



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

**Trabajo Monográfico para optar al Título de
Ingeniero en Telecomunicaciones**

**“Diseño de un Sistema de Red Inalámbrica Basada en Tecnología WiMAX en la
Ciudad de Chinandega, Nicaragua”**

Autores:

Br. Roberto Zaid Guevara Medina
Br. Edwyng Josué Bermúdez Canales

Tutor:

Msc. Ing. Ernesto Lira Rocha

Managua, Nicaragua, Agosto 2018

RESUMEN

En la presente propuesta se realizó un diseño para una red basada en tecnología WiMAX en la ciudad de Chinandega. Las predicciones se realizaron a una frecuencia de 3.3Ghz.

Se identificó los objetivos de cobertura y después se ubicaron los sitios para satisfacer dichos objetivos de cobertura. Se generaron 6 sitios y se hizo un análisis de cambio de los parámetros, tales como azimuth, tilt eléctrico, tilt mecánico, pérdidas y altura donde estarán ubicadas las antenas que propagarán las ondas electromagnéticas.

Se presentó las simulaciones con los 18 transmisores radiando, 3 transmisores por sitios. Para está simulación se hizo mediante una técnica de Hot Spot Zone con la herramienta de predicción Atoll, donde se generó un polígono que prácticamente contiene el área que se requiere radiar. Después, se generó un histograma que contiene información estadística que evidencia los valores de cobertura de la propuesta de red basada en tecnología WiMAX.

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	5
GENERACIONES DE COMUNICACIONES MÓVILES	6
DISEÑO DE LA RED WIMAX	35
CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las telecomunicaciones juegan un papel muy importante en la vida diaria de las personas, ya que por medio de infraestructura, tal como antenas, torres, equipos de radio, permite estar en contacto con miles de millones de personas alrededor del mundo, esto hace que haya una aceleración de la densidad de conocimiento, ya que podemos conversar y vernos en tiempo real, y esto no únicamente con fines de socialización, sino también podría fortalecer los procesos de enseñanza aprendizaje, ya que existen plataformas de carácter educativo que son interactivas, donde muchas personas que no tienen acceso a la educación tradicional, pueden perfectamente tomar cursos libres técnico y administrativos, y esto generará valor a la vida de ellos, porque estarán mejor preparados para ser competitivos en este mundo globalizado. Este aspecto es uno de los muchos que implica tener tecnología que nos permita estar intercomunicados mediante nuestras terminales móviles.

Wimax es una tecnología de 4G (cuarta generación) permite la recepción del espectro electromagnético y retransmisión por ondas de radio ofrece capacidades de 75Mbps por cada canal de 20Mhz e incorpora mecanismos para la gestión de la calidad de servicio (QoS). Además, permite amplias coberturas tanto con línea de vista entre los puntos a conectar (LOS) como sin línea de vista (NLOS) en bandas de uso común o licenciadas

Para diseñar un sistema de comunicaciones inalámbrica, basado en la tecnología Wimax, no solo es necesario saber elegir el tipo de transmisor, tipos de antenas, definir los parámetros primarios que estimar, etc., sino también, es necesario determinar las ubicaciones que garantice la cobertura con buenos niveles de potencia. La presente propuesta tiene como objetivo el diseño de una red Wimax en la ciudad de Chinandega, para ello se realizará un análisis en lo que respecta a los objetivos de cobertura que se pretende satisfacer su demanda.

2. ANTECEDENTES

Se realizó una investigación para conocer los trabajos de investigación que se han realizado en Nicaragua respecto al diseño de redes con la utilización de la tecnología Wimax. En el Centro de Documentación de la Facultad de Electrotecnia y Computación de la Universidad Nacional de Ingeniería se encontró únicamente un trabajo monográfico que se presentó en junio del año 2015. El trabajo monográfico tiene como título “Diseño de una Red Wimax en la Ciudad de Granada. Nicaragua”. En dicho trabajo [1] se obtuvo como resultado “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. Mediante las simulaciones en ATOLL se pudo conocer el estado inicial de la red, niveles de señales máximos y mínimas, capacidad de cobertura por cada transmisor, capacidad de la demanda de tráfico por parte de los usuarios (gestión de recursos radio en cada celda) y visualización de la interferencia señal/Ruido de cada servicio que se brinda. De los resultados obtenidos haciendo uso de las simulaciones Monte Carlo, para las simulaciones del primer escenario, llegamos a la conclusión que nuestra red no requería de colocar más sitios 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. A partir de los informes que ha generado Atoll, se concluyó que fuimos capaces de conseguir que se conecten a la red más de los usuarios inicialmente en objetivo”.

En lo que respecta al trabajo de final de grado [2] “se logró obtener a lo largo de dicho proyecto la explicación de las características básicas de la tecnología Wimax. También realizaron un diseño de una implantación de red WiMAX en un entorno rural, donde se propusieron arquitectura e implementaciones aproximadas a las condiciones reales en el mercado”.

El resultado de la tesis para la obtención de Master [3] “reflejó un 300% en lo que respecta la demanda de ancho de banda requerida por los puntos de consumo. Sin embargo, mostró debilidades, debido a que se requiere línea de vista (LOS) entre dos puntos de conexión para que los enlaces puedan transmitir a grandes distancias. Lo que resultó inconveniente para la instalación de redes en zonas con relieves muy accidentados o cuando un punto de la red está dentro de pequeñas poblaciones con presencia de edificios que pueda obstruir la línea de vista”.

En [4] se mostró “consideraciones en lo que respecta al diseño de red inalámbrico de última milla, en la parte urbana de la ciudad de la Cuenca, empleando WiMAX Móvil; esta red tiene la capacidad y niveles de cobertura suficientes para ofrecer servicios de valor agregado como voz, datos y video”.

La propuesta de diseño que se propondrá será para el casco urbano de la ciudad de Chinandega, por lo que el modelo de propagación que se definirá estará en función de la satisfacción de los niveles de cobertura en dicha ciudad, para el cumplimiento de buenos niveles de señal que permita un buen acceso del servicio de datos basado en la tecnología WiMAX.

3. JUSTIFICACIÓN

Se incluirán variables que promueven en modo significativo en conseguir de forma eficiente lo que respecta a los recursos que se requieren en los diferentes objetivos de cobertura en la ciudad de Chinandega, considerando las posiciones que representen la mejor calidad de cobertura, ya que se tendrá que definir las coordenadas donde se ubicaran las estaciones bases que serán los puntos de radiación, ya que esto juega un papel muy importante para lograr un buen desempeño del servicio de internet, esto tendrá un impacto en lo que respecta al desempeño en los niveles de recepción, evitando el ruido y mantener de una manera constante un tasa de descarga que cumpla con lo que establece el estándar.

La aplicación del conocimiento para la resolución de problemas hace que se desarrollen competencias en los estudiantes para enfrentar casos reales que se presentan en el sector de las telecomunicaciones. La importancia de este trabajo es que podrá servir como manual para el diseño de redes WiMAX, de esta manera se contribuye significativamente con el proceso de enseñanza aprendizaje, ya que este material podrá ser consultado por catedráticos y estudiantes que deseen incursionar en las comunicaciones móviles 4G

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de red inalámbrico basado en tecnología WiMAX que satisfaga los objetivos de cobertura en la ciudad de Chinandega.

4.2 Objetivos Específicos

- Hacer un estudio detallado del estándar WiMAX, sus características y requerimientos funcionales, para la definición de parámetros que contribuyan con el diseño de la red.
- Configurar los parámetros primarios del conjunto de estaciones bases que se necesitarán para satisfacer la demanda de cobertura en el casco urbano de la ciudad de Chinandega.
- Realizar predicciones con la herramienta computacional Atoll para analizar el comportamiento de cobertura en el casco urbano en la ciudad de Chinandega.

5. GENERACIONES DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

La primera generación se creó en el año 1981. Ericsson promovió el sistema NMT 450, el cuál utilizaba canales de radio analógicos en una frecuencia de 450Mhz, con modulación en FM. Posteriormente, la empresa Ericsson invirtió mucho tiempo en investigación y recursos para modernizar el sistema, a partir del año 1986 se lanzó la tecnología NMT 900, la que funcionaba igual que la tecnología anterior, con la diferencia que la banda de frecuencia era en 900Mhz. Al realizar este avance se logró tener un mayor número de usuarios, haciendo más rentable el servicio. Este fue el inicio de las comunicaciones móviles, disponiendo de terminales para comunicarse inalámbricamente. A continuación, se presentan las tecnologías 2G, 3G y 4G.

5.1 Generación 2G

La utilización de las ondas radioeléctricas se reveló desde hace tiempo como el único medio eficaz de establecer comunicaciones con puntos móviles, y lo siguen siendo durante mucho tiempo, ya que las ondas de radio gozan de la propiedad de salvar obstáculos, y el resto de las interacciones conocidas por la física actual no pueden propagarse a grandes distancias.

El radioeléctrico es un recurso limitado cuya utilización racional solo ha sido posible mediante reglamentación muy estricta que permite la optimización de la asignación de frecuencias.

El primer avance significativo fue la introducción del trunking automático. El sistema trunking consiste en la asignación de un canal libre existente dentro de un conjunto de canales disponibles, y que se mantiene solamente durante el tiempo que el canal está siendo utilizado en la conversación, pasando al estado de disponible para otro usuario cuando haya terminado la conversación que se desarrollaba a través de él. De este modo el número de canales que hay que instalar y que ocupar en el espectro se reduce notablemente.

Cuando el sistema gana inteligencia y la asignación de canal se realiza de manera automática, sin la intervención de un operador humano, nos encontramos con el trunking automático. El paso siguiente en el aprovechamiento del espectro radioeléctrico es el concepto celular, propuesto por la "Bell South" a principios de los años setenta.

5.1.1 Reutilización de Frecuencias

La idea fundamental en que se basan los sistemas móviles celulares es la reutilización de los canales mediante la división del terreno en celdas continuas que se iluminan desde una estación base con unos determinados canales.

La reutilización de frecuencias no es posible en células contiguas, pero si en otras más alejadas. El número de veces que un canal puede ser reutilizado es mayor cuanto más pequeñas sean las células. La red celular se compone así de un conjunto de estaciones base desplegadas por el territorio a cubrir por el servicio y que están conectadas entre sí o con centro de conmutación con acceso a la red telefónica pública, a la RDSI o a otra red celular móvil.

La estación base que recibe al móvil con un mayor nivel de potencia es la que queda asignada al mismo. Si por la movilidad del terminal, otra estación base recibe la señal procedente de la estación móvil con un nivel de potencia superior a 3 decibelios al que está recibiendo la estación que lo está controlando se produce la conmutación del canal y de la estación base a la que está conectada el terminal móvil. Este procedimiento se llama "Handover" DE POTENCIA.

Asimismo, existe un handover de calidad que se realiza de manera similar al anterior pero que en vez de considerar el nivel de señal para decidir sobre la conmutación de la estación base a la que está conectado un terminal móvil considera la calidad de la señal radioeléctrica.

5.1.2 Sistema de Celdas

El objetivo de un sistema celular es reutilizar canales, pero al estar estos canales asociados a estaciones base, lo que se hace es repetir estaciones base. Se dice que una estación se repite cuando tiene la misma tabla de frecuencias que otra determinada.

Interesa determinar cuántas estaciones como mínimo se necesitan para cubrir una superficie determinada. Pues bien, con tres tipos de estaciones base se puede conseguir ese objetivo sin que queden enfrentadas dos estaciones del mismo tipo, es decir que tengan un mismo grupo de frecuencias.

En condiciones teóricas de terreno llano, las estaciones formarían retículos formando triángulos equiláteros, no obstante, la teoría sobre celdas perfectamente hexagonales no se da en la realidad. Las bases se despliegan de forma irregular según el terreno, buscando un mínimo de zonas de sombra. El problema de la red está en determinar la ubicación idónea de las estaciones base para conseguir una mayor cobertura y minimizar las zonas de sombra.

Lo habitual de las estaciones base es que tengan un diagrama de radiación omnidireccional, es decir, que transmitan en todas las direcciones con la misma potencia y frecuencias. Si bien y para el mejor aprovechamiento del espectro y de la potencia radiada por las antenas, se puede sectorizar la radiación concentrando la potencia hacia un determinado sector. Se trata así de aprovechar la potencia enviada al móvil, dado que éste solo puede estar en un lugar determinado y la potencia enviada en otras direcciones se perdería inútilmente.

Con este sistema se obtiene un más eficiente uso del espectro en zonas de alta densidad de equipos móviles.

En este caso la idea es que cada base alimente a tres antenas que radian cada una para un determinado sector en principio de 120° . Este es el caso más común de sectorización, si bien se utilizan, además, otras configuraciones.

El diagrama de radiación de estas antenas no ser uniforme siendo más intensa en la bisectriz del sector y disminuyendo en los extremos.

5.1.3 RDSI en GSM

El sistema GSM permite la conexión con la red conmutada (Telefónica) y con la RDSI (Red de servicios integrados) y permite ofrecer al usuario telefonía, transmisión de datos (hasta 9.600 bit/s), facsímil del grupo III, conexión a sistemas de correo electrónico (X-400) y envío de mensajes cortos (alfanuméricos) que permite tanto su envío como su recepción desde un terminal móvil, leyéndolos en este último caso en el visor correspondiente.

Soporta igualmente otras prestaciones adicionales, como son, desvío de llamada, restricciones de llamadas entrantes o salientes, conferencias a tres, llamada en espera y otras más.

El terminal a su vez, ofrece prestaciones adicionales como marcación abreviada, repetición del último número marcado, bloqueo del terminal, etc.

El tema de la seguridad ofrece en este servicio novedades importantes respecto a los actuales (TMA), el uso de tarjeta de usuario para la autenticación de la validez de la llamada; encriptado, que facilita una confidencialidad total (voz, datos e identidad del abonado) e imposibilidad de utilización de equipos robados mediante la asignación previa de un número de serie a cada estación móvil.

En su componente radio se utiliza la banda de frecuencias de 900 Mhz con el método TDMA (Acceso por multiplexación en el tiempo), que proporciona ocho canales telefónicos en una misma portadora y una codificación de voz a 13 Kbps, destinándose

un octavo de tiempo a cada canal. Esta prevista para un futuro una codificación de voz a velocidad mitad, lo que permitiría la utilización de 16 canales por portadora.

5.1.4 Estructura GSM

En lo que se refiere a la estructura básica del GSM el sistema se organiza como una red de células radioeléctricas continuas que proporcionan cobertura completa al área de servicio. Cada célula pertenece a una estación base (BTS) que opera en un conjunto de canales de radio diferentes a los usados en las células adyacentes y que se encuentran distribuidas según un plan celular.

Un grupo de BTS's se encuentran conectado a un controlador de estaciones base (BSC), encargado de aspectos como el handover (traspaso del móvil de una célula a otra) o el control de potencia de las BTS's y de los móviles.

En consecuencia, el BSC se encarga del manejo de toda la red de radio y supone una auténtica novedad respecto a los anteriores sistemas celulares.

Una o varias BSC's se conectan a una central de conmutación de móviles (MSC). Este es el corazón del GSM como responsable de la inicialización, enrutamiento, control y finalización de las llamadas, así como de la información sobre la tarificación. Es también la interface entre diversas redes GSM o entre una de ellas y las redes públicas de telefonía o datos.

La información referente a los abonados se encuentra almacenada en dos bases de datos que se conocen como registro de posiciones base (HLR) y registro de posiciones de visitantes (VLR).

El primero analiza los niveles de suscripción, servicios suplementarios y localización actual, o más reciente de los móviles que pertenecen a la red local. Asociado al HLR trabaja el centro de autenticación (AUC), que contiene la información por la que se comprueba la autenticidad de las llamadas con el fin de evitar los posibles fraudes, la

utilización de tarjetas de abonado (SIM's) robadas o el disfrute del servicio por parte de impagados.

El VLR contiene la información sobre los niveles de suscripción, servicios suplementarios y área de localización para un abonado que se encuentra o al menos se encontraba recientemente en otra zona visitada. Esta base de datos dispone también de información relativa a si el abonado se encuentra activo o no, lo que evita el uso improductivo de la red (envío de señales a una localización que se encuentra desconectada)

El registro de identidad de los equipos (EIR) almacena información sobre el tipo de estación móvil en uso y puede eludir que se realice una llamada cuando se detecte que ha sido robada, pertenece a algún modelo no homologado o sufre de algún fallo susceptible de efectuar negativamente a la red.

En cuanto a las comunicaciones en la red, se ha desarrollado un nuevo esquema de señalización digital. Para la comunicación entre MSC's y registros de posición se utiliza la parte de aplicación para móviles del Sistema de Señalización número 7 del CCITT, fórmula casi imprescindible para la operación de redes GSM a nivel internacional.

5.1.5 Arquitectura GSM

La norma GSM únicamente especifica entidades funcionales e interfaces normalizados. Con ello se consigue la utilización de cualquier sistema por cualquier estación móvil, aunque no pertenezcan al mismo suministrador, y la interconexión de equipos de distintos suministradores a través de los interfaces normalizados, evitando influir de forma excesiva sobre los desarrollos particulares de cada uno de los fabricantes de equipos.

Vamos a describir en primer lugar las entidades funcionales e interfaces que constituyen el sistema GSM, describiendo su funcionalidad y las relaciones entre ellas. Y por último para poder tener una idea de la estructura física del sistema.

5.1.6 Elementos de un Sistema GSM

- Estación Móvil (MS) Una estación móvil se compone funcionalmente de dos partes:
 - El equipo terminal (ET).
 - La terminación móvil.

- El equipo terminal realiza funciones semejantes a las de un terminal RDSI y realiza las siguientes funciones:
 - Transmisión de radio.
 - Gestión de canales de transmisión radio.
 - Capacidad del terminal, incluyendo la interfaz hombre-máquina
 - Codificación de voz.
 - Protección de errores.
 - Control del flujo de datos de usuario.
 - Adaptación de velocidad de datos de usuario y velocidad del canal.
 - Soporte de terminales múltiples.
 - Gestión de movilidad.

- Hay tres tipos de TM
 - TM0 Realiza las funciones anteriormente mencionadas, sin incluir ningún interfaz.
 - TM1 Incluye además una interfaz RDSI.
 - TM2 Incluye además interfaces CCITT series X y V.

Utilizando estos tres tipos de TM se pueden establecer las configuraciones necesarias para acceder al sistema GSM.

Una estación móvil puede además clasificarse en distintos tipos según varias características

- Por su utilización:

- Equipo móvil.
- Equipo portátil.
- Equipo transportable.

- Por la potencia de salida

- Clase 1 20 w - Móvil y transportable.
- Clase 2 8 w - Vehículo y transportable.
- Clase 3 5 w – Portátil.
- Clase 4 2 w – Portátil.
- Clase 5 0.8 W – Portátil.

- Las características de las estaciones móviles se clasifican en tres tipos

- Básicas.
- Suplementarias.
- Adicionales.

- Características Básicas obligatorias de la estación móvil:

- Visualización del número llamado.

- Indicación de señales de progreso de la llamada.
- Indicación de país/sistema.
- Gestión de la identidad de suscripción (SIM).
- Indicador de PIN (clave de acceso) no válido.
- Identidad internacional de equipo de estación móvil (IMEI).
- Indicador de servicio.

- Características básicas opcionales:

- Indicación y reconocimiento de mensajes cortos.
- Indicación de saturación de memoria para mensajes cortos.
- Interfaz para equipo terminal de datos.
- Interfaz para terminal RDSI.
- Función de acceso internacional (tecla +).
- Conmutador encendido/apagado.
- Interfaz analógica.
- Auto prueba.

- Características suplementarias:

- Aviso de tarificación
- Control de servicios suplementarios

- Características adicionales:

- Marcación abreviada.
- Limitación de llamada a números fijos.
- Repetición del último número marcado.
- Operación manos libres.
- Restricción de todas las llamadas salientes.
- Bloqueo electrónico del terminal.

- Indicador de calidad de recepción.
- Indicador de unidades de tarificación.
- Estación móvil multi-usuario.

Módulo de identificación del usuario (SIM):

Para que una estación móvil GSM pueda funcionar necesita tener introducido el módulo de identificación del usuario.

Existen dos tipos distintos de módulo de identificación del usuario:

Una tarjeta inteligente que puede ser retirada de la estación móvil cuando el usuario termina de utilizarla.

Un módulo que es incorporado dentro de la estación móvil, con el fin de estar instalado permanentemente, aunque siempre sería posible retirarlo abriendo la carcasa de la estación móvil.

Este módulo es el que contiene toda la información necesaria para realizar la función de autenticación del usuario, además de otras informaciones necesarias para el sistema.

El SIM debe contener la siguiente información:

- Número de serie.
- Estado del SIM (bloqueado o desbloqueado).
- Clave del algoritmo de autenticación.
- Algoritmo de Autenticación (A3).
- Identificación internacional del usuario móvil (MSI).
- Identificación temporal del usuario móvil (TMSI).
- Algoritmo de generación de claves de cifrado (A8).
- Clave del algoritmo de cifrado de señalización y datos (A5).

- Número de secuencia de la clave del algoritmo de cifrado.
- Clase de control de acceso del usuario.

5.1.7 Sistema de Estación Base (BSS)

Es la entidad responsable del establecimiento de las comunicaciones con las estaciones móviles que se encuentran dentro de su red de influencia.

Esta red de influencia puede ser constituida por una o más células radio cada una de ellas con una estación base.

Hay ocho clases de estaciones base en función de la potencia que van desde los 320 W a 2.5 w.

Un sistema de estación base está constituido por un controlador de estación base BSC del que dependen una o más estaciones base BTS.

Una estación base está constituida por un conjunto de transceptores (TRX) que cubren la misma red. La estación base incluye además de los transceptores un módulo que realiza la función de control común de estos transceptores(FCC)

Tomando como base esta estructura existen dos tipos de sistemas de estación base:

- El sistema de estación integrado donde el BSC y una BTS están integrados en un mismo equipo.
- El sistema de estación base separado donde el BSC es una entidad distinta de las estaciones base, a las que se conecta mediante una interfaz normalizada, denominado interface A-bis. Esta última estructura, es la más general.

El transcodificador es un elemento que pertenece funcionalmente al BSS pero que puede estar situado físicamente en la BTS, en el BSC o externo al BSS (junto a la central de conmutación móvil).

La función de transcodificador es convertir la velocidad neta utilizada en los canales radio (inferior a 16 kb/s) a la velocidad normalmente utilizada en la red fija (que es de 64 kbit/s).

El que esta conversión no se realice hasta el final posibilita que se puedan multiplexar 4 canales de 16 kbit/s en uno de 64 kbit/s ahorrando capacidad de transmisión, en el interfaz entre la BTS y el BSC y en la interface entre el BSC y la central de conmutación (interface A).

A partir de los tipos básicos anteriormente definidos pueden distinguirse 7 estructuras finales distintas, teniendo en cuenta además la situación del transcodificador, y la utilización de submultiplexación en la interface A-bis. (BSS del 1 al 7).

Además de esta clasificación existen otras características funcionales, opcionales dentro de la especificación GSM, que determinan dentro de cada uno de estos tipos diferentes sistemas de estación base. Hay unas características funcionales que son fundamentales, función de salto de frecuencia (SLF), función de control de potencia (CP) y la función de transmisión discontinua (TXD).

La interconexión del BSS con las demás entidades del sistema GSM se define utilizando un modelo basado en el modelo de interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) recogido en las recomendaciones CCITT X200 y X210.

Dentro de cada capa están las entidades. Las entidades de distintos sistemas que pertenecen a la misma capa, pueden intercambiar información entre sí.

Las entidades de un mismo sistema situadas en capas adyacentes interactúan entre ellas a través de su frontera común. De esta forma las capas inferiores prestan sus servicios a las capas superiores.

Todos los sistemas del BSS: El interface radio, la interfaz A y el interface A-bis se han definido utilizando un modelo de tres capas:

- Capa 3
- Capa 2 (enlace de datos)
- Capa 1 (capa física)

La capa 1 coincide con la capa inferior del modelo OSI, y soporta todas las funciones necesarias para la transmisión de una secuencia de bits sobre un canal establecido en un medio físico de transmisión.

La capa 2 es la capa de enlace de datos, y tiene como misión permitir el intercambio de tramas de información entre dos entidades conectadas a través de un medio físico.

La capa 3 en realidad comprende las capas 3 a 7 del modelo OSI, llegando por lo tanto hasta definir la naturaleza de la comunicación requerida para satisfacer las necesidades de los usuarios de la comunicación.

Para definir totalmente la interconexión del sistema, además de esa estructura de capas es necesario también utilizar funciones de gestión del sistema. Estas funciones pueden incluir funciones que son comunes a varias capas:

- Funcionalidad del BSS.
- Funciones del BSC.
- Gestión de canales en el enlace BSC-MSC.
- Gestión de canales radio.

- Configuración de los canales radio (recibe del OMC)
- Gestión de secuencias de salto de frecuencia(BSC,OMC)
- estas secuencias son enviadas por el BSC hacia el BTS
- Selección de canal, supervisión del enlace y liberación de canal.
- Control de potencia en el móvil.
- Determinación del nivel de potencia necesario en el móvil
- Control de potencia en la BSS.
- Determinación de la necesidad de realizar cambio de canal.

- Funciones de la BTS:

- Gestión de canales radio.
- Supervisión de canales libres, y envío de información de estos hacia la BSC.
- Temporización de bloques BCCH/CCCH. Edición de mensajes de aviso.
- Detección de accesos al sistema por parte de móviles.
- Codificación y entrelazado para protección de errores.
- Determinación del avance de temporización que hay que utilizar para una comunicación con el móvil.
- Medidas de intensidad de campo y calidad de las señales recibidas de los móviles. Recepción de medidas enviadas por los móviles sobre condiciones de intensidad y calidad.
- Opcionalmente la BTS puede realizar un pre-procesamiento
- Construcción de los mensajes de aviso a partir de la información recibida desde la BSC.
- Detección de acceso por traspaso de un móvil, y comprobación de la identificación de referencia de este traspaso de acuerdo con la información recibida desde BSC.
- Encriptación de la información de señalización y tráfico.

5.1.8 Central de Conmutación Móvil (MSC)

Es una central de conmutación encargada de todas las funciones de conmutación para las estaciones móviles situadas en su red de influencia (MSC).

Las principales diferencias de esta central respecto a una central de la red fija, consisten en que esta central debe tener también en cuenta el impacto de las funciones de asignación de los recursos radio y la naturaleza móvil de los usuarios. Por lo tanto, este tipo de central implementa ciertos procedimientos adicionales a los de una central de red fija, como pueden ser por ejemplo la actualización de la posición de las estaciones

móviles, y lo que tienen que ver con las funciones de traspaso de llamadas en curso, cuando los móviles se van desplazando entre las células de la red móvil.

5.1.9 Central de Conmutación Móvil de Cabecera Gateway (MSCC)

Es una central de conmutación móvil que además es utilizada para dirigir hacia ella las llamadas originadas en la red fija.

Esta central se encarga de interrogar al HLR, adecuado para conocer la posición del móvil al que va dirigida la llamada, y posteriormente de encaminar la llamada hacia la central de conmutación móvil correspondiente.

La elección de las centrales de conmutación móvil que van a ser además centrales de cabecera depende de la organización de la red móvil.

El sistema GSM introduce respecto a los sistemas analógicos de segunda generación una mayor descentralización de las funciones de la central de conmutación móvil, pasando parte de ellas a ser realizadas dentro de los propios sistemas de estación base.

De esta forma se consigue descargar de trabajo a la central de conmutación y agilizar en muchos casos algunos procedimientos característicos de una red móvil, como puede ser por ejemplo el traspaso de las llamadas en curso, al pasar el móvil de una a otra célula.

5.1.10 Unidad de Interfuncionamiento (UI)

Es una entidad funcional asociada con la central de conmutación móvil. Esta unidad es la encargada de proporcionar la funcionalidad necesaria para permitir el interfuncionamiento del sistema GSM con las redes fijas (RDSI, RTC, y RTPCP). Las funciones incluidas en esta unidad dependen por lo tanto de los servicios que se implementen y de las redes fijas a las que se conecten.

Su principal cometido es convertir los protocolos utilizados en el sistema GSM a los utilizados en las redes fijas.

5.2 GENERACIÓN 3G [5].

El sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) fue promovido inicialmente por ETSI (European Telecommunications Standards Institute), su especificación actual corre a cargo del foro 3GPP (Third Generation Partnership Project), participado por varios organismos de normalización regionales. UMTS se basa en el empleo de una interfaz radio W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), con dos modos de operación, FDD (Frequency Division Duplex) y TDD (Time Division Duplex), y una tasa de 3.84 Mchip/s. Dentro de la red, en una primera fase se considera la utilización de los actuales elementos disponibles en las redes GSM y GPRS, planteándose su evolución para fases posteriores.

En la Figura. 1, se muestra la arquitectura general de los sistemas UMTS, definida por el foro de normalización 3GPP. Se trata de un modelo abstracto, aplicable a cualquier

red UMTS. La arquitectura general de UMTS se define en términos de dominios (agrupaciones de elementos funcionales) y puntos de referencia (interfaces). En el nivel de abstracción superior, el sistema UMTS se descompone en el dominio de equipo de usuario, UE (User Equipment) y el dominio de infraestructura (los equipos de red), mediando entre ambos la interfaz radio, o el punto de referencia Uu.

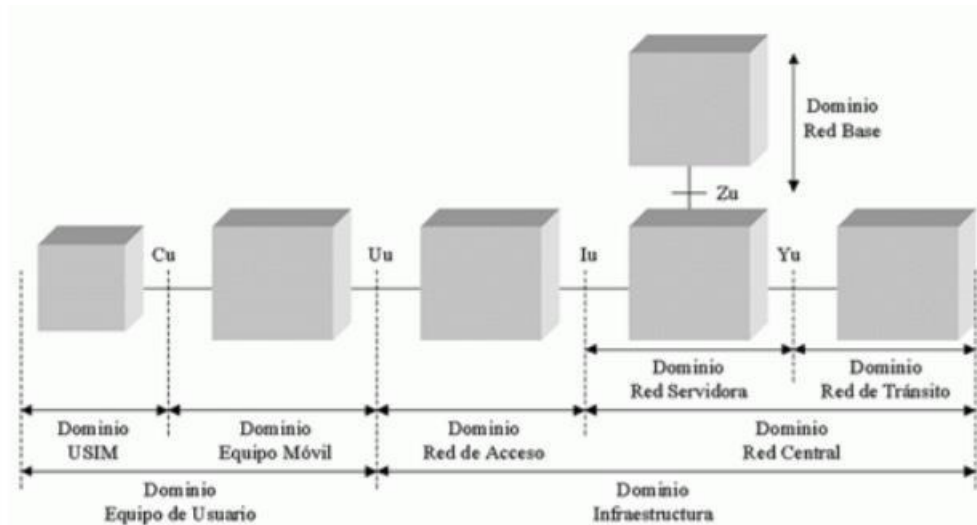


Figura 1. Arquitectura General de un Sistema UMTS. Fuente [5].

Dentro del dominio UE se distingue entre el módulo de identidad de abonado UMTS, USIM (UMTS Subscriber Identity Module), y el equipo móvil, ME (Mobile Equipment), definiéndose entre ellos la interfaz Cu. La USIM es una tarjeta inteligente que identifica el usuario de red UMTS, con independencia del equipo móvil (el terminal) en el que se halle insertada en un momento dado.

El dominio de infraestructura se subdivide en el dominio de red de acceso, AN (Access Network) y el dominio de núcleo de red, CN (Core Network), separados a través del punto de referencia Iu. El dominio AN incluye todas las funciones dependientes de la técnica de acceso empleada.

El CN, por el contrario, es independiente de la técnica de acceso, contemplándose la posibilidad de que soporte varias AN. Con objeto de permitir escenarios de comunicación con interlocutores de otras redes (operadores fijos, otras redes móviles, Internet, etc.), tanto si el usuario accede a través de su red propia (“home”) o la de otro operador (itinerancia o “roaming”), dentro del CN se distinguen tres dominios:

- Red de Servicio, SN (Service Network): representa la red a la que está accediendo el usuario en un momento dado, pudiendo ser la red propia, o en el caso de “roaming” la red visitada.

- Red Propia, HN (Home Network): es la red del operador al que el usuario está abonado. En el caso de “roaming”, la red visitada debe contactar con la red propia del usuario para diversos aspectos (por ejemplo, para temas de autenticación y tarificación).

- Red de tránsito, TN (Transit Network): es la red destino donde se encuentra el interlocutor con el que desea comunicarse el usuario.

En la arquitectura básica de una red UMTS conforme la Release 99 también distinguimos las tres partes esenciales: los equipos de usuario, la red de acceso, UTRAN, y el núcleo de red, CN. Dejando de un lado el cambio de nomenclatura de ciertos elementos e interfaces, no parecen existir grandes diferencias entre las arquitecturas de una red UMTS y de una red GSM/GPRS.

Así, la arquitectura de red de acceso UTRAN está formada por NodosB y controladores de red radio, RNC (Radio Network Controlers), equivalentes a las estaciones base, BTS, y los controladores BSC de GSM. Por otro lado, la arquitectura del núcleo de red es una réplica de la del subsistema de conmutación de GSM/GPRS. A pesar de las apariencias, obviamente existen algunas diferencias importantes. Los equipos de usuario se comunican con los Nodos-B a través de la interfaz Uu basada en WCDMA. Los Nodos-B, a su vez, se conectan a los RNC mediante la interfaz Iub (abreviatura de Iu-bis), equivalente a la interfaz Abis de GSM. Sobre Iub se transporta el tráfico de

usuario (voz, datos, vídeo, etc.) y también la señalización móvil-red, intercambiada entre el equipo de usuario y el núcleo de red (MSC o SGSN, según el caso).

Existe una nueva interfaz Iur, sin equivalente en GSM, que permite la comunicación directa entre RNC. Este interfaz permite el soporte de trasposos suaves (Soft-HO) entre estaciones base que pertenecen a distintos RNC. En cuanto al núcleo de red, ya se ha indicado que en la Release 99 se trata esencialmente de una versión mejorada del de GSM/GPRS. Desde el punto de vista de arquitectura, el parecido es completo, siendo las mejoras esencialmente de tipo funcional y de prestaciones, lo que permite el soporte de nuevos servicios y con mayores tasas de bit. Así, en el núcleo de red UMTS se encuentran los elementos habituales del subsistema de conmutación GSM/GPRS: los equipos de conmutación (MSC y GSN) y las bases de datos o registros (HLR, VLR, EIR, AuC). En el caso de UMTS, estos elementos se distribuyen en dos dominios: el de conmutación de circuitos, CS (Circuit Switched) y de conmutación de paquetes, PS (Packet Switched).

Esta separación en dominios no es más que una nueva manera de hacer referencia a las dos partes en las que se divide la infraestructura del subsistema de conmutación de las redes GSM/GPRS: la red de conmutación de circuitos relativa a servicios GSM, y la red de conmutación de paquetes relativa a servicios GPRS. La comunicación entre la red de acceso y el núcleo de red se efectúa a través de la interfaz Iu, que conecta a cada RNC con su MSC y su SGSN.

Sobre esta interfaz se transporta el tráfico de usuario y la señalización móvil-red hacia el dominio CS o PS, según se trate de una comunicación modo circuito o modo paquete, respectivamente. Esta distinción da lugar a la descomposición lógica de la interfaz Iu en dos interfaces: la interfaz Iu-CS (hacia el dominio CS) y la interfaz Iu-PS (hacia el dominio PS).

Una novedad importante de UMTS con respecto a GSM/GPRS es el empleo de ATM (Asynchronous Transfer Mode), como tecnología de transporte en la red de acceso. Esto se aplica tanto a las interfaces entre los equipos de la red de acceso (Iub e Iur),

como a las que conectan a ésta con el núcleo de red (lu-CS e lu-PS). Precisamente, el hecho de que estas últimas interfaces estén basadas en ATM, impide que un RNC se pueda conectar sin más a una MSC o un SGSN convencional como las que se utilizan en GSM/GPRS.

En la práctica, la solución requiere el empleo de un nuevo hardware, ya sea mediante equipos que adapten las interfaces lu-CS e lu-PS a sus equivalentes en GSM y GPRS (A y Gb, respectivamente), o mediante la inclusión de estas funciones dentro de las MSC o SGSN. Las especificaciones del 3GPP no indican cómo resolver este problema, por lo que cada fabricante puede recurrir al método que más le convenga.

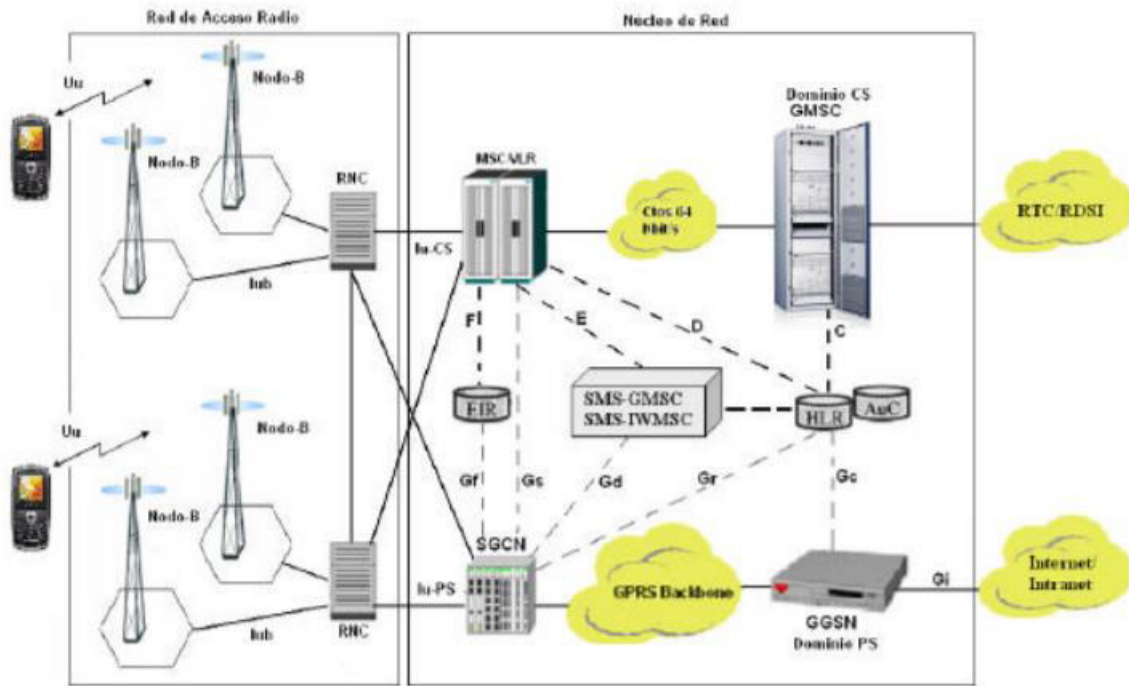


Figura 2. Arquitectura Básica de una Red UMTS Release 99. Fuente [5].

Concretando, las principales diferencias entre GSM y UMTS son:

- El empleo de una nueva técnica de acceso múltiple: Acceso Múltiple por División de Código en Banda Ancha (W-CDMA). Esta tecnología requiere incorporar un sistema de control de potencia para limitar la interferencia entre Nodos B pertenecientes a una misma RNC. Con W-CDMA no hay que llevar a cabo planificación de frecuencias ya que los usuarios son diferenciados por códigos. Como dos celdas adyacentes pueden utilizar la misma portadora, es posible conectar simultáneamente un equipo de usuario a dos Nodos B para beneficiarse de la diversidad de los trayectos. W-CDMA permite la transferencia entre celdas.
- La evolución del entorno de tráfico hacia un sistema global que ofrece al usuario una gran variedad de servicios y de aplicaciones, sujetos al cumplimiento de unas restricciones de calidad (QoS) en función del contrato adquirido con la compañía operadora.
- Incorporación del Modo de Transferencia Asíncrona (ATM) como método de transporte en la Red de Transmisión de Acceso. Como consecuencia del entorno de servicio múltiple, los enlaces entre los elementos de red deben ser “conductos” que soporten caudales variables de bits y distintos niveles de QoS.

5.3 GENERACIÓN 4G. LTE. [6].

3GPP especifica a su Release 8 los elementos y requisitos de la arquitectura de EPS que servirá como base para las redes de próxima generación (3GPP, 2016). Las especificaciones contienen dos principales elementos de trabajo, a saber, LTE y SAE, que según (Miñarro L., 2016) llevaron a las siguientes especificaciones:

a. Núcleo de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet Core, EPC). En la Figura 3. se muestran los elementos principales de EPC.

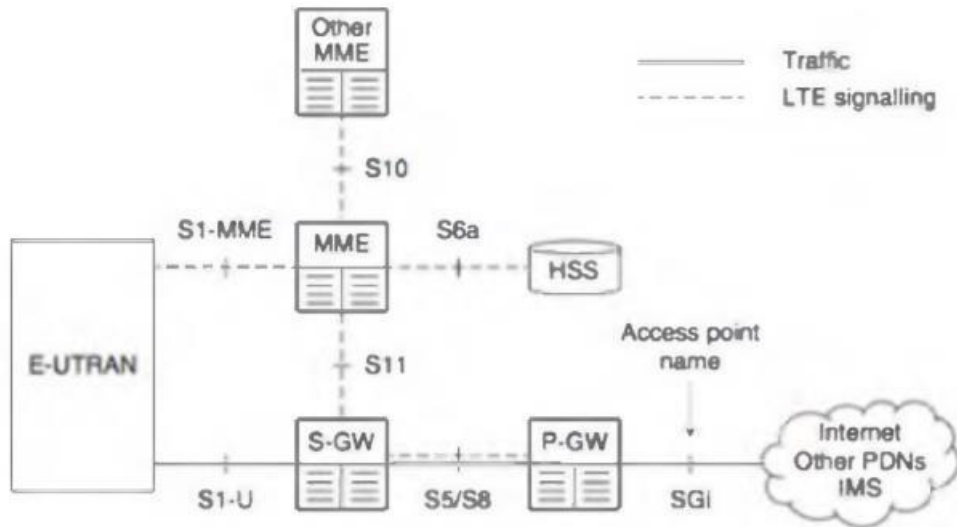


Figura 3. Elementos principales de EPC. Fuente [6].

b. Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionada (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN). En la figura 2.12 se muestra la arquitectura de E-UTRAN.

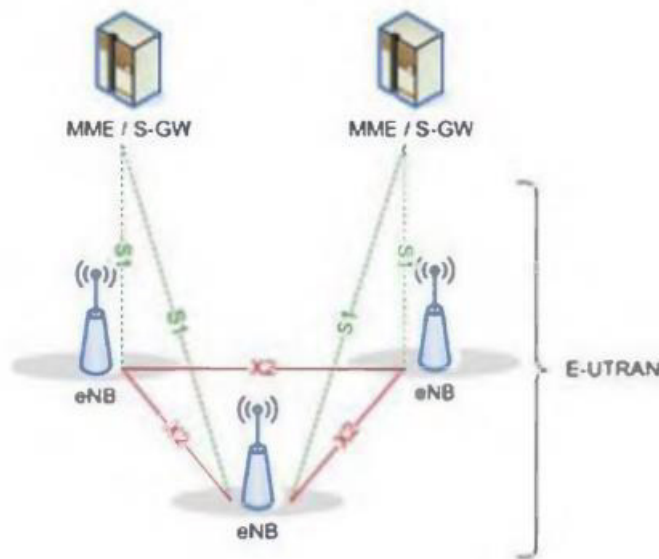


Figura 4. Arquitectura de E-UTRAN. Fuente [6]

La parte fundamental en la arquitectura E-UTRAN es el mejorado nodo B, también conocido como eNodo B o eNB, que proporciona la interfaz de aire con terminaciones del plano de usuario y plano de control de protocolo hacia la UE. Cada uno de los eNBs, es un componente lógico que sirve a una o varias células E-UTRAN, y la interfaz que interconecta el eNBs se llama la interfaz X2.

Además, las HeNBs conocidas también como femtoceldas, que son eNBs de menor costo para la mejora de la cobertura en interiores, se pueden conectar directamente a la EPC o a través de una puerta de enlace que proporciona apoyo adicional para un gran número de HeNBs. Además, que 3GPP consideró los nodos de retransmisión y estrategias de reinstalación sofisticadas para mejorar el rendimiento de la red. Los objetivos de esta nueva tecnología, es de incrementar la cobertura, mayores velocidades de datos, y un mejor rendimiento de calidad de servicio y equidad para los diferentes usuarios.

5.4 EVOLUCIÓN 4G. WiMAX.

Popularmente se conoce como WiMAX, pero sus siglas provienen de la definición World Wide Interoperability for Microsoft Access. WiMAX es el nuevo estándar tecnológico IEEE 802.16 de comunicaciones inalámbricas de acceso de banda ancha, que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de superiores a 2,3GHz. Dicho estándar aparece con el motivo de solventar los inconvenientes que presenta el estándar 802.11 (WiFi) a la hora de proporcionar acceso inalámbrico de banda ancha en entornos metropolitanos (conocidas como redes MAN).

Una de sus principales ventajas es dar servicio de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra óptica, debido a la baja densidad de población existente, presenta un elevado coste por usuario.

Esto puede darse en zonas rurales donde la densidad de población es baja y espaciada por lo que realizar un despliegue de cable en esa zona puede ser muy costoso y poco rentable para el operador. Este estándar no es necesariamente una sustitución de la conocida tecnología WiFi, sino que puede llegar a complementarla.

Es decir, si queremos implantar la tecnología WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural como es el caso que desarrollaremos en la parte final de este proyecto, podemos desarrollar un enlace con tecnología WiMAX hasta el edificio al que se quiere dar cobertura y posteriormente dentro de éste edificio, diseñar una red WiFi para dar acceso de internet de banda ancha a todas las instalaciones de la mismo [2].

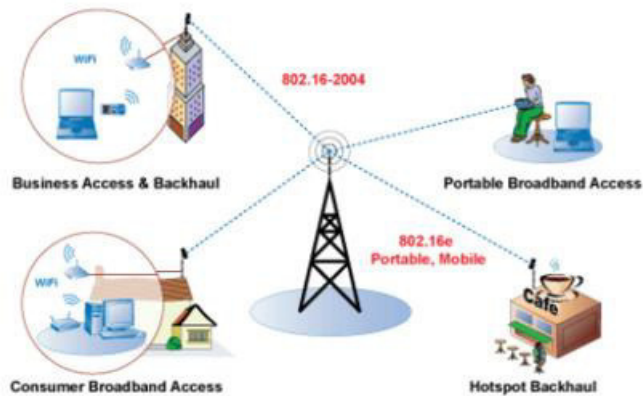


Figura 5. Esquema de Cobertura WiMAX. Fuente [2].

5.4.1 Funcionamiento de la Tecnología WiMAX [2].

Estación Base WiMAX: Ésta es similar en concepto a una torre de telefonía móvil. Es el elemento que se identifica normalmente con un operador de comunicaciones, y donde existen una o varias antenas con las que se retransmite la señal.

El tipo de antenas ubicadas en este extremo pueden ser omnidireccionales, de muchas direcciones, sectoriales, que cubren sectores específicos del territorio de cobertura, o antenas de panel, para conexiones punto a punto.

Una única torre WiMAX puede dar servicio a un área de gran tamaño.

- Receptor WiMAX: al otro lado de la conexión se encuentra el usuario final que puede ser residencial o corporativo. En este punto está instalado el CPE (Customer Premises Equipment o Equipo Local de Cliente), que constituye el último eslabón de este tipo de redes y en donde acaba el flujo de transferencia de datos entre operador y el cliente final. El receptor y la antena pueden ser una caja pequeña o una tarjeta PCMCIA, o puede estar incluso integrado dentro del PC.

Cada estación base (BS) ofrece una cobertura inalámbrica sobre un área llamada célula. Aunque el radio máximo de cada célula es teóricamente unos 50 kilómetros (dependiendo de la frecuencia de la banda elegida), normalmente los despliegues típicos usarán unas células de radio que oscilará entre 3 y 10 kilómetros. Otro aspecto destacable de WiMAX es que existen dispositivos que pueden actuar como repetidores de señal, pasando las señales de un dispositivo a otro hasta que se alcance la estación WiMAX base desde la que los diferentes dispositivos interesados consigan el acceso a Internet. A esta red intermedia formada por conexiones que pueden ser desde microondas hasta conexión que requieran visión directa, etc. Se le conoce como backhaul. Otra cosa básica de su funcionamiento es que WiMAX proporciona dos tipos de conexiones inalámbricas:

- Sin necesidad de visión directa (NLOS): conexiones donde una pequeña antena en el PC conecta a la torre. En este modo WiMAX usa el rango más bajo de frecuencia, que está entre 2 y 11 GHz (similar a WiFi). Las transmisiones de más baja longitud de onda no son fácilmente interrumpidas por obstáculos físicos. Pueden fácilmente propagarse alrededor de ellos.

- Con necesidad de visión directa (LOS). La conexión con línea de visión es más estable y robusta, capaz de enviar mayor cantidad de datos con una tasa de error baja. Este tipo de servicios usa las frecuencias más altas, lo que origina que haya menos interferencia y el ancho de banda sea mayor [2].

5.4.2. Aplicación de la Tecnología WiMAX

Con el uso de WiMAX se logrará que los servicios de Internet inalámbrico con altas tasas de transmisión sean una realidad, además de dejar el campo abierto para otras aplicaciones de voz o de video. Gracias a esta tecnología, se podrán ofrecer servicios de banda ancha wireless con tasas de transmisión de múltiples Mbps a todos los usuarios que estén dentro del alcance de la red WiMAX. WiMAX podrá expandir su uso gracias a la posibilidad de operar bajo frecuencias sin licencia, aunque también puede operar bajo frecuencias con licencia, además de que tiene un gran desempeño en comunicaciones sin necesidad de línea de vista y ofrece un mayor QoS (abreviación de Quality of service, inglés para calidad de servicio) que otras tecnologías.

El WiMAX Fórum, respaldado por líderes de la industria de las Telecomunicaciones como lo son Intel y Nokia, fomentará una amplia adopción de acceso a banda ancha Wireless con el uso de WiMAX, a través del establecimiento de una marca para la tecnología e impulsar la interoperabilidad entre los productos. Con el uso de tecnología WiMAX se pueden hallar soluciones para:

- Extender el alcance muy limitado de los hot spots públicos, y crear zonas más grandes con acceso a banda ancha wireless. Estas zonas son llamadas hot zones.
- Ofrecer mejoras en el acceso a banda ancha en áreas urbanas y suburbanas que hagan uso de cobre como medio de conexión, ya que, a grandes distancias, las conexiones a través de cobre tienen mucha pérdida de potencia y las tasas de transmisión son muy bajas [3].

5.4.3. Calidad de Servicio

La calidad de servicio (QoS, Quality of Service) es la capacidad que tiene un sistema de comunicaciones de asegurar que se cumplen los requisitos de tráfico para un flujo de

información. La RFC 2475 (An Architecture for Differentiated Services) establece algunas características significativas, cualitativas o estadísticas, que se deben tener en cuenta en la transmisión de un paquete en una dirección a través de una o más rutas en una red: caudal (throughput), demora (delay) y variación de demora (jitter). Internet ofrece un único nivel de servicio, Best Effort, donde no existe una pre-asignación de recursos, ni plazos conocidos, ni garantía de recepción correcta de la información. Solamente se ofrece el mejor nivel de servicio posible disponible en ese momento.

La QoS tiene como objeto solventar los problemas que han ido surgiendo en Internet y en las redes IP en general ante las nuevas aplicaciones y acceso masivo de usuarios. La demanda de servicios garantizados, y el despliegue de aplicaciones multimedia y servicios síncronos como voz y video en tiempo real, han generado la necesidad de definir y establecer calidad de servicio en las redes para el buen funcionamiento de estas aplicaciones.

Según (Pareek, 2007), un CPE hace una petición de QoS a las estaciones base. Dicha petición se basa en la aplicación deseada y puede darse más de una a la vez. Según los recursos y los tipos de servicio disponibles, se decidirá el tipo de QoS a otorgar. La QoS es manejada por la capa MAC, con funciones que se encargan de pre configurar los parámetros de tráfico de la Estación base con una QoS específica. WiMAX ofrece 5 tipos de QoS, cada uno de ellos diseñado para aplicaciones específicas [3]:

1. Unsolicited Grant Service (UGS): Diseñado para soportar aplicaciones en tiempo real que generan paquetes de tamaño fijo periódicamente y con requerimientos estrictos de retardo, reservando un ancho de banda fijo. Ejemplo: VoIP sin supresión de silencios.
2. Real Time Packet Service (rtPS) Diseñado para soportar aplicaciones en tiempo real que envían paquetes de tamaño variable periódicamente con requisitos más estrictos de retardo. Ejemplo: reproducción de videos en línea (Streaming Videos).

3. Extended Real Time Packet Service (ErtPS): Se especifica en 808.16e y se utiliza en servicios de VoIP con supresión de silencio. Especifica tasas mínimas y máximas, jitter y retardos.
4. Non Real Time Packet Service (nrtPS) Diseñado para aplicaciones que no especifican tiempos de retardo. Las conexiones nrtPS reservan un mínimo de ancho de banda para poder mejorar el desempeño de ancho de banda en aplicaciones que así lo requieren. Ejemplo: FTP.
5. Best Effort (BE): Similar a un nrtPS pero no reserva un mínimo de ancho de banda. Ejemplos: transferencia de datos y navegación. La VoIP ha migrado el tráfico de voz que tradicionalmente utilizaba como soporte una red de conmutación de circuitos (RTPC), a una red de conmutación de paquetes. Esto implica que la información de voz es fragmentada creando un flujo de paquetes independientes que viajan por diferentes caminos de la red, llegando al destino de forma desordenada y con diferentes retardos acumulados. Debido a esto, en la integración de la voz y los datos sobre una estructura única de conmutación de paquetes, existen algunas limitaciones que deben ser consideradas en el diseño e implantación de una solución de este tipo:
 - El ancho de banda necesario para la transmisión de las comunicaciones de voz.
 - El retardo con el que llegan los paquetes.
 - La variación del retardo en la transmisión (jitter).
 - Las pérdidas de paquetes.

5.4.4. Capa MAC

La capa de control de acceso al medio, proporciona una interfaz entre las capas más altas de transporte y la capa física, permite proveer la inteligencia en la capa física; específica tanto en el modo que los abonados accederán a la red, como la forma en que los recursos de la red asignarán a estos, las funcionalidades de la MAC son [4]:

- Soporte para las diferentes capas físicas definidas en IEEE 802.16x.
- Soporte en las tecnologías PMP, PP, MESH.
- Capa de convergencia para varios protocolos de las capas más altas.
- Control de QoS.
- Seguridad.
- Soporte a sistemas con antenas adaptivas.

La capa MAC, según IEEE 802.16x, está compuesta por la subcapa de convergencia, subcapa de parte común y la subcapa de privacidad.

5.4.4.1. Subcapa de Convergencia

Esta subcapa de convergencia interactúa entre las funciones de la capa MAC y la capa superior mediante el CS SAP, puede interconectarse con varios protocolos de las capas más altas, como: ATM, TDM, Ethernet, IP, etc.

5.4.4.2. Subcapa de Parte Común

Esta subcapa interconecta a la subcapa de convergencia mediante el MAC SAP, posee todas las funciones necesarias para realizar el intercambio y el control de datos, permitiendo el acceso al medio, estableciendo y manteniendo la conexión, asignando anchos de banda.

5.4.4.3. Subcapa de Privacidad

Esta subcapa se interconecta a la capa PHY mediante PHY SAP y posee todas las funciones necesarias de seguridad, permite proveer autenticación, intercambio de llaves y cifrado permitiendo proveer a los usuarios un servicio de banda ancha seguro a través de su conexión cifrada, y al operador protegerse de las conexiones no autorizadas.

6. DISEÑO DE LA RED WiMAX EN CHINANDEGA

El diseño que se propondrá se realizará con la herramienta de predicción Atoll. Para este diseño se realizará en función de los niveles de potencia para lograr satisfacer la demanda de cobertura en la ciudad de Chinandega. En la siguiente figura se creará el nuevo proyecto.

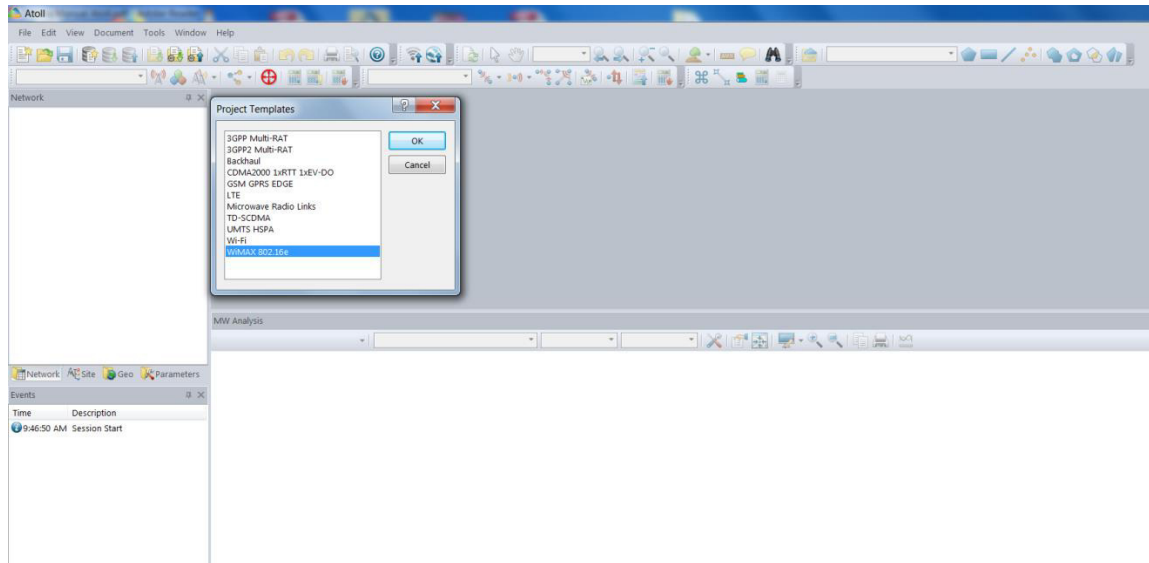


Figura 6. Realización del Proyecto WiMAX.

Aparecerá la siguiente ventana en la herramienta de simulación Atoll.

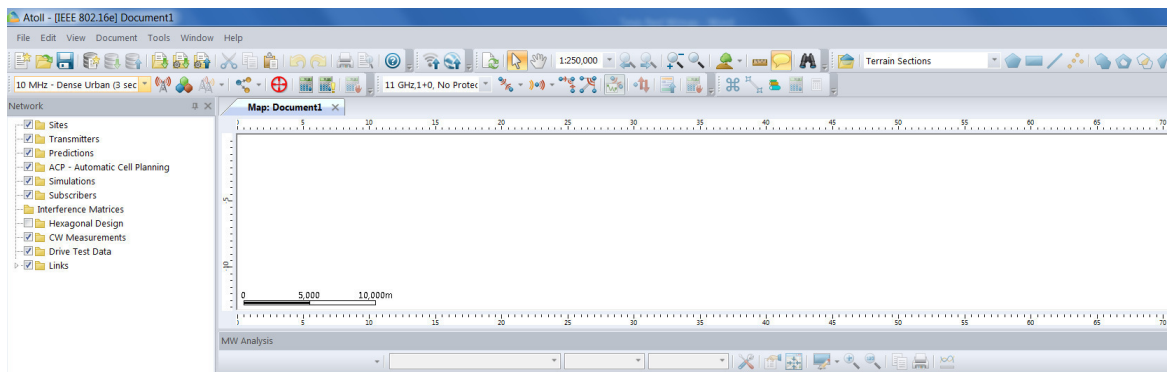


Figura 7. Ventana Principal Atoll.

Posteriormente, se deberá de hacer la configuración para el sistema de coordenadas. Para el diseño en Chinandega. Se deberá de utilizar una proyección de tipo WGS 84 / UTM zone 16.

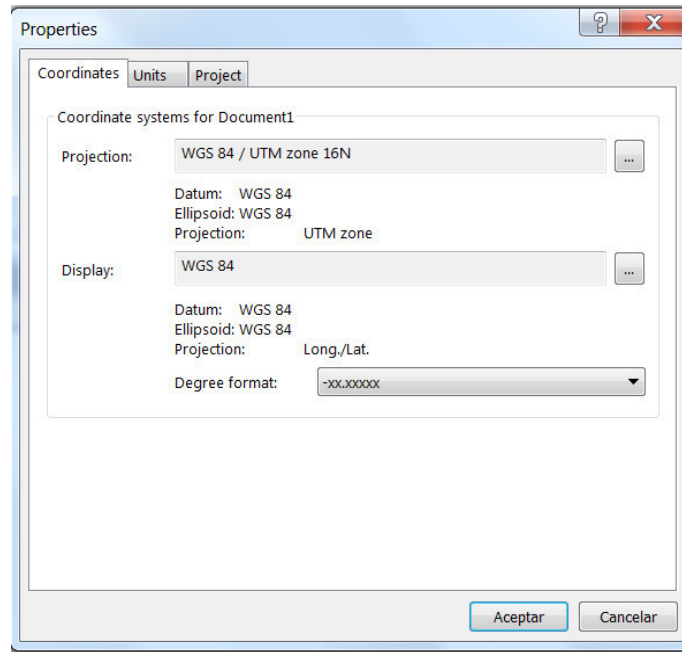


Figura 8. Configuración del Sistema de Coordenadas en Atoll

Aparecerá actualizada la ventana principal en la herramienta de predicción Atoll.

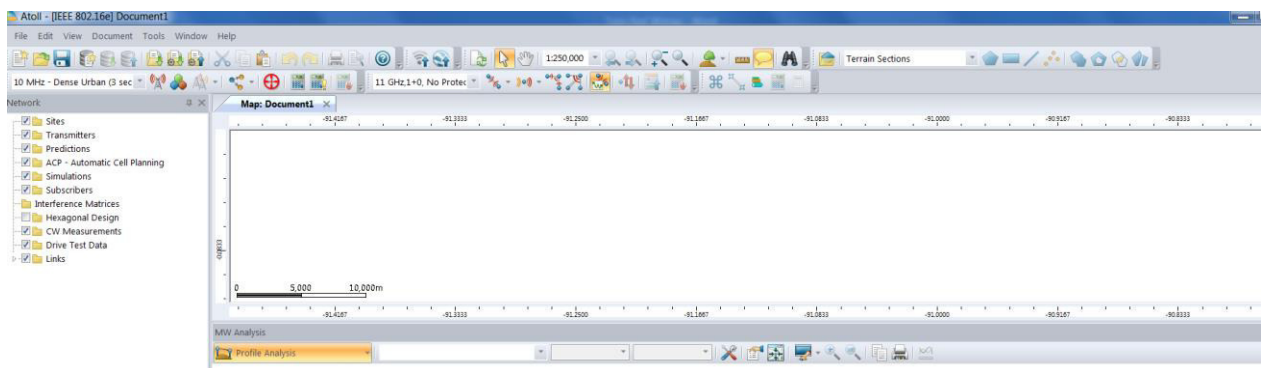


Figura 9. Ventana Principal.

Una vez creado el proyecto, primeramente, se cargará el mapa de imagen.

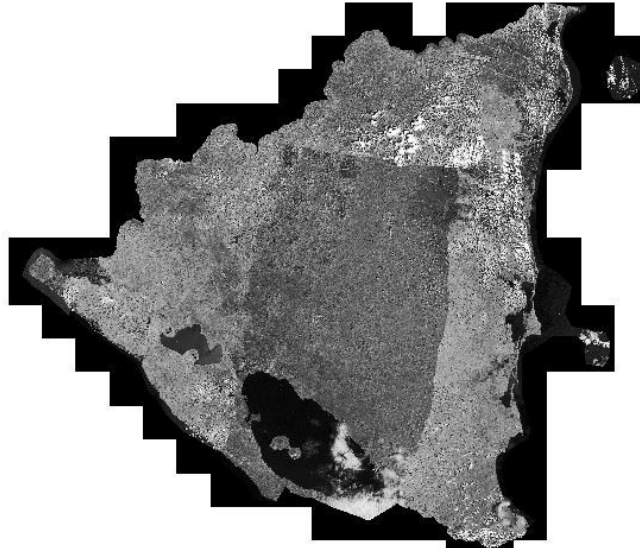


Figura 10. Mapa Imagen Cargado en Atoll.

Después, se deberá cargar el mapa de Clutter Classes.

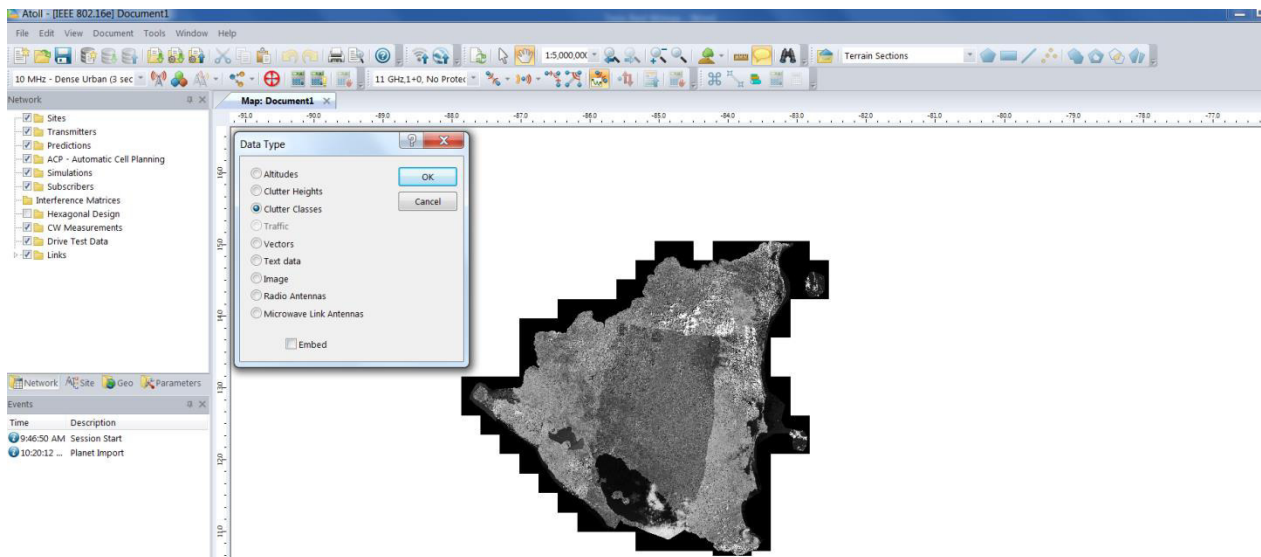


Figura 11. Cargando el Clutter Classes.

Se tendrá la siguiente imagen en el menú principal de Atoll

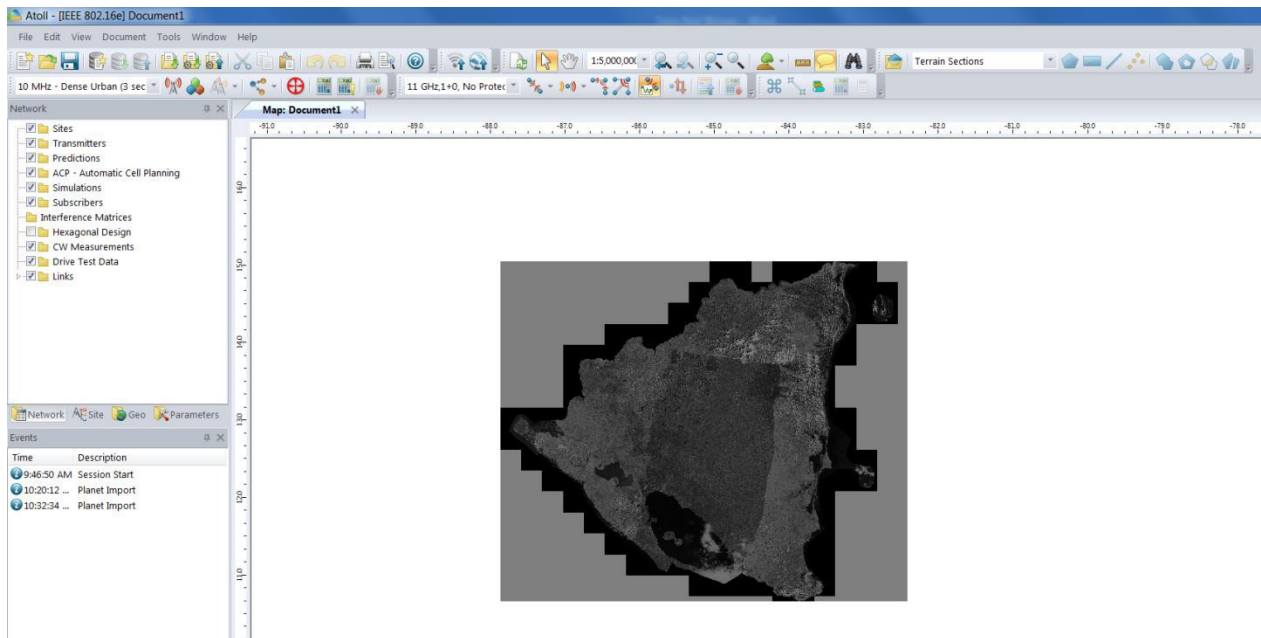


Figura 12. Imagen con el Clutter Classes .

Posteriormente se deberá de cargar el mapa Clutter Heights.

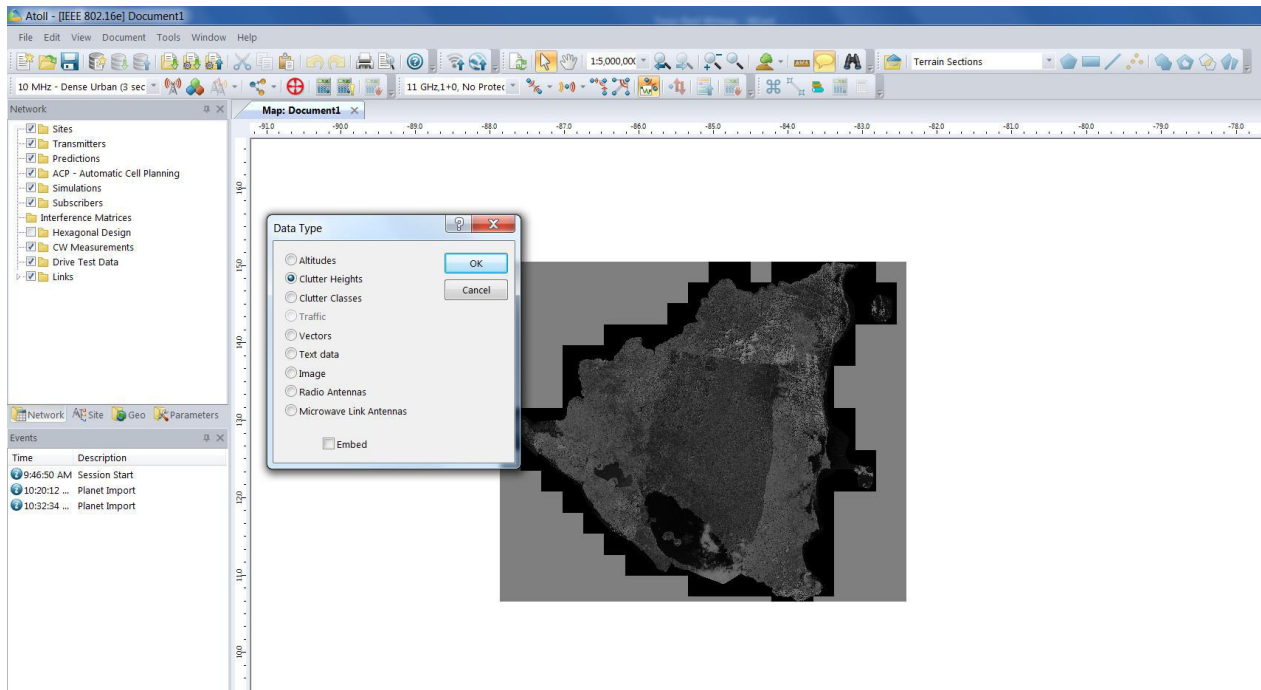


Figura 13. Cargando el Clutter Heights.

El mapa actualizado en la ventana principal de la herramienta Atoll quedaría así.

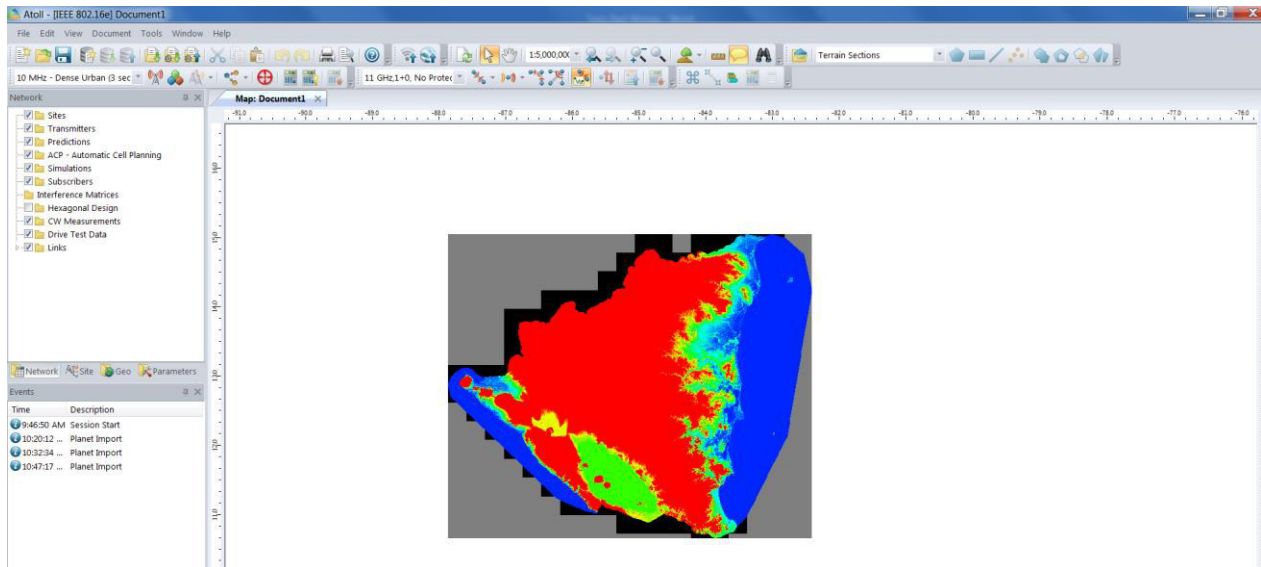


Figura 14. Clutter Heights Cargado en el Mapa.

Después se deberán de cargar los vectores.

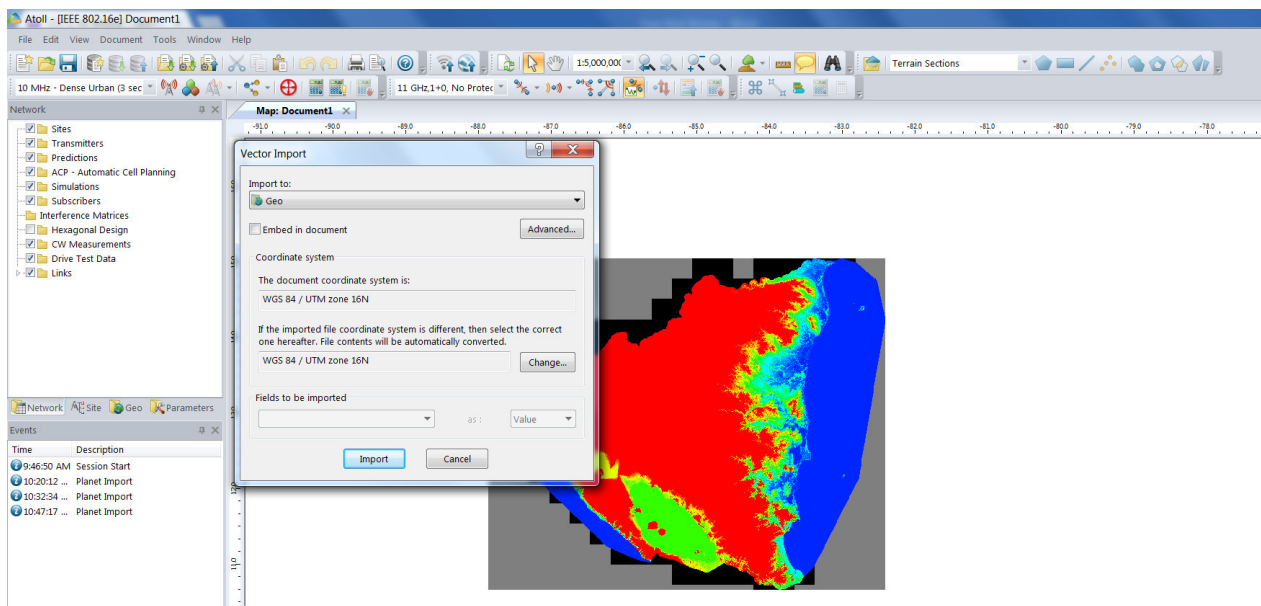


Figura 15. Cargar los Vectores en el Mapa.

El resultado de cargar todos los Vectors en el mapa es el siguiente.

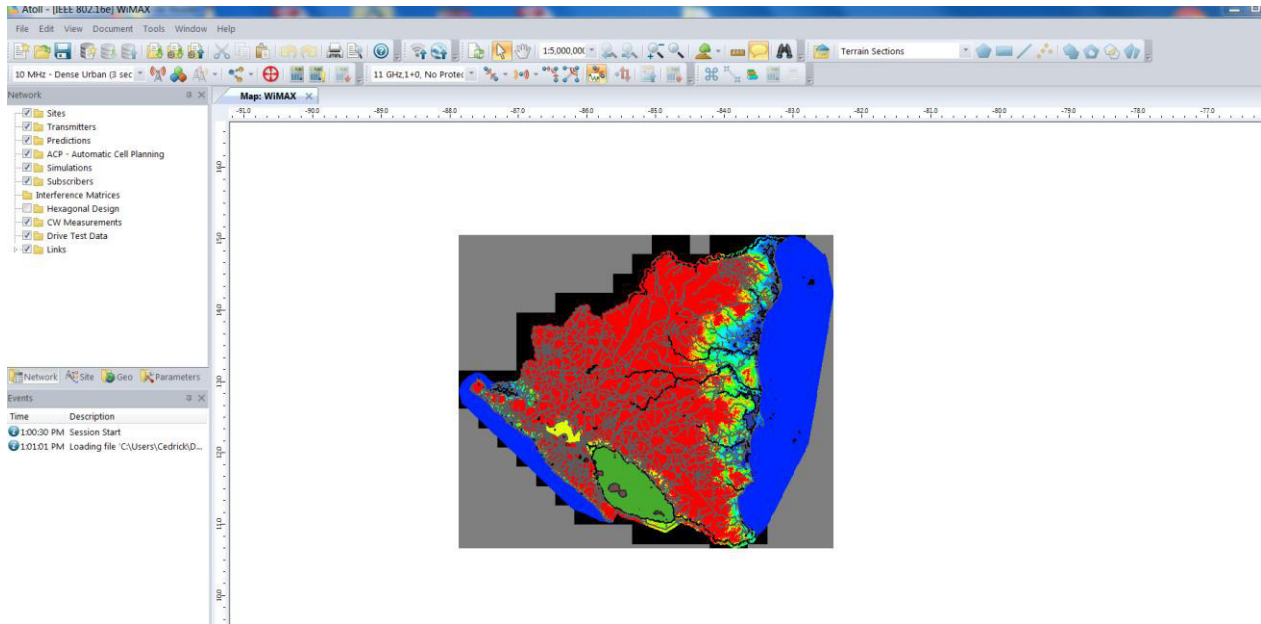


Figura 16. Vectors cargados en el Mapa.

A continuación, tenemos una vista aérea de Chinandega mediante la herramienta libre Google Earth.

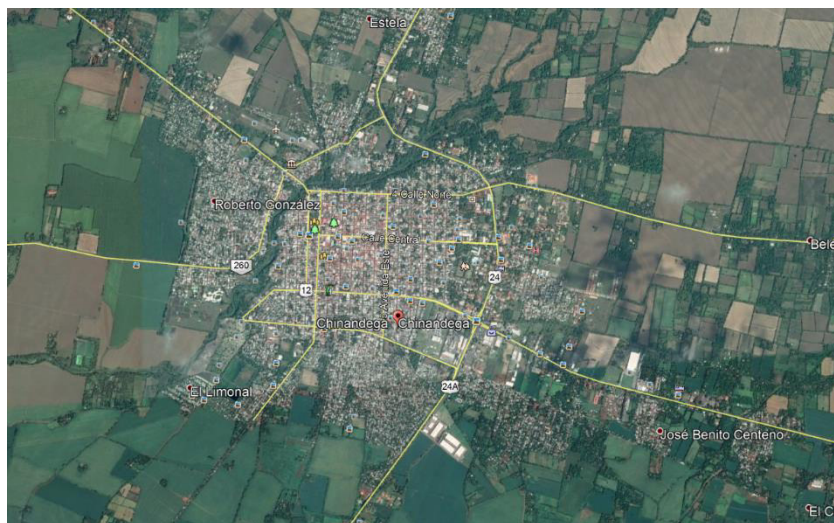


Figura 17. Vista aérea de Chinandega en Google Earth.

Para el presente diseño, se proponen 6 sitios para satisfacer los objetivos de cobertura de la ciudad de Chinandega.



Figura 18. Ubicación de los Sitios en la Ciudad de Chinandega.

Las coordenadas de los 6 sitios propuestos para el diseño son las siguientes.

Código del Sitio	Latitude	Longitude
CH01	12.631183	-87.142783
CH02	12.617126	-87.128495
CH03	12.629975	-87.128521
CH04	12.624574	-87.133086
CH05	12.637233	-87.131413
CH06	12.650102	-87.124854

A continuación, se ubicarán los sitios en la herramienta de predicción Atoll.

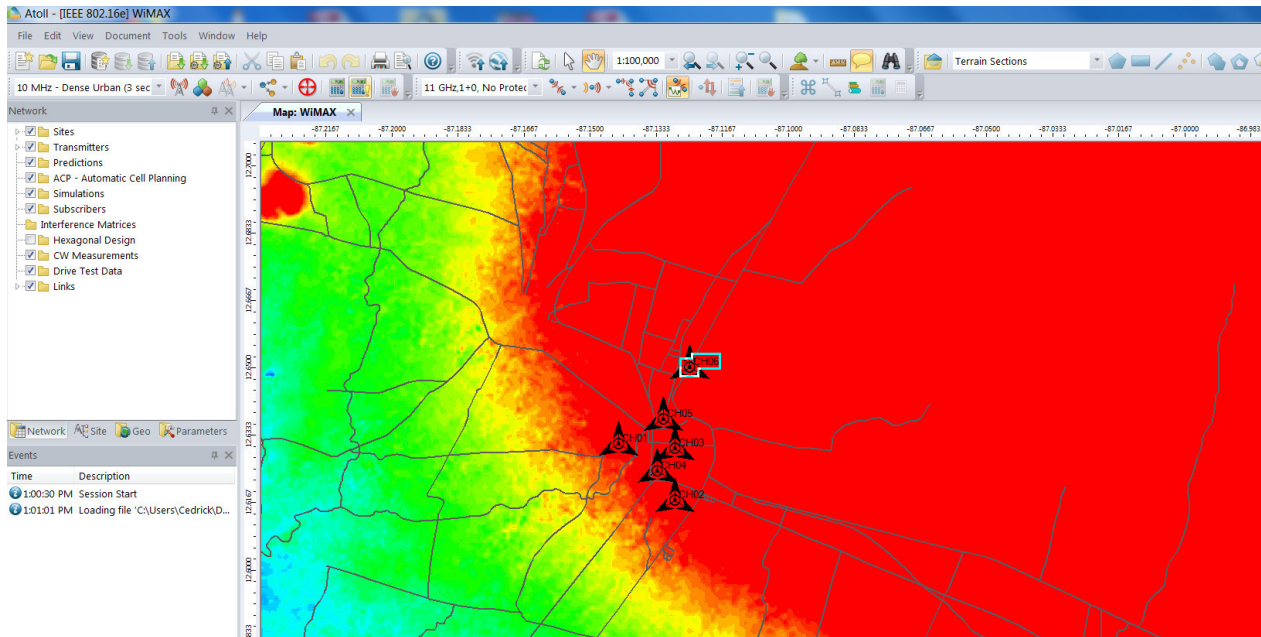


Figura 19. Sitios Ubicados en el Mapa.

Posteriormente, se deberá de configurar cada uno de los seis sitios. La frecuencia que se utilizará será de 3.3Ghz y un ancho de banda de 10Mhz para todos los sitios que conforman la red. Para el sitio con código CH01 tendrá la siguiente configuración para cada uno de los sectores A, B y C. Para el sector A se tiene.

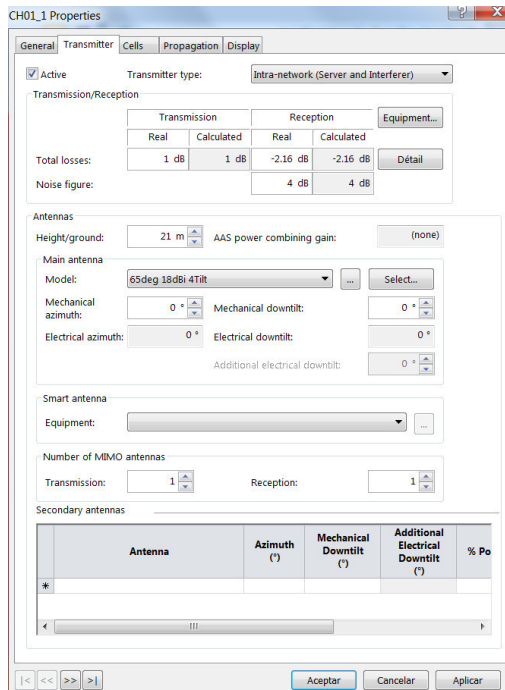


Figura 20. Configuración del Sector A del Sitio CH01.

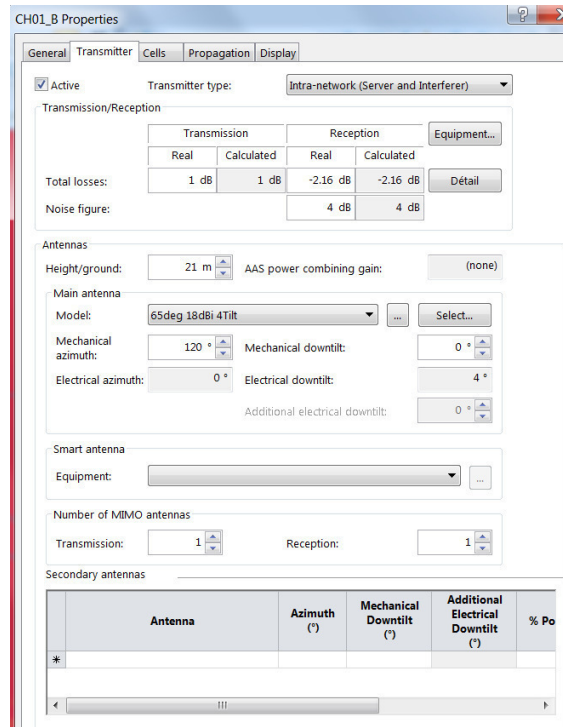


Figura 21. Configuración del Sector B del Sitio CH01.

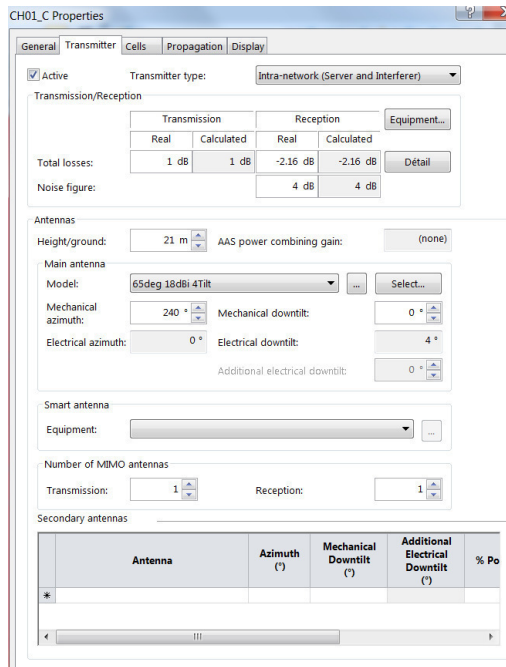


Figura 22. Configuración del Sector C del Sitio CH01.

Para el sitio CH02, se tiene la siguiente configuración:

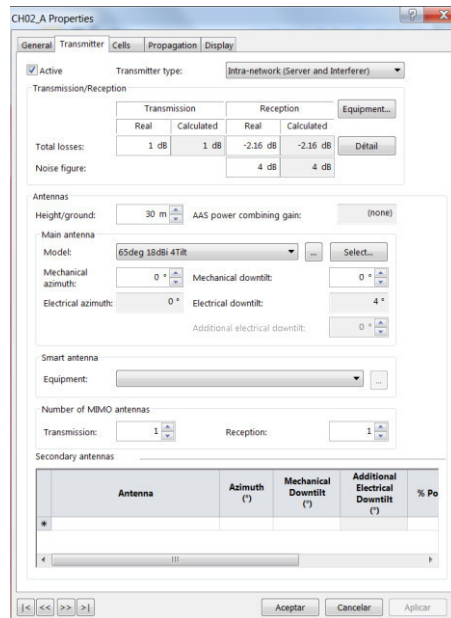


Figura 23. Configuración del Sector A del Sitio CH02.

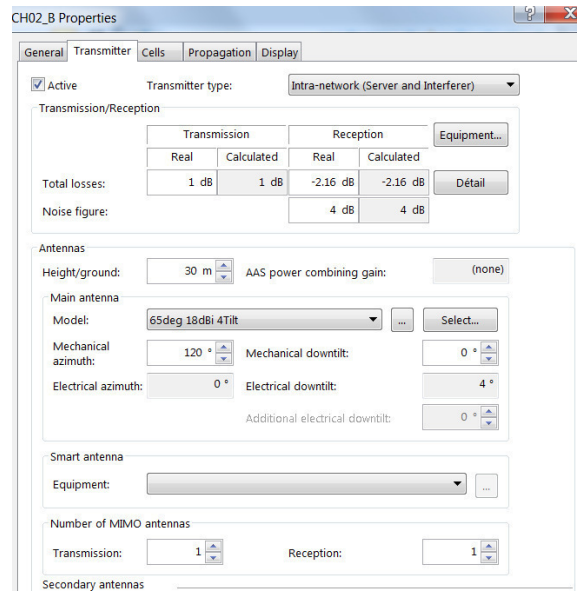


Figura 24. Configuración del Sector B del sitio CH02.

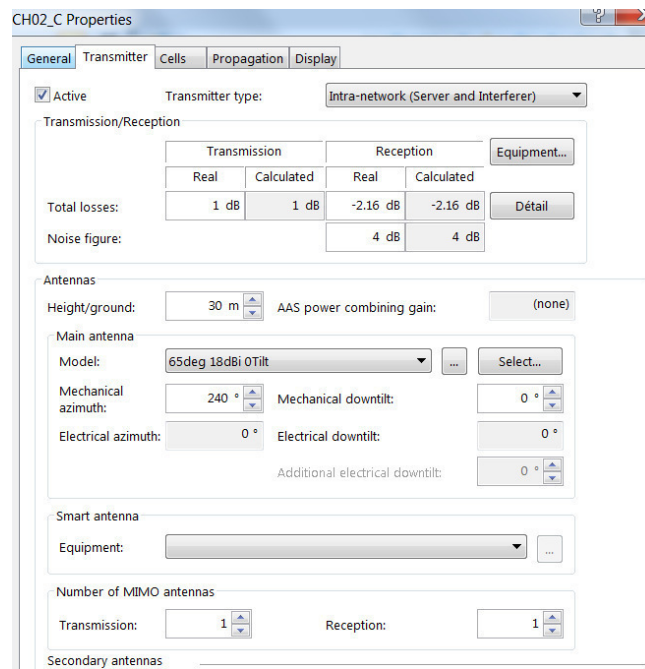


Figura 25. Configuración del Sector C del sitio CH02.

Para el sitio CH03 la configuración será la siguiente:

The screenshot shows the 'CH03_A Properties' dialog box with the following configuration:

- General:** Active (checked), Transmitter type: Intra-network (Server and Interferer)
- Transmission/Reception:**

	Transmission		Reception		Equipment...
	Real	Calculated	Real	Calculated	
Total losses:	1 dB	1 dB	-2.16 dB	-2.16 dB	Détail
Noise figure:			4 dB	4 dB	
- Antennas:**
 - Height/ground: 24 m, AAS power combining gain: (none)
 - Main antenna:** Model: 65deg 18dBi 4Tilt, Mechanical azimuth: 0°, Mechanical downtilt: 0°, Electrical azimuth: 0°, Electrical downtilt: 4°, Additional electrical downtilt: 0°
 - Smart antenna:** Equipment: (empty)
 - Number of MIMO antennas:** Transmission: 1, Reception: 1

Figura 26. Configuración del Sector A del Sitio CH03.

The screenshot shows the 'CH03_B Properties' dialog box with the following configuration:

- General:** Active (checked), Transmitter type: Intra-network (Server and Interferer)
- Transmission/Reception:**

	Transmission		Reception		Equipment...
	Real	Calculated	Real	Calculated	
Total losses:	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	Détail
Noise figure:			5 dB	0 dB	
- Antennas:**
 - Height/ground: 24 m, AAS power combining gain: (none)
 - Main antenna:** Model: 65deg 18dBi 4Tilt, Mechanical azimuth: 120°, Mechanical downtilt: 0°, Electrical azimuth: 0°, Electrical downtilt: 4°, Additional electrical downtilt: 0°
 - Smart antenna:** Equipment: (empty)
 - Number of MIMO antennas:** Transmission: 1, Reception: 1

Figura 27. Configuración del Sector B del sitio CH03

CH03_C Properties

General Transmitter Cells Propagation Display

Active Transmitter type: Intra-network (Server and Interferer)

Transmission/Reception

	Transmission		Reception		Equipment...
	Real	Calculated	Real	Calculated	
Total losses:	1 dB	1 dB	-2.16 dB	-2.16 dB	Détail
Noise figure:			4 dB	4 dB	

Antennas

Height/ground: 24 m AAS power combining gain: (none)

Main antenna

Model: 65deg 18dBi 4Tilt ... Select...

Mechanical azimuth: 240 ° Mechanical downtilt: 0 °

Electrical azimuth: 0 ° Electrical downtilt: 4 °

Additional electrical downtilt: 0 °

Smart antenna

Equipment: ...

Number of MIMO antennas

Transmission: 1 Reception: 1

Figura 28. Configuración del Sector C del sitio CH03

Para el sitio CH04, se tiene la configuración de los sectores A, B y C de la siguiente manera:

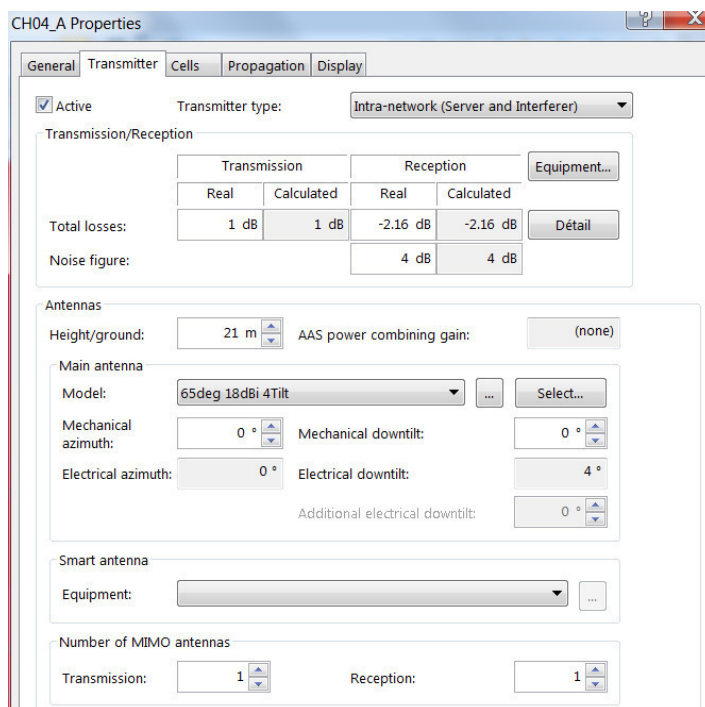


Figura 29. Configuración del Sector A del sitio CH04

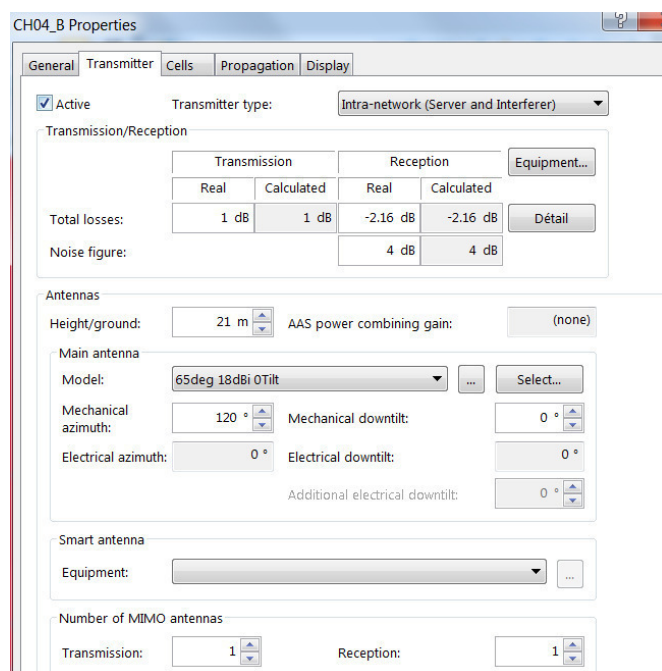


Figura 30. Configuración del Sector B del sitio CH04

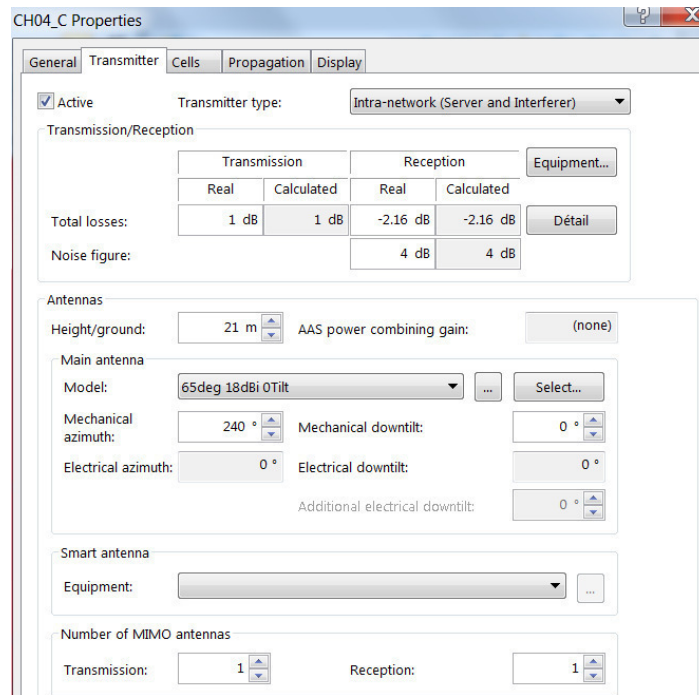


Figura 31. Configuración del Sector C del Sitio CH04

Para el sitio CH05 se tendrá la configuración de los sectores A, B y C de la siguiente forma:

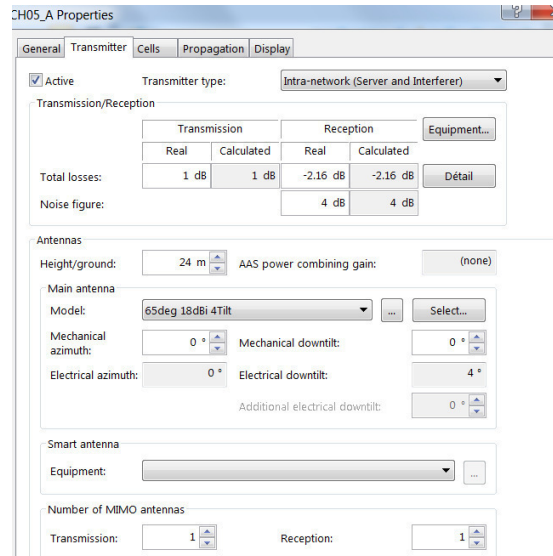


Figura 32. Configuración del Sector A del Sitio CH05

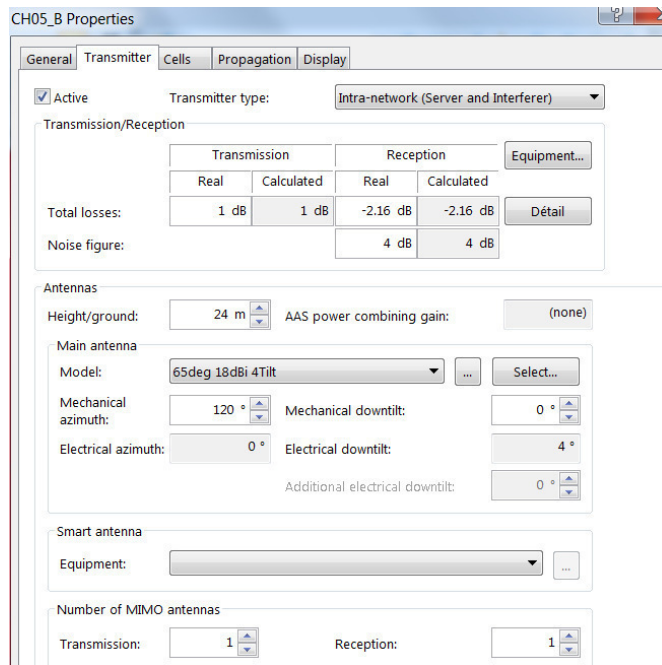


Figura 33. Configuración del Sector B del Sitio CH05

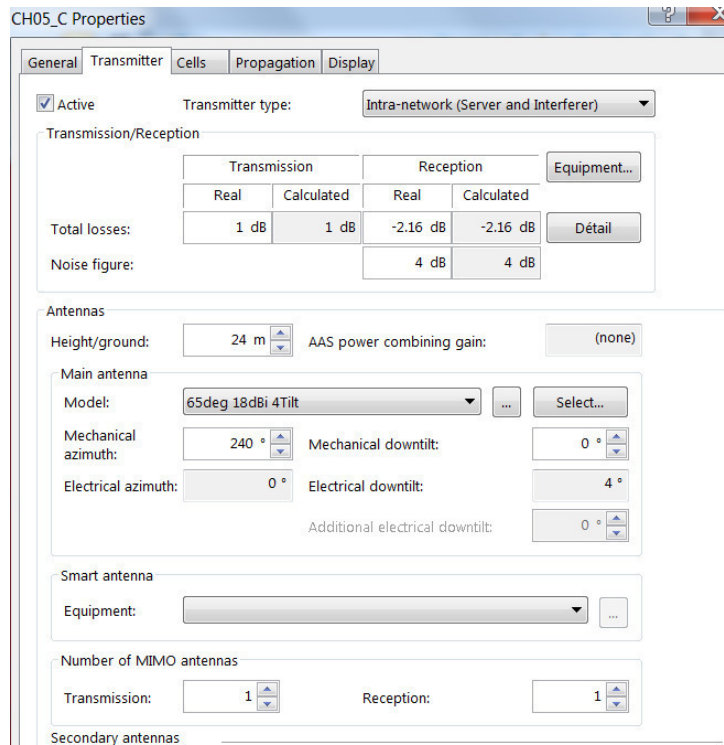


Figura 34. Configuración del Sector C del Sitio CH05

La configuración de los sectores A, B y C del sitio CH06 es la siguiente:

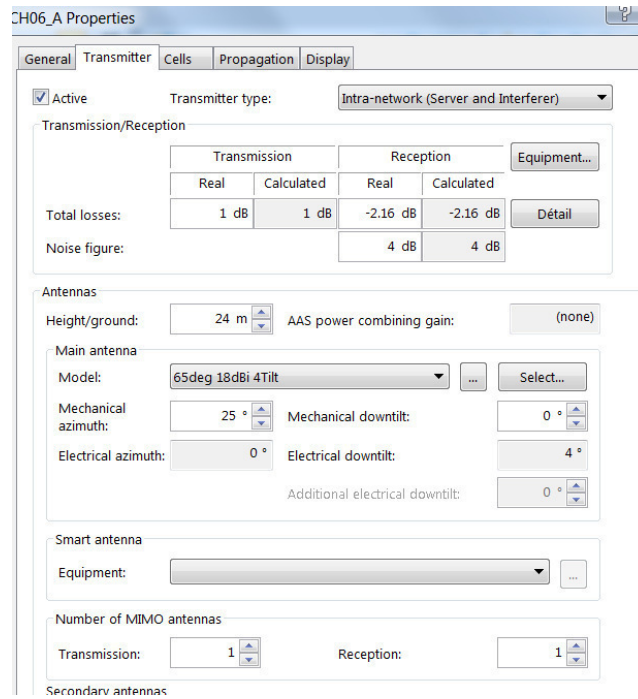


Figura 35. Configuración del Sector A del Sitio CH06.

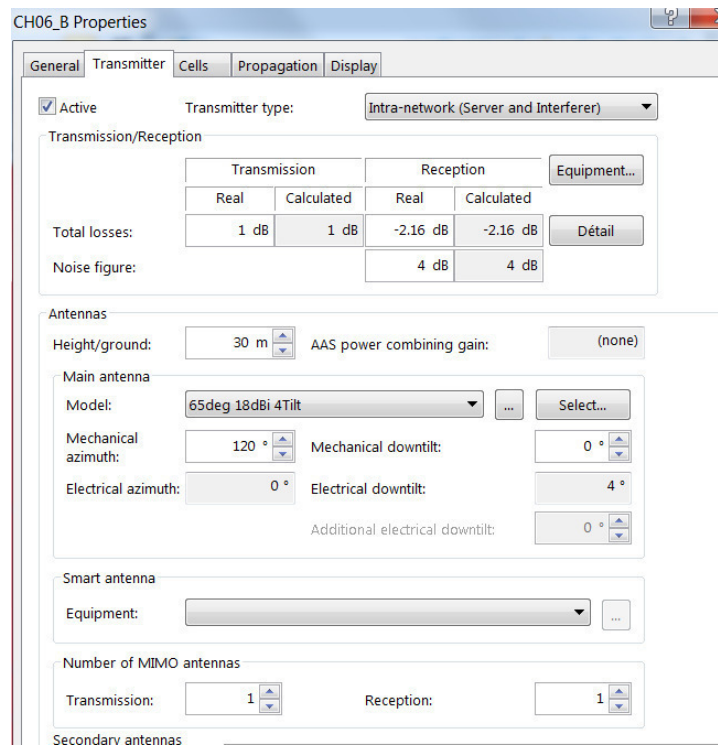


Figura 36. Configuración del Sector B del Sitio CH06.

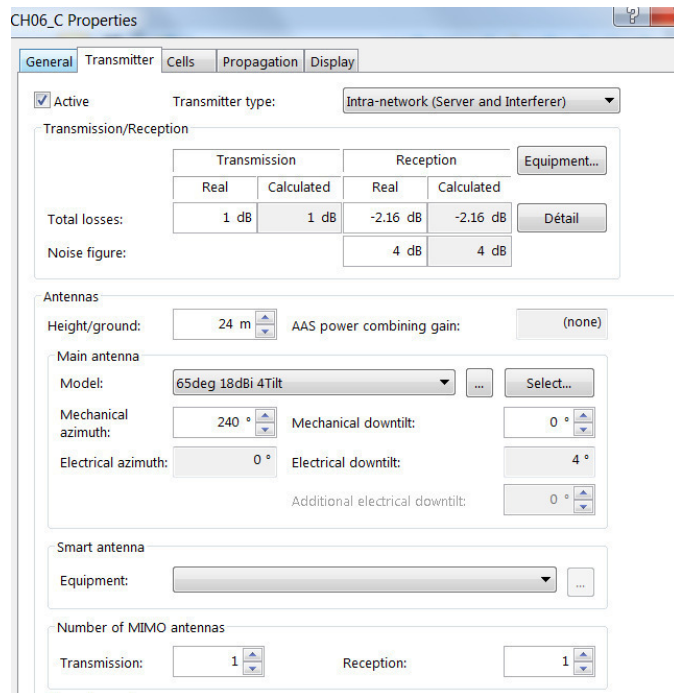


Figura 37. Configuración del Sector C del Sitio CHO6

Se procederá a activar los transmisores de los 6 sitios, se tendrá un total de 18 de transmisores. Todo esto para posteriormente hacer la predicción Coverage by Signal.

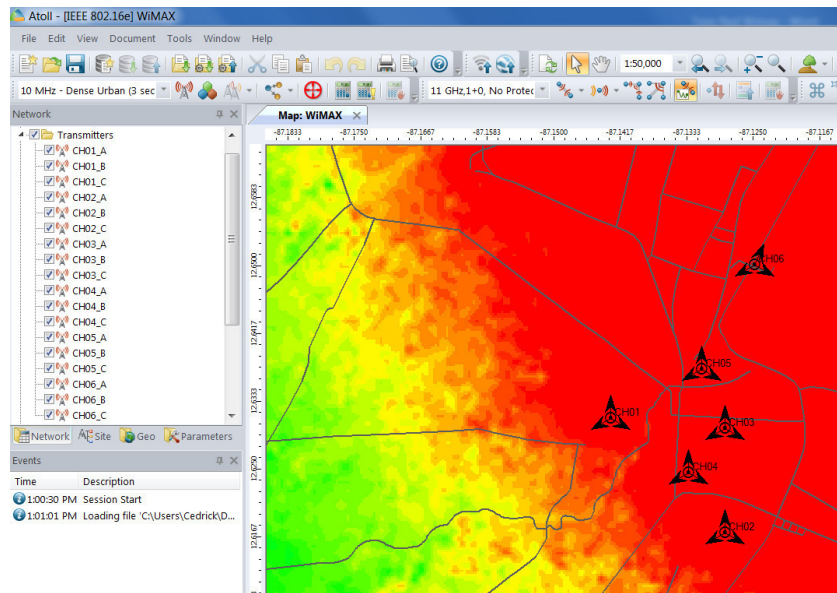


Figura 38. Activación de los Transmisores de los Sitios.

Después se debe de determinar un polígono, donde este delimitado el área que se radiará. Para ello se utiliza la opción “computation zone” quedando el polígono de la siguiente manera:

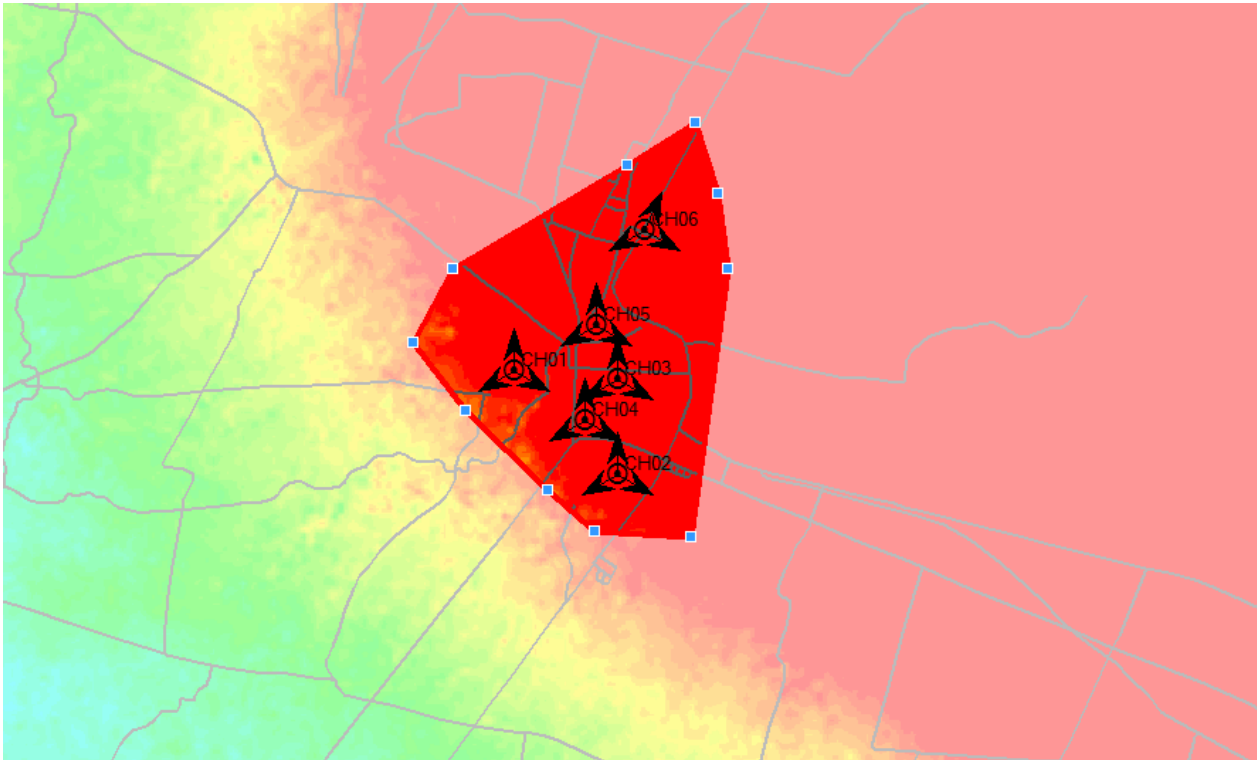


Figura 39. Delimitación del Polígono

Posteriormente, se realiza la simulación de Coverage by Signal, para los 18 transmisores que conforman los 6 sitios que se están proponiendo para el diseño en la ciudad de Chinandega.

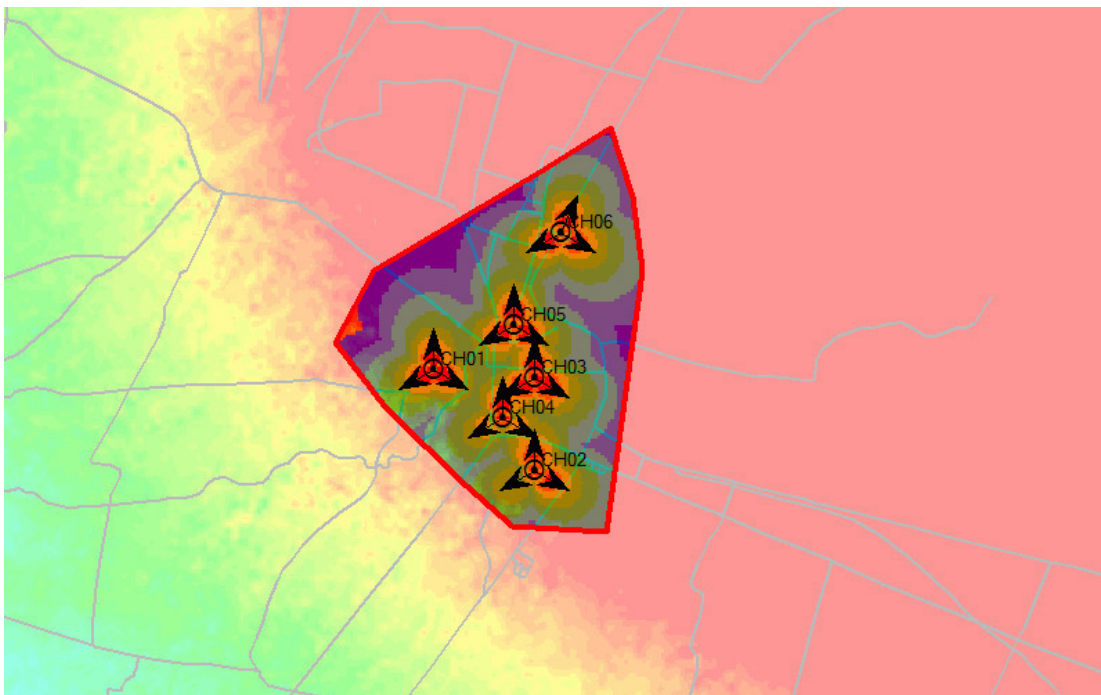


Figura 40. Predicción de Cobertura en la Ciudad de Chinandega.

Los datos estadísticos de la simulación para el diseño de la red WiMAX en la ciudad de Chinandega se puede visualizar en el siguiente histograma.

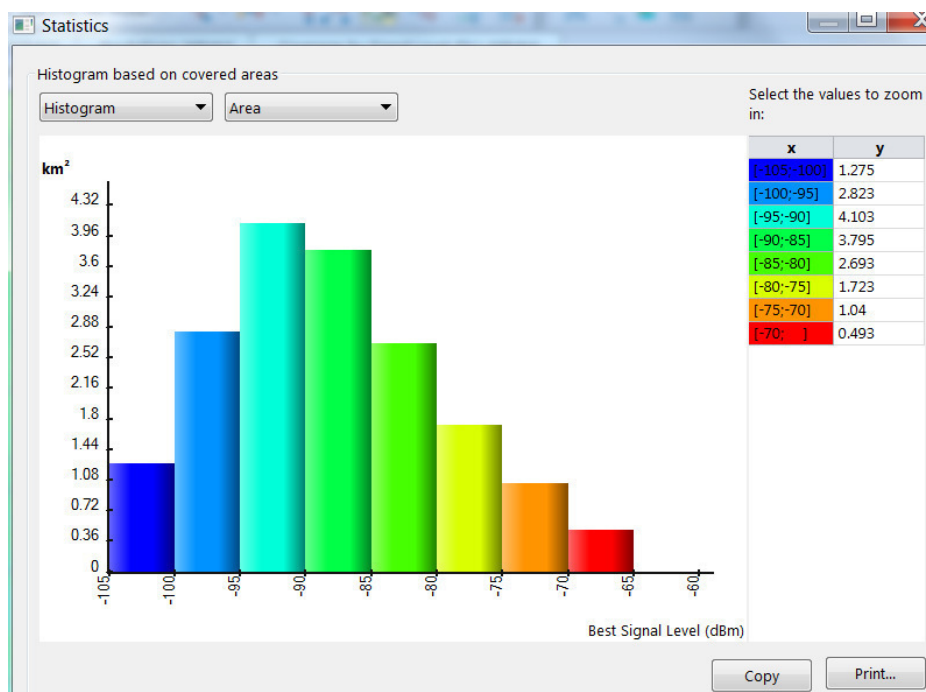


Figura 41. Histograma con la Relación de Niveles de Potencia en Función del Área.

Exportando la simulación a Google Earth, tenemos lo siguiente:

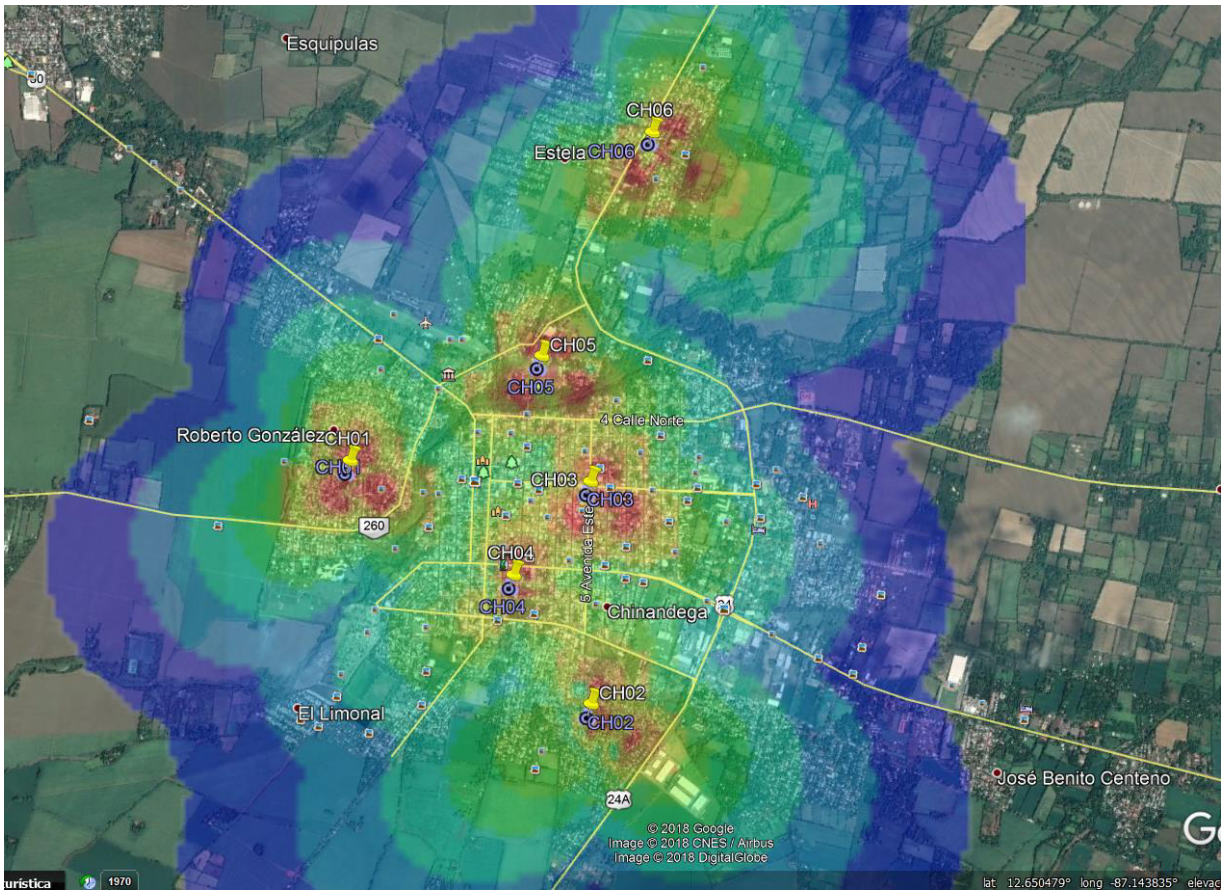


Figura 42. Cobertura en la Ciudad de Chinandega.

7. CONCLUSIONES

Wimax es una tecnología de banda ancha que permite el servicio a datos. Sin embargo, la importancia de hacer una buena planeación juega un papel muy importante, debido a que la posición de cada una de las estaciones bases, estará en función de los objetivos de cobertura.

Además, todos los parámetros que se configuraron tienen como objetivo presentar los mejores escenarios en función de los niveles de potencia. Se presentaron 18 simulaciones del comportamiento de propagación para cada uno de los sectores. El modelo de propagación que se utilizó es el estándar (el que viene por defecto en la herramienta Atoll).

La herramienta Atoll permitió hacer las predicciones, y hacer cambios en los parámetros para tener los mejores niveles de cobertura. Esta herramienta tiene muchas más opciones, este trabajo podría incluirse otro tipo de análisis, otros egresados de nuestra Alma Mater, podrían elaborar sus trabajos de investigación a partir de nuestros resultados y trabajar en otros aspectos. Por ejemplo, análisis de interferencia, relación de señal y ruido, etc.

Este trabajo logró cumplir con los objetivos establecidos, ya que se realizó un análisis de cobertura para determinar el número de sitios que se requerían para poder radiar a la ciudad de Chinandega. Por ello, con la implementación de 6 sitios, y con los parámetros presentados se tiene una guía la cuál puede ser tomada por algún operador que tenga interés de implementar el servicio.

Bibliografía

[1] Sequeira Carolina, López Jessika. “*Diseño de una Red Wimax en Granada, Nicaragua*”. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua. Junio 2015.

[2] Calvillo Teribia. “*Estudio y Diseño de una Red WiMAX para dar Cobertura de Banda Ancha en Entorno Rural*”. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Politécnica Superior de Gandia. 2013. Pág 5-9.

[3] Infante Bernardo. “Diseño de un Sistema de Red Inalámbrico Basado en WiMAX para su Aplicación en las Instalaciones de la Universidad Católica Andres Bello”. Universidad Católica Andres Bello. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. Venezuela. Julio, 2012

[4] Bacuilima Santiago. “Estudio y Diseño de una Red WiMAX para la Ciudad de la Cuenca”. Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería. Maestría en Telemática. Cuenca, Ecuador. 2010.

[5] La Tecnología 3G: UMTS.

Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11901/fichero/capitulo2.pdf>