip<sup>®</sup> based Software Defined Radio (SDR) array, rated at 4x600 billion instructions/s
- Hybrid MIMO enhancements allow multiple simultaneous transmissions to End User Devices
- Supports Fractional Frequency Reuse utilizing PUSC modes in OFDMA

## HiperMAX Base Station

- Simultaneous support for both Mobile and Fixed WiMAX profiles
- Flexible packaging - indoor/outdoor or all outdoor
- Advanced RF features for maximized coverage and throughput
- Fully redundant architecture

HiperMAX is the ultimate Mobile WiMAX base station designed for high-density deployment situations. HiperMAX has been architected to provide a highly scalable, fully redundant base station product that will continue to deliver the optimum performance for years to come.

HiperMAX is fully compatible with the Mobile WiMAX Network Reference Model (NRM) as part of the Access Service Network (ASN). HiperMAX supports the reference point (R6) between the base station and the ASN Gateway as well as the reference point (R8) between base stations. HiperMAX interworks with Airspan's ASN Gateway called ControlMAX and with other third party ASN gateways.

HiperMAX represents the state of the art, next generation base station design and includes:

- Fully upgradeable, software defined, PHY and MAC layers enabling simultaneous support for both Mobile WiMAX (SOFDMA) and Fixed WiMAX (OFDM)

- Fully digital, OBSAI based, fiber optic interfaces between indoor baseband and outdoor radio equipment, which can operate at up to 3km.
- Transmit and receive diversity
- 2x2 MIMO configurations
- Support for FDD and TDD profiles

HiperMAX is designed to deliver the best link budget with the highest capacity and net throughput; all essential qualities for macro-cell deployments used in typical wireless roll out.

HiperMAX implements usefully configurable software define radio base band system which interfaces with remote radio heads via fiber optic connections.

HiperMAX base stations interface with a standard Connectivity Service Network (CSN) to deliver voice and other multimedia services to support VoIP applications, using a standard media gateway to the PSTN.



HiperMAX mast head units deployed in Vodafone Malta

# Technical Datasheet - Base Stations

	HiperMAX
Mobile WiMAX	Yes
Fixed WiMAX	Yes
Standards Compliance	IEEE802.16e-2005 IEEE802.16-2004
Form Factor	Split Indoor/Outdoor and all-Outdoor
Frequency Bands	700 MHz, 2.3, 2.5, 3.3, 3.5, 3.7, 4.9 GHz
Channel Size	10, 7, 5, 3.5, 1.75 MHz
FFT	1024, 512, 256
Duplex Method	TDD, FDD, H-FDD
Tx Power (Frequency band dependant)	Up to 24x +36 dBm
GPS Synchronization	24 hr holdover, Distributed
STC	Yes
MRC	Yes
MIMO	2x2
MIMO Matrix Type	Matrix A, Matrix B
CSM	Yes
Uplink Sub-Channelization	Yes
PUSC	Yes
Fractional Frequency Reuse	Yes
Ethernet CS	Yes
IP CS	Yes
Network Interface	1000bT Ethernet / R6
End to End VLAN (802.1Q)	Yes
Network VLAN Traffic Segregation	Yes
ASN Profile	Profile C
Supported Usage Scenarios	Mobile, Portable, Nomadic, Fixed
Handover Supported	Yes
Authentication	PKM, PKMv2, EAP-TLS, EAP-AKA, EAP-SIM
Environmental (outdoor elements)	ETS 300 019-1-4 Class 4.1E
Environmental (indoor elements)	ETS 300 019-1-3 Class 3.2

Note: Specifications are subject to change without notice and are for information purposes only.



### ControlMAX Gateway

- Profile C ASN Gateway family
  - Traffic aggregation and routing
  - Supports wholesale & retail business models
  - MS admission control
  - Manage handover of MS between base stations
  - Policy enforcement
  - In-Line Services
  - Security management
  - Accounting
  - Connection management

- Seamless intertechnology roaming between WiMAX, CDMA, UMTS & WiFi networks

- Two platforms AN1 and ST40

- AN-1
  - Modular, cost effective solution (pay as you grow)
  - Integrated Home Agent
  - Utilizes high performance server as hardware platform
- ST-40
  - High availability
  - Fully redundant architecture with no single point of failure
  - Supports integrated Home Agent
  - Centralized architecture
  - Can manage up to 10,000 BS and 2 million active sessions

### ControlMAX AAA

- WiMAX AAA Server
  - Simultaneous support for multiple EAP methods (including EAP-TLS, EAP-TTLS and EAP-AKA)
  - Full support for Mobile IP
  - Centralized encryption and key management for mobile WiMAX
  - Provides key subscriber data for lawful intercept solutions
  - Session & flow-based accounting
  - Wholesale & retail business models
- Multiprotocol (RADIUS/DIAMETER) support provides a future-proof solution
- Highly scalable architecture, built on Oracle database
- Supports multiple access technologies on single server

## ControlMAX – Airspan’s Mobile WiMAX Core Network Solution

- A family of core network products to suit all network needs
- Scalable – from entry level to high performance models
- Optimized CAPEX utilization

The IEEE 802.16e-2005 standard and the WiMAX Forum™ Network Reference Model (NRM) divide the WiMAX network into two main parts:

- Access Service Network (ASN)
- Connectivity Service Network (CSN)

The ASN consists of the WiMAX base stations and the ASN Gateway (ASN-GW). ASN-GW controls and aggregates traffic from a large number of WiMAX base stations. CSN is at the network core providing control and management functions like IMS, DHCP, FTP and AAA.

Airspan’s ASN-GW & CSN product family is called ControlMAX. In collaboration with Starent Networks and Bridgewater Systems, Airspan provides the most proven, scalable and robust WiMAX core network solution of its kind.

### AAA

The ControlMAX AAA includes AAA functionality built around a powerful policy and profile engine. ControlMAX AAA allows Service Providers to offer and control access to the WiMAX network, as well as other access technologies such as EV-DO, UMTS, Wi-Fi and DSL. ControlMAX AAA provides superior performance, delivering a carrier class solution to the WiMAX ecosystem.

The ControlMAX Gateway includes ASN-GW and Home Agent functionality on two platforms, the AN1 and ST40.

Both of these platforms support the Profile C R6 interface to the base station. ControlMAX Gateway offerings utilize common ASN-GW software, with different hardware architecture suited to particular deployment models as described below.

### AN-1 Entry level ASN-GW

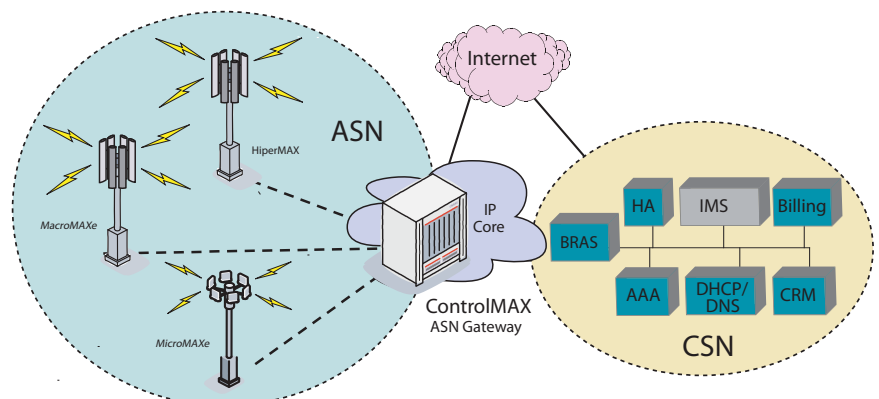
AN-1 is an entry level, low cost ASN-GW optimized for a distributed architecture with large deployments, as well as a centralized architecture for smaller deployments. AN1 operates on a high performance server, allowing additional servers to be added as the network grows.

### ST-40 High availability, High Performance ASN-GW

ST40 is a centralized ASN-GW on a carrier class hardware platform with no single point of failure.

The ST40 is highly scalable and enables multiple functions such as ASN-GW, Home Agent, Session Control Manager, and Paging Controller on the same platform. ST40 features the unique ability to deploy services “in-line,” - integrated into the bearer traffic plane at the edge of the packet core network. The ASN-GW steers traffic intelligently, leading to the most efficient and profitable transaction.

ST40 is ideal for providing a highly reliable centralized ASN-GW, with impressive advanced features for operating a Mobile WiMAX network, allowing interoperability with other access technologies.







## The SIP based Admission Control Server

### Main Features

- Enables carrier-class VoIP services with no need for client software in the end user devices
- VoiceMAX functions
  - Auto discovery of end users simplifies the registration process
  - Admission Control for managing network resources according to service provider policy
  - Emergency calls prioritization
  - Dynamic UGS management for effective bandwidth utilization
- VoiceMAX architecture
  - SIP based software product deployed on a standalone server in the core network
  - Rack mountable
- VoiceMAX management
  - Local console
  - Over the Internet

## VoiceMAX

- Provides carrier-class voice quality over wireless IP
- SIP based protocol
- Supports end user devices from other vendors
- Service Provider defined policy management and enforcement

Carrier-class VoIP requires constant, uninterrupted data flow. In an ideal world packets would not arrive out of sequence or suffer from delays or packet lost. In a shared medium such as wireless access, the amount of carried traffic may fluctuate from one moment to the next causing delay and jitter. Therefore, carrier-class VoIP over wireless cannot be left to chance.

Airspan has deployed in-house expertise in both wireless and voice technology in order to bring a unique, SIP based solution to Voice over Wireless IP (VoWiP), we call VoiceMAX.

VoiceMAX is a standalone server which makes best use of the advanced admission control mechanisms and QoS features of the IEEE 802.16 standard.

VoiceMAX is deployed in the core network, in CSN. It communicates with the WiMAX base stations and with the Softswitch, using SIP protocol, in order to dynamically allocate WiMAX network resources to originating and terminating VoIP calls to ensure desired voice quality, at the same time minimizing waste of pre-assigned bandwidth.

The standalone VoiceMAX server performs the following functions:

- Auto discovery of the end users - VoiceMAX acts as a standard SIP proxy intercepting all SIP messages. The registration packet triggers the "Auto Discovery" mechanism, which at the end of the process gives the VoiceMAX the ability to determine, to which BS a specific end user (SIP User Agent) belongs, thus simplifying the registration process.
- Admission control - VoiceMAX prevents over subscription of network resources in accordance with the policies of the service provider. Enables emergency numbers to be prioritized.
- Dynamic UGS - VoiceMAX provides the ability to dynamically create and tear down UGS sessions. Using this mechanism, it enables guaranteed bandwidth utilization in accordance with the negotiated codec selection.

VoiceMAX can be managed either from the local console or remotely over the Internet.





## Operations & Management Platform

### Main Features

- EMS Manages Mobile WiMAX and Fixed WiMAX network elements
- Field proven management system, managing WiMAX networks worldwide
- Based on Microsoft .Net platform
- Flexible architecture, supporting distributed servers
- Full system configuration, operation and maintenance via standard web clients
- Standard API for integration with OSS/BSS
- Uses standard WiMAX MIB for all configuration and O&M activities

## Netspan – Element Manager for WiMAX

- Element Manager for Airspan’s base stations and end user devices
- Optimized for effective management of WiMAX networks
- Captures the real-world experience gained over many years in hundreds of networks deployed

Airspan’s WiMAX products incorporate all the features that are required for the initial installation and commissioning of the products as well as their day-to-day efficient running. To this end, all products include comprehensive management capabilities in terms of features designed into the products as well as the centralized Operations & Management (O&M) system, Netspan.

Netspan has been developed as a comprehensive element manager that supports Mobile and Fixed WiMAX deployments of Airspan’s products.

Netspan provides the following functions:

- Fault management
- Configuration management
- Administration
- Performance management
- Security management

Netspan is designed around a client/server architecture. The Netspan server runs on a PC platform, making use of an SQL database to store the configuration, statistics and alarm

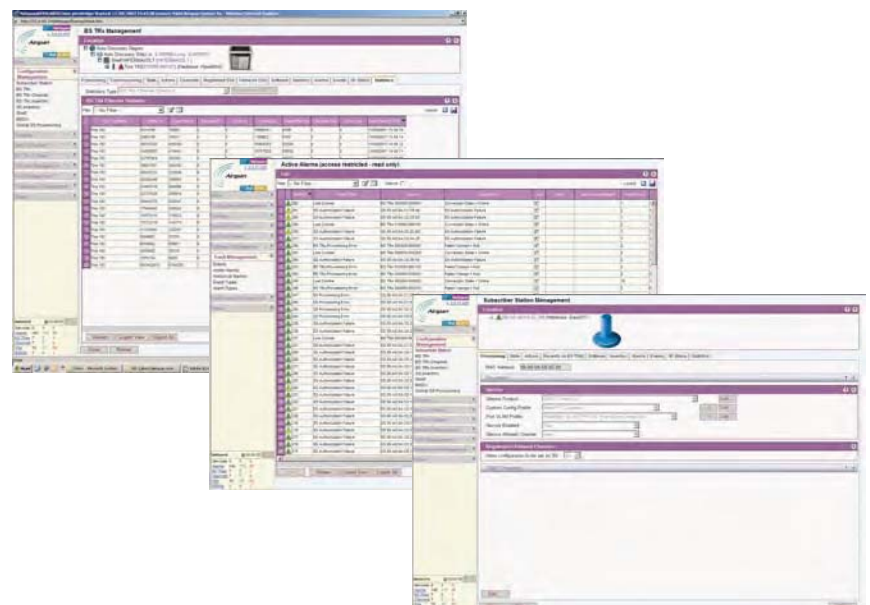
history from the radio network. Access to the Netspan server is from web browser such as Internet Explorer, Mozilla Firefox or Google Chrome using the web service of the Netspan server.

The Netspan O&M has terminal mobility service support from day 1, enabling roaming and self-installation by customers using and of the Airspan CPE models.

Auto-CPE provisioning and Auto-Service Flow and Service Product allocation ensures that the network operator can take advantage of any compatible WiMAX Certified CPE that connects to his network. Network Authentication and provisioning may also be managed separately using Airspan’s ControlMAX AAA solution.

Each Netspan operator is given configurable access rights, allowing each operator to be granted the rights appropriate to their function.

Netspan provides configuration and diagnostic access to every WiMAX network element, right down to each individual Subscriber Terminal.



	AN-1	ST-40
ASN-GW	•	•
Home Agent	•	•
Enterprise Access Gateway		•
WIMAX	•	•
WiFi		•
Open R6 Interface	•	•
Distributed Profile C ASN Support	•	
Centralized Profile C ASN Support	•	•
User Authentication	•	•
Device Authentication	•	•
Paging Controller	•	•
Location Register	•	•
Simple IP (IPv4)	•	•
Proxy Mobile IP (IPv4)	•	•
Intra-ASN (Micro) Mobility	•	•
Inter-ASN (Macro) Mobility (R4)	•	•
CSN Anchored Mobility	•	•
AAA assigned IP addresses	•	•
Local IP address pools (static & dynamic)	•	•
Overlapping private IP address pools	•	•
DHCP Proxy Server	•	•
Enhanced Charging Service	•	•
Intelligent Traffic Control	•	•
Stateful Firewall	•	•
Content Filtering / Parental Control		•
Peer-to-peer Detection & Control		•
Session Recovery		•
Geographic Redundancy		•
L2TP LAC		•
IPSEC		•
GRE Tunneling	•	•
IEEE 802.1q VLANs	•	•
RIP	•	•
OSPFv2	•	•
Prepaid Accounting	•	•
Post Paid accounting	•	•
Hotlining	•	•
Destination Based accounting		•
Lawful Intercept	•	•
CORBA Web Element Management System (FCAPS)		•

Note: Specifications are subject to change without notice and are for information purposes only.

# Technical Datasheet - Netspan

Communications & Networking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple Object Access Protocol (SOAP) Northbound Interface for alarms and provisioning</li> <li>• Physical Connectivity: Ethernet</li> <li>• Client-Server: HTML over HTTP</li> <li>• Equipment Management: SNMP</li> <li>• Database: SQL</li> </ul>
Fault Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Events and Traps from 802.16f MIB and Private MIB</li> <li>• Active Alarm Monitoring</li> <li>• Alarm Hierarchic Aggregation</li> <li>• Alarm Acknowledgement &amp; Clear</li> <li>• Historical Storage / Logging of Alarms</li> <li>• Alarm and Event Filtering</li> <li>• Alarm Tracking</li> <li>• Status Monitoring</li> </ul>
Configuration Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventory Management</li> <li>• Topology Hierarchy</li> <li>• Base Station Commissioning</li> <li>• Service Provisioning</li> <li>• State Tracking of all network elements</li> <li>• Network wide status reports</li> <li>• Network Software Upgrade Management</li> <li>• Profile Import / Export</li> </ul>
Performance Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Periodic &amp; On Demand Measurements</li> <li>• Display of key performance indicators</li> <li>• Traffic &amp; Radio Statistics</li> <li>• Statistics Archiving</li> <li>• Export of statistics data</li> <li>• Graphical Analysis</li> </ul>
Security Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Password and Security Policy Management</li> <li>• Encrypted Password Storage</li> <li>• Multi-level Security Policies</li> <li>• Form &amp; Role based authentication</li> <li>• Policy based content filtering</li> <li>• User activity logging</li> <li>• Multi-user support</li> </ul>
OSS Integration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standards based SOAP Northbound Interface</li> <li>• Access control security</li> <li>• Extensive API support</li> </ul>
Database Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Management of Fault and Event Storage</li> <li>• Management of Statistics Storage</li> <li>• Database Integrity Checks</li> <li>• Integrated Database Administration</li> </ul>
GUI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AJAX Technology for enhanced client experience</li> <li>• Platform independent web clients</li> <li>• User defined screen layouts</li> <li>• Context sensitive local help system</li> <li>• Advanced Filters and Search capabilities for rapid troubleshooting</li> <li>• Administration tools</li> </ul>
Failure Protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Server clustering</li> <li>• Scheduled backup</li> <li>• Full SQL redundancy with SQL mirroring</li> <li>• Distributed Architecture for service redundancy</li> <li>• Supports RAID Controller for disk redundancy</li> </ul>

Find out  
more about Airspan's  
products and solutions

For more information about Airspan, its  
products and solutions, please visit our  
website:  
[www.airspan.com](http://www.airspan.com)

or email:  
[sales@airspan.com](mailto:sales@airspan.com)

With more than 500 customers  
in over 100 countries, Airspan  
has the expertise and experience  
to deliver the most advanced  
technology WiMAX solution that  
will best meet your needs.

Contact Airspan today!

Airspan has sales offices in  
the following countries:

**Europe**

Finland  
Poland  
Russia  
United Kingdom

**Americas**

United States

**Asia Pacific**

Australia  
India  
Indonesia  
Japan  
Philippines  
Sri Lanka



Worldwide Headquarters;  
Airspan Networks Inc.  
777 Yamato Road, Suite 310,  
Boca Raton, FL 33431-4408, USA  
Tel: +1 561 893 8670 Fax: +1 561 893 8671

Airspan Communications Limited  
Cambridge House, Oxford Road,  
Uxbridge, Middlesex, UB8 1UN, UK  
Tel: +44 (0) 1895 467 100 Fax: +44 (0) 1895 467 101

[www.airspan.com](http://www.airspan.com)

001-0107-006 Rev J