

**GENERACIÓN DE UN MANUAL DE SIMULACIONES DE COBERTURA EN LA
RED DE ACCESO MÓVIL**

KEVIN ARTURO JÁCOME DUQUE

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2012**

**GENERACIÓN DE UN MANUAL DE SIMULACIONES DE COBERTURA EN LA
RED DE ACCESO MÓVIL**

**Presentado Por:
KEVIN ARTURO JÁCOME DUQUE
2081701**

Monografía para optar el Título de Ingeniero de Telecomunicaciones

**Dirigido Por:
ING. RICARDO CESAR GÓMEZ VARGAS**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2012**

RECTOR GENERAL

Padre Carlos Mario Álzate, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

Padre Marco Antonio Peña Salinas, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

P. Eduardo Gonzales Gil O.P

SECRETARIO GENERAL

Doctor Héctor Fabio Jaramillo Santamaría

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

Padre Pedro José Díaz Camacho, O.P

SECRETARIA DE DIVISIÓN

E. C. Myriam Gómez Colmenares

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

Ingeniero Miguel Eugenio Arias Flórez

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado GENERACIÓN DE UN MANUAL DE SIMULACIONES DE COBERTURA EN LA RED DE ACCESO MÓVIL, elaborado por KEVIN ARTURO JÁCOME DUQUE, ha sido aprobado para optar al título de Ingeniero de Telecomunicaciones, de acuerdo con lo estipulado por la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás.

Firma Ing. Ricardo Gómez
Tutor Asignado

Fecha

ADVERTENCIA

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados por el autor del trabajo de grado, solo velará porque no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III – Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

RESUMEN

El presente trabajo muestra un manual de simulaciones de cobertura para la red de acceso de un operador móvil. Dicho manual contiene las explicaciones básicas del uso de la herramienta y es acompañado por una serie de ejemplos que representan las situaciones frente a las cuales puede verse el operador. En los ejemplos se destacan los modelos de propagación utilizables por la herramienta y los efectos producidos por la modificación de los parámetros físicos y de configuración de una estación base. Se aclara que los diagramas de cobertura son mostrados como el resultante de cada ejemplo de simulación y estos son acompañados de las explicaciones pertinentes.

Para llevar a cabo el manual se realizó previamente el desarrollo de los referentes teóricos necesarios para el manejo de la herramienta, dichos referentes teóricos se centraron en: los efectos de desvanecimiento como el PATH LOSS, el SLOW FADING y el FAST FADING, los modelos de propagación como el OKUMURA-HATA y en la red de acceso de los sistemas GSM y UMTS.

ABSTRACT

The present document shows a coverage simulations manual for the access network of a mobile operator. This manual contains basic explanations about the tool's usage and is followed by a series of examples that represent the situations that the operator can face to. The examples are focused on the propagation models used by the tool and the effects produced by the modification of the physical and configuration parameters of a base station. Is important to know that the coverage diagrams are shown as the result of each simulation example and are followed by their respective explanations.

In order to develop the manual, some theoretic references, necessities for the tool's management, were developed previously. These theoretic references were focused on: the fading effects such as PATH LOSS, SLOW FADING and FAST FADING; propagation models such as OKUMURA-HARA model; and the access network of GSM and UMTS systems.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1	16
INTRODUCCIÓN	17
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2 JUSTIFICACIÓN	20
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo General	21
1.3.2 Objetivos Específicos.	21
1.4 METODOLOGÍA	22
Capítulo 2	23
2. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES.....	25
2.1.1 Tipos de ruido.....	26
2.1.1.1 Ruido aditivo.....	26
2.1.1.2 Ruido multiplicativo.....	26
2.1.2 Procesos de desvanecimiento.....	26
2.1.2.1 Pathloss.....	26
2.1.2.2 Tipos de fading.....	29
2.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN	32
2.2.1. Modelos de propagación empíricos o estadísticos.....	33
2.2.1.1 Modelos de propagación (OUTDOOR).....	33
2.2.1.2 Modelos de propagación INDOOR (entornos interiores).....	37
2.2.2 Modelos de propagación deterministas.....	41
2.2.2.1 Modelos basados en técnicas de trazado de rayos.....	41
2.2.2.2 Modelos FDTD.....	41
2.2.2.3 Modelos basados en el método de los Momentos (MoM).....	41
2.3 CELDAS.....	42
2.4 REDES DE TELEFONÍA MÓVIL DE SEGUNDA GENERACIÓN.....	43
2.4.1 Elementos de red del segmento de red de radio acceso.....	44
2.4.2 Terminal móvil.....	44
2.4.3 Estación base (BTS).....	45
2.4.4 Estación controladora (BSC).....	48

2.4.5 TRAU (Transcoder and Rate Adaptation Unit).....	48
2.5 REDES DE TELEFONÍA MÓVIL DE TERCERA GENERACIÓN.....	49
2.5.1 Elementos de red del segmento de red de radio acceso.....	51
2.5.1.1 Terminal móvil.....	51
2.5.2 Estación base 3G (Nodo B).....	51
2.5.2.1 Estación controladora (RNC).....	53
2.6 PARA LAS REDES GSM Y UMTS.....	54
2.6.1 Tecnologías de acceso para las redes GSM.....	54
2.6.2 Tecnologías de acceso para las redes UMTS.....	55
2.6.3 Simuladores de redes de acceso inalámbrico.....	56
Capítulo 3.....	59
3.1 CONTENIDOS DEL MANUAL DE SIMULACIÓN.....	60
3.1.1 Primeros pasos en la herramienta:.....	60
3.1.1.1 Creación de un nuevo proyecto en la herramienta de simulación:.....	61
3.2 LOS ARCHIVOS DE ALTURAS Y CLUTTER.....	65
3.2.1 Archivo de alturas.....	65
3.2.2 Archivo de clutter:.....	66
3.3 BARRA DE MENÚS DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN.....	68
3.4 CREACIÓN DE UN SITIO Y EXPLICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN QUE LO COMPONEN.....	79
3.4.1 Creación de un sitio.....	79
3.4.2 Parámetros de configuración del sitio:.....	80
3.5 DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN DE PREDICCIONES.....	84
3.5.1 Ejemplos de simulaciones de cobertura.....	85
3.5.1.1 Ejemplo #1.....	85
3.5.1.1.1 Creación de un nuevo proyecto:.....	85
3.5.1.1.2 Creación de un sitio.....	87
3.5.1.1.3 Generación de predicciones.....	88
3.5.1.1.4 Generación de diagramas de cobertura.....	89
3.5.1.1.5 Resultados obtenidos.....	92
3.5.1.2 Ejemplo #2.....	95
3.5.1.2.1 Modificación de los parámetros del proyecto:.....	95
3.5.1.2.2 Creación de sitios y generación de predicciones.....	96

3.5.1.2.3 Realización de diagramas de cobertura:	96
3.5.1.2.4 Resultados obtenidos:	97
3.5.1.3 Ejemplo #3.	100
3.5.1.3.1 Modificación de los parámetros del sitio:	100
3.5.1.3.2 Generación de predicciones y diagramas de cobertura:	103
3.5.1.3.3 Resultados obtenidos:	103
3.5.1.4 Ejemplo #4.	105
3.5.1.4.1 Modificación de los parámetros de la antena:	105
3.5.1.4.2 Generación de predicciones y diagramas de cobertura:	106
3.5.1.4.3 Resultados obtenidos:	106
3.5.1.5 Ejemplo #5.	108
3.5.1.5.1 Modificación de los parámetros del sitio:	108
3.5.1.5.2 Generación de predicciones y diagramas de cobertura:	110
3.5.1.5.3 Resultados obtenidos:	110
3.5.1.6 Ejemplo #6.	112
3.5.1.6.1 Creación de un nuevo proyecto y un nuevo sitio:	112
3.5.1.6.2 Generación de predicciones:	112
3.5.1.6.3 Generación de diagramas de cobertura:	112
3.5.1.6.4 Resultados obtenidos:	115
3.5.1.6.2 Generación de predicciones:	112
3.5.1.6.3 Generación de diagramas de cobertura:	112
3.5.1.6.4 Resultados obtenidos:	115
3.6 DESCRIPCIÓN DE IMPORTACIÓN Y DESCARGA DE ARCHIVOS DE ANTENAS.....	119
3.7 PRESENTACIÓN DE LAS PLANTILLAS DE IMPORTACIÓN PARA REDES MÓVILES GSM Y UMTS.	123
3.7.1 Definición de los campos de la plantilla de importación necesarios para simulaciones de cobertura en redes GSM.....	124
3.8 IMPORTACIÓN DE LAS PLANTILLAS A LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN Y DE LOS POSIBLES ERRORES QUE HA DE ARROJAR EL SOFTWARE.....	127
3.9 RESULTADOS EJEMPLOS DE SIMULACIÓN REALES PARA REDES GSM Y UMTS EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.....	129
3.9.1 Resultados simulaciones de cobertura GSM en Bucaramanga.....	128

3.9.2 Resultados simulaciones de cobertura WCDMA en Bucaramanga.....	130
Capítulo 4	134
4.FACTOR HUMANISTA	135
5. CONCLUSIONES	137
BIBLIOGRAFÍA.....	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temáticas necesarias para el desarrollo de la propuesta.....	24
Figura 2. Esquema de un sistema de comunicaciones.....	25
Figura 3. PathLoss en función de la distancia.....	27
Figura 4. Factores que afectan un canal de comunicación inalámbrica.....	28
Figura 5. Representación grafica del slow fading y el fast fading de la intensidad de señal con respecto a la distancia.....	31
Figura 6. Ramificación de algunos modelos de propagación.....	32
Figura 7. Comparación entre el Modelo Okumura-Hata y Hata modificado.....	35
Figura 8. Comparación entre el modelo Okumura-Hata y el Walfisch_Bertoni.....	36
Figura 9. Imagen de la arquitectura de la red GSM y de los elementos de red pertenecientes a cada segmento.....	44
Figura 10. Composición general de una estación base.....	46
Figura 11. Diagrama de específico de todos los elementos de una estación base y del RACK BASE.....	47
Figura 12. Imagen de la arquitectura de la red UMTS y de los elementos de red pertenecientes a cada segmento.....	51
Figura 13. Composición general de un Nodo B.....	52
Figura 14. Diagrama de conexión entre la BBU y la RRU.....	53
Figura 15. Funcionamiento esquemas de acceso TDMA Y FDMA combinados....	55
Figura 16. Funcionamiento del espectro ensanchado y efectos sobre el espectro de potencia.....	56
Figura 17. Inicio Mentum Planet.....	61
Figura 18. Nuevo Proyecto.....	62
Figura 19. Guardar Archivo.....	62
Figura 20. Nuevo Proyecto.....	62
Figura 21. Selección del tipo de tecnología.....	63
Figura 22. Selección de archivos de altura y clutter.....	63
Figura 23. Selección de sistema de coordenadas.....	63
Figura 24. Aceptación para la creación del proyecto.....	63
Figura 25. Ventana de mapas.....	64
Figura 26. Archivo de alturas.....	65
Figura 27. Archivos .grd y .tab para archivos de altura.....	66
Figura 28. Archivo de Clutter.....	66
Figura 29. Código de colores respecto al tipo de zona.....	67
Figura 30. Uso de la herramienta Ruler.....	67
Figura 31. Archivos .grd y .tab para archivos de clutter.....	67
Figura 32. Barra de Menú.....	68
Figura 33. Opción File.....	68
Figura 34. Opción View.....	69
Figura 35. Visualización y edición de parámetros.....	69
Figura 36. Configuración de Tecnologías.....	70
Figura 37. Lista desplegable para la configuración de tecnologías.....	70
Figura 38. Configuración de parámetros de frecuencia.....	71

Figura 39. Tabular Edit.	71
Figura 40. Modelos de Propagación.	72
Figura 41. GridLegend	73
Figura 42. Equivalencias de colores (Grids).	73
Figura 43. Ventana Grid Manager.....	74
Figura 44. Opción Info	74
Figura 45. Opción Color.....	75
Figura 46. Opción Tools.....	75
Figura 47. Opción Reclass.....	76
Figura 48. Opción Risizer.	76
Figura 49. Opción Grid Information.....	77
Figura 50. Ventana Window.....	78
Figura 51. Opción New Site.	79
Figura 52. Posición en el mapa.....	79
Figura 53. Visualización del sitio en Project Explorer.	80
Figura 54. Configuración de los Parámetros del sitio.....	80
Figura 55. Parámetros del sitio	80
Figura 56. Configuración de parámetros por sectores.	81
Figura 57. Parámetros de la pestaña Power.....	81
Figura 58. Parámetros de la pestaña Predictions.	82
Figura 59. Parámetros de la pestaña Antennas.....	82
Figura 60. Agrupación de parámetros por sectores.	83
Figura 61. Opción Generate Predictions.....	84
Figura 62. Opción Generate.	84
Figura 63. Creación de un nuevo proyecto.	85
Figura 64. Selección de la ubicación del proyecto.	85
Figura 65. Selección de la tecnología de simulación.	86
Figura 66. Selección de los archivos de altura y clutter.	86
Figura 67. Selección del sistema de coordenadas.....	87
Figura 68. Opción New Site.	87
Figura 69. Selección de posición del mapa.	87
Figura 70. Visualización de la creación del sitio en Project Explorer	88
Figura 71. Selección de la opción Generate Predictions.	88
Figura 72. Despliegue de la ventana Generate.....	89
Figura 73. Selección de la opción New/FDMA Analyses.	89
Figura 74. Despliegue de sectores y celdas.	90
Figura 75. Valores establecidos del BER y Nivel de interferencia.	90
Figura 76. Opción Use RxSensitivity.....	91
Figura 77. Análisis de áreas.....	91
Figura 78. Selección de los diagramas de resultados.....	92
Figura 79. Diagrama de simulación del sector.	93
Figura 80. Diagrama de cobertura de la estación base.	93
Figura 81. Diagrama de simulación del Composite service coverage.....	94
Figura 82. Modificación de los parámetros del proyecto.....	95
Figura 83. Despliegue de ventana de configuración.	95

Figura 84. Selección de la opción Primary Clutter file.....	96
Figura 85. Selección de los límites visibles de simulación.	96
Figura 86. Simulaciones con clutter y sin clutter.....	97
Figura 87. Representación por zonas.	98
Figura 88. Simulación del Best Server Signal Strength con y sin clutter.....	98
Figura 89. Archivo clutter y diagrama del Best Server Signal Strength.....	99
Figura 90. Simulación del Composite Service Coverage con y sin clutter.	99
Figura 91. Pérdidas agregadas a la simulación.	100
Figura 92. Edición de parámetros.	100
Figura 93. Despliegue de la ventana para la edición del sitio.	101
Figura 94. Eliminación de sectores de la estación base.	101
Figura 95. Visualización de los sectores.	102
Figura 96. Adición de un nuevo sector.	102
Figura 97. Visualización del nuevo sector.....	102
Figura 98. Parámetros del sitio del nuevo sector.	103
Figura 99. Parámetro de PA Power.	103
Figura 100. Simulación de PA Power para diferentes decibelios.	103
Figura 101. Simulación del Composite service coverage para diferentes valores de PA Power.....	104
Figura 102. Uso del icono Ruler para dos diagramas de cobertura.	105
Figura 103. Modificación de los parámetros de la antena.	105
Figura 104. Cambio de la antena.....	106
Figura 105. Radiación de la antena por defecto.	106
Figura 106. Radiación de la antena Andrew.	107
Figura 107. Modificación de los parámetros del sitio/ Predictions.....	109
Figura 108. Selección del modelo que se quiere trabajar.	109
Figura 109. Modelo de propagación en diferentes ambientes por defecto.	110
Figura 110. Generación de diagramas de cobertura WCDMA.....	112
Figura 111. Selección del nombre del análisis.....	113
Figura 112. Resolución de la simulación.	113
Figura 113. Diagramas de cobertura de los sitios WCDMA.....	114
Figura 114. Análisis de simulación.....	115
Figura 115. Resultados de la simulación.	115
Figura 116. Resultados de simulación del CPICH-Coverage.	115
Figura 117. Simulación CPICH- Best Ec.....	116
Figura 118. Resultados de simulación CPICH-Best Server.....	116
Figura 119. Resultados de simulación CPICH-Best Ec/Io.	117
Figura 120. Captura 1.....	118
Figura 121. Captura 2.....	118
Figura 122. Captura 3.....	119
Figura 123. Captura 4.....	120
Figura 124. Captura 5.....	121
Figura 125. Captura 6.....	121
Figura 126. Captura 7.....	125
Figura 127. Captura 8.....	126

Figura 128. Captura 9..... 126
Figura 129. Captura 10..... 127
Figura 130. Captura 11..... 128
Figura 131. Captura 12..... 129
Figura 132. Captura 13..... 129
Figura 133. Captura 14..... 130
Figura 134. Captura 15..... 131
Figura 135. Captura 16..... 132

Capítulo 1

Introducción del Proyecto

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo ilustra el proceso necesario para la simulación de cobertura de una red de acceso móvil, dicho proceso es uno de los más importantes y requeridos en las tareas de dimensionamiento, diseño y planeación de radio frecuencia para operador celular.

El trabajo incluye las recomendaciones para lograr una predicción de la cobertura cercana a la realidad y la teoría básica que se requiere para poder hacer buen uso de una herramienta de simulación, la cual abarca la arquitectura de la red de acceso móvil, los efectos de desvanecimiento, los modelos de propagación de la señal y los métodos de acceso al medio en las tecnologías GSM y UMTS.

Uno de los aportes más relevantes es un tutorial que explica el proceso, desde la preparación de los datos de entrada a la herramienta, hasta obtener el resultado final de la simulación, el cual es representado con los diagramas de cobertura. Los ejemplos mostrados resumen las principales características de la herramienta de simulación y a su vez presentan los diferentes escenarios a los que se ve enfrentado el operador.

Durante la elaboración del trabajo se contó con el aporte de un operador de telefonía móvil, quien facilitó el uso de la herramienta de simulación y el acceso a datos reales. Además, la interacción directa con ingenieros de planeación y diseño RF, permitió expresar las ideas en un lenguaje simplificado para facilitar la comprensión del tutorial y abarcar detalles no incluidos en los manuales y guías de la herramienta.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Un operador de telefonía móvil debe tener en cuenta que cada uno de sus procesos esté abierto a posibles cambios, mejoras y actualizaciones, situación que no siempre es considerada. Es muy común que se utilicen métodos y herramientas para atender requerimientos específicos, pero no se analiza que tanto las herramientas tecnológicas como las demandas cambian y se actualizan, más no el método con el que se realizaron los procedimientos, un ejemplo de esto se evidencia en el desarrollo de simulaciones para los elementos de una red celular pues es común que el operador desarrolle metodologías que le faciliten el manejo de la herramienta de simulación que esté usando, sin considerar la posibilidad de que la misma se actualice o simplemente cambie por otra de un proveedor diferente.

Dentro del proceso de simulación de cobertura de una red celular se evita desde un principio, el desarrollo de una simulación puntual por cada uno de los sitios, pues para operadores ya establecidos que poseen torres celulares ubicadas en más de 1.000 sitios alrededor del territorio nacional resultaría muy engorroso, para esto las herramientas de simulación de redes celulares han facilitado desde sus versiones de varios años atrás una plantilla en donde se deben incluir los diferentes sitios de la red con su información respectiva y en un formato específico, lo que en su momento sugirió la simplificación de un proceso y una gran ayuda para el operador de telefonía móvil.

Es común que el operador dentro del desarrollo de metodologías que faciliten sus procesos haya procedido a actualizar sus bases de datos con el fin de darle el formato de la plantilla para la importación de la información a la herramienta de simulación, esto básicamente le facilitaría aún más la labor de desarrollar cualquier análisis con la herramienta pero dejaba de lado la posibilidad de que esta plantilla cambiara con el pasar de los años y con la existencia de nuevas versiones, además, por otro lado, la información de la red en la base de datos para cualquier consulta externa ya no se presentaba de la manera más clara y ordenada posible, situación que agudizaba la problemática pues en efecto al día de hoy las herramientas de simulación se han actualizado y con ello sus plantillas de importación, pero las bases de datos siguen conservando este viejo formato. Por esta razón es necesario adecuar la información de la base de datos a la nueva plantilla y a su vez presentar por otro lado la información pertinente de la red de forma ordenada e independiente al formato de la herramienta de simulación.

Es importante decir que la falta de un documento general que explique los pasos a seguir y los puntos significativos a tener en cuenta en una simulación para una nueva versión o actualización de la herramienta, genera consigo retraso, pues las personas que necesiten realizar cualquier tipo de simulación se verán obligadas a instruirse primero con los manuales de la herramienta de simulación que estén utilizando y muchas veces estos son extensos y no explican con exactitud los

pasos a seguir o a tener en cuenta para que los datos ingresados generen simulaciones adecuadas y respuestas a los análisis deseados.

Adicionalmente se incluye la necesidad de la automatización de los procesos, pues cada vez que surge un cambio en la red es necesario realizar manualmente la modificación en la herramienta y generar la simulación, por tanto sería importante que con tan solo un cambio en la base de datos de la red se importase la plantilla de forma directa y automática a la herramienta de simulación, para que esta desarrolle sus debidos análisis. Dentro de este proceso sería importante también configurar una periodicidad para que las simulaciones se realizasen de forma automática, con el fin de que el operador maneje siempre información actualizada y verídica.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Es de vital importancia para un operador de telefonía móvil, dentro de sus labores de dimensionamiento, diseño y planeación, utilizar herramientas de simulación que permitan predecir el comportamiento de la red de acceso.

La realización de un tutorial o manual paso a paso, de simulaciones de cobertura de una red celular, facilita el manejo de cualquier herramienta de simulación para personas que se estén iniciando en esta labor, evitándoles la engorrosa tarea de leer un manual extenso que muchas veces no da respuesta a los procedimientos que se necesitan para llevar a cabo las simulaciones que se desean. Se aclara que el presente manual no sólo posee información básica acerca del uso de la herramienta si no que, por el contrario, desarrolla temáticas que permiten afianzar los referentes teóricos necesarios para el manejo de las herramientas de simulación en general.

El hecho de incluir una serie de recomendaciones y explicaciones puntuales de una herramienta de simulación, le da al operador los lineamientos necesarios para la utilización de las mismas herramientas, afectando de manera positiva cada una sus áreas y labores, pues la red de acceso es la base de toda red móvil.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Generar un manual de simulaciones de la cobertura de una red celular que contenga la información de la red de acceso como elemento principal del proceso de simulación, dicho manual deberá proveer las recomendaciones necesarias para que un operador de telefonía móvil utilice de manera adecuada la herramienta de simulación.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Elaborar un documento que describa una serie de buenas prácticas para la simulación de coberturas 2G y 3G de un operador celular.

Elaborar un tutorial para el desarrollo de simulaciones de cobertura de una red celular (2G y 3G) usando una herramienta de diseño disponible en el mercado, definiendo los conceptos de los datos solicitados por el software para dar mayor entendimiento y a su vez para explicar la importancia de los mismos.

1.4 METODOLOGÍA

Para dar solución a las problemáticas planteadas se llevan a cabo los pasos descritos a continuación, los cuales son aplicados en un contexto general y muy cercano a la realidad y por tanto ejecutables por cualquier operador de red móvil celular.

- Realizar un proceso de fundamentación teórica con los manuales de las herramientas de simulación disponibles y también en bibliografía que trate las temáticas de redes celulares de segunda y tercera generación.
- Analizar la información de la red de acceso presente en la base de datos del operador de telefonía móvil en el que se desarrolla el proceso de pasantía y realizar un proceso de fundamentación teórica para entender con claridad toda la información presentada.
- Desarrollo de las explicaciones generales necesarias para el manejo óptimo de la herramienta de simulación.
- Descripción de los modelos de propagación utilizables en la herramienta.
- Determinar el orden de importancia de los parámetros técnicos de la red de acceso, basado en la fundamentación teórica recientemente realizada y en las apreciaciones y/o recomendaciones de las personas con amplia experiencia en el sector.
- Desarrollar una descripción del manejo básico de la herramienta de simulación.
- Desarrollo de ejemplos de simulaciones de cobertura.
- Presentación y explicación de las plantillas de importación de la herramienta de simulación.
- Explicación pasó a paso de la importación de la plantilla a la herramienta de simulación.

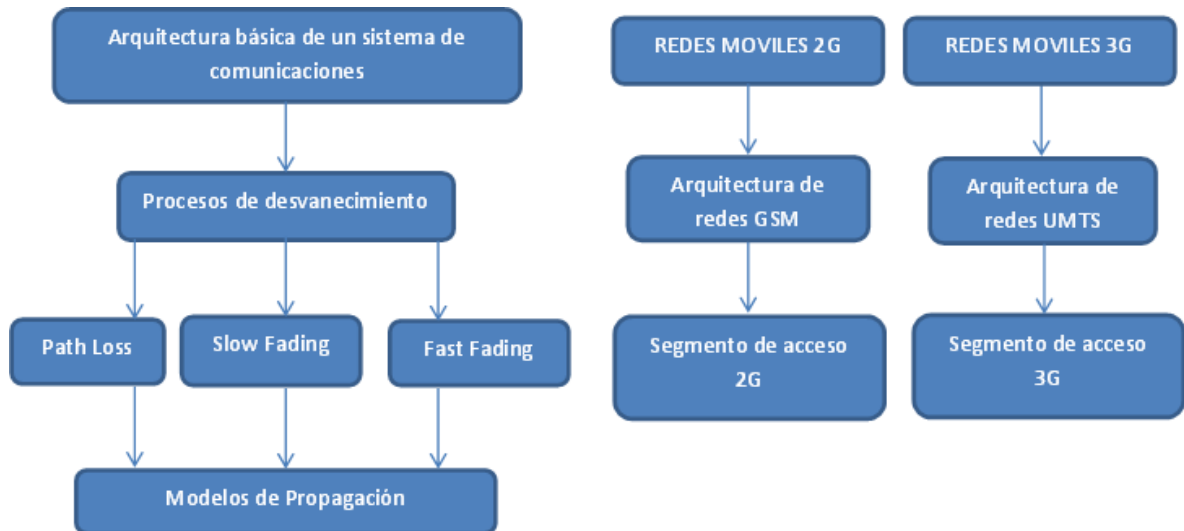
Capítulo 2

Marco Teórico

2. MARCO TEÓRICO

En el presente apartado es necesario abarcar los fundamentos teóricos en los que se basa el desarrollo de la propuesta, por tanto, para generar un manual de simulaciones de cobertura de una red celular y a su vez crear una plantilla de presentación de la información de la red de acceso, se deben revisar las siguientes temáticas:

Figura 1. Temáticas necesarias para el desarrollo de la propuesta.



Fuente: Autor.

Las herramientas de simulación de redes de acceso inalámbrico, basan su funcionamiento en los modelos de propagación y en tecnologías móviles existentes, por lo que en el marco teórico se hace referencia desde la arquitectura básica de un sistema de comunicación, que abarca los procesos de desvanecimiento (principios de los modelos de propagación), hasta las especificaciones puntuales de las redes de acceso 2G Y 3G.

2.1 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES

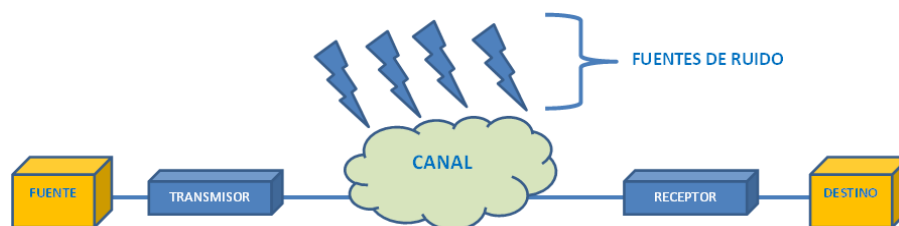
Los sistemas de comunicación inalámbricos basan su funcionamiento en la modulación de ondas electromagnéticas, en las que se transmite determinada información entre una fuente y un destino.

En dicho proceso de transmisión, comúnmente se presenta una serie de dificultades asociadas directamente a factores ambientales, geográficos y técnicos (Interacción de las ondas con el ambiente, absorción de las señales, procesos de refracción, interferencia electromagnética con los equipos generadores, transmisores y receptores de la señal), que pueden ocasionar la introducción o incorporación de ruidos en el canal de comunicación.

Un sistema general de comunicación está compuesto por:

- **Fuente:** Es el generador de la señal o información a transmitir
- **Trasmisor:** Es el encargado de transformar la señal que proviene del generador para que sea transmitida en forma eficiente en el medio o canal.
- **Canal:** Es el medio a través del cual se transmite la señal. Para las comunicaciones inalámbricas se usa como medio el espacio libre y la transmisión se hace por medio de ondas electromagnéticas (OEM).
- **Receptor:** Es el bloque encargado de recibir la señal proveniente del medio y entregarla en un formato entendible para el destinatario.¹
- **Ruido:** Hace referencia a una serie de variaciones indeseables que se incorporan en un canal de comunicación y puede ocasionar cambios perceptibles en el mensaje original transmitido.

Figura 2. Esquema de un sistema de comunicaciones.



Fuente: Elaborada en base a imagen de Contexto dentro de las comunicaciones inalámbricas. UIS [Online] / auth. UIS. - 11 01, 2012.

En la figura 2 se muestra un sistema de comunicación con sus elementos. De igual forma se logra apreciar la incorporación de ruido en el canal, los cuales provienen de diferentes fuentes y pueden generar variaciones en la señal originalmente transmitida.

¹Universidad Industrial de Santander."Contexto Dentro De Los Sistemas De Comunicación Inalámbricos". http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca_virtual/radiopropagacion.

2.1.1 Tipos de ruido.

2.1.1.1 Ruido aditivo. También es conocido como ruido gaussiano. Es generado por efectos térmicos y de calentamiento en los sistemas transmisores y receptores. De igual forma pueden deberse a problemas de interferencia o aspectos atmosféricos, entre otros.

2.1.1.2 Ruido multiplicativo. Este ruido se produce por una serie de fenómenos introducidos en el camino de una onda electromagnética dirigida de un transmisor a un receptor. Dentro de estos fenómenos se encuentran:

- La difracción de la señal debido a los bordes ya sean de techos de edificios o picos de montañas.
- La refracción de la señal debida a las capas atmosféricas.
- La reflexión ocasionada por diferentes obstáculos (paredes, montañas, etc.)
- La absorción de la señal transmitida debido a materiales específicos.
- La Dispersión debido a superficies irregulares.¹

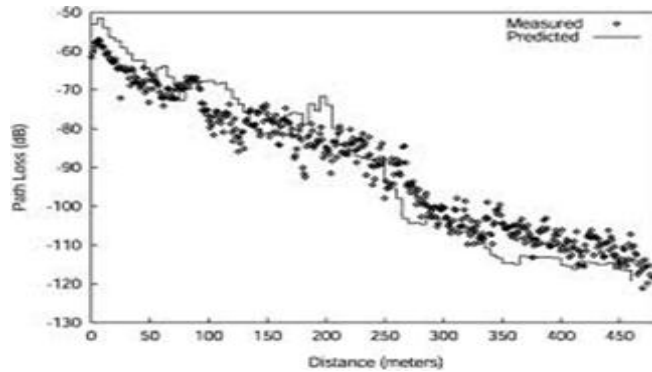
También se aclara que el ruido multiplicativo depende en gran medida de las características direccionales de las antenas.

2.1.2 Procesos de desvanecimiento. Entre la transmisión y recepción se origina un proceso de desvanecimiento de la señal original, dentro de los cuales cabe mencionar el PathLoss, Slow Fading y Fast Fading.

2.1.2.1 Pathloss. Esencialmente la pérdida por la trayectoria es una atenuación en la densidad de potencia de una onda electromagnética que se propaga por determinado medio. A partir del conocimiento de dichas pérdidas, se pueden determinar muchos aspectos del sistema de comunicación, tales como la potencia del transmisor, la sensibilidad del receptor, la ganancia de las antenas, sus alturas y ubicaciones.

A continuación se muestra un ejemplo del comportamiento de pérdidas debido a la trayectoria, en un estudio hecho en 1994 en Rosslyn (Virginia) por el laboratorio AT&T Bell.

Figura 3. PathLoss en función de la distancia.



Fuente: Tomada en línea de <http://www.remcom.com/examples/path-loss-comparison-in-rosslyn-virginia.html>.

Luego de observar la imagen se debe mencionar que estas pérdidas pueden ser causadas por muchos factores, como lo son:

- **Pérdidas en el espacio libre:** A medida que aumenta el área de cobertura también lo hace las pérdidas en el espacio, debido a que la señal transmitida ocupa un espacio mayor.
- **Pérdidas por absorción:** No todos los medios son transparentes, por ello cuando una señal es transmitida, cierto porcentaje de esta es absorbida, causando pérdidas en su densidad de potencia.
- **Difracción:** Cuando un objeto aparece en la trayectoria de la señal, esta se difracta. Las señales tienden a difractarse más cuando los objetos tienen bordes afilados.
- **Multipath:** Debido a los aspectos geográficos o de entornos del ambiente se puede generar reflejos de la señal transmitida. Una vez esto ocurre, el receptor capta las ondas que pueden provenir de diferentes rutas, las cuales pueden ser sumadas o restadas de las demás dependiendo de la fase de cada una.
- **Terreno:** Los terrenos, como por ejemplo las colinas pueden actuar como atenuadores, lo que hace casi imposible la recepción de las señales transmitidas.
- **Edificios y vegetación:** Los edificios y vegetación de los diferentes entornos pueden actuar como agentes reflejantes y de absorción de la señal transmitida.²³

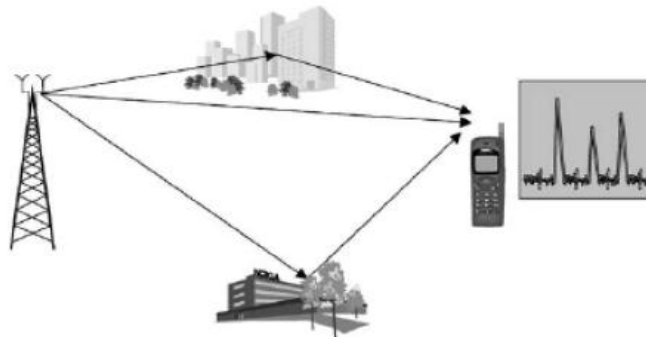
En la figura 4 se aprecian los diferentes factores que pueden afectar un canal de comunicaciones inalámbricas. La información transmitida desde la estación base viaja por el espacio encontrándose con una serie de obstáculos que generan la

²R. Electronics. "PathLoss". <http://www.radio-electronics.com/>.

³F. Belloni, "Physical Layer Methods In Wireless Communication Systems," Helsinki University of Technology, 2004.

atenuación y reflexión de la señal, al final esta última llega al receptor que en este caso está representado por un teléfono móvil.

Figura 4. Factores que afectan un canal de comunicación inalámbrica.



Fuente: tomada en línea de fading types in wirelesscommunicationsystem S.Popa, N. Draghiciu, R. Reiz.

- **Pérdidas por trayectoria en el espacio libre:** Para el análisis de las pérdidas en el espacio libre no se tienen en cuenta aspectos o los fenómenos de reflexión o atenuación de la señal. Tampoco se considera la potencia del transmisor, las ganancias de las antenas y la sensibilidad del receptor.

Se estipula que las pérdidas en la trayectoria son proporcionales al cuadrado de la distancia entre el transmisor y el receptor, y de igual forma a la frecuencia de la señal transmitida (

Ec. 1):

$$L = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde L es la pérdida de trayectoria, d es la distancia entre el receptor y el transmisor, f es la frecuencia de la señal y c es la velocidad de la luz en el vacío. Rescribiendo la ecuación 1, esta se puede expresar en términos de dB como:

$$L(\text{dB}) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.44 \quad \text{Ec. 2}$$

De acuerdo a la ecuación 2, se puede concluir que a medida que aumenta la frecuencia de la señal transmitida, y la distancia entre el transmisor y el receptor, las pérdidas en el espacio libre se incrementan.²

- **Efecto de la ganancia en la ecuación de pérdidas:** En la determinación de las pérdidas por trayectoria en el espacio libre (Ec. 2), no se toma en cuenta ningún valor referente a la componente de ganancias de las antenas transmisoras y receptoras. Si se toma las cifras de ganancia de las antenas como valores

asociados a una fuente isotrópica, el valor de las pérdidas disminuye, como se logra concluir a partir de la Ec. . 3.

$$L(\text{dB}) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.44 - G_t - G_r \quad \text{Ec. 3}$$

Donde G_t es la ganancia de la antena transmisora y G_r es la ganancia de la antena receptora expresada en dBi.

Las ganancias de las antenas, amplifican el valor de la señal transmitida y recibida, por esto es que de la ecuación general (Ec. 2), se le debe restar este tipo de compensación.²

- **Presupuesto de enlace:** En un presupuesto de enlace se incluyen todas las ganancias y pérdidas del sistema de comunicación, desde el transmisor hasta el equipo receptor. Dicho presupuesto pueden incluir los siguientes aspectos:
 - Potencia del transmisor
 - Pérdidas de trayectoria.
 - Ganancias de las antenas transmisoras y receptoras.
 - Pérdidas de conexión en las antenas
 - Sensibilidad del receptor.

A partir de dichos factores, el presupuesto del enlace (ganancias) tomará la forma de la Ec. :

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_n(\text{dB}) - \text{Per}(\text{dB}) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde P_r es la potencia recibida, P_t la potencia transmitida, G_n son las ganancias y Per son las pérdidas. De acuerdo a la Ec.4, la potencia recibida será mayor cuanto menor sea las pérdidas ocasionadas por la trayectoria de la señal en el espacio libre.²

2.1.2.2 Tipos de fading. En las trayectorias de propagación de múltiples caminos existen aspectos tanto de desvanecimiento lento como rápido, los cuales serán abordados a continuación, explicando de antemano algunos conceptos que se asocian a la temática.

- **Multipath Spread (TM):** Indica el mayor retardo que existe entre dos trayectorias que son transmitidas por un mismo canal y que tienen un valor de potencia significativa.

- **Coherencia de ancho de banda (Δf):** Responde a la distancia máxima entre dos componentes de frecuencia que mantienen cierto grado de relación en su comportamiento.
- **Coherencia de tiempo (TD):** Proporciona una idea de la duración de un impulso en el canal.
- **Doppler Spread (Bd):** Establece el máximo rango de corrimiento de la señal generado por el efecto Doppler.^{4 5 6}

- **Flat Fading:** En este tipo de desvanecimiento, se tiene que el ancho de banda de coherencia del canal es mayor que el ancho de banda de la señal. Este se traduce en que en que todas las componentes de frecuencia de la onda tendrán la misma magnitud de desvanecimiento.

- **Frequency Selective fading:** A diferencia del Flat-fading, en este el ancho de coherencia del canal es menor que el ancho de banda de la señal. Por ello algunas componentes de frecuencia experimentarán un tipo de desvanecimiento des correlacionado.⁶

- **Slow Fading:** Surge cuando el tiempo de coherencia del canal es grande con respecto al del retardo del mismo. En este caso, la amplitud y el cambio de fase impuesta por el canal pueden ser considerados como constante durante su tiempo de uso.

Este tipo de desvanecimiento puede ser causado por la existencia de obstrucciones grandes como edificios o una colina que oscurece la trayectoria de la señal entre el transmisor y el receptor. En este proceso algunas trayectorias sufren algún tipo de incremento de las pérdidas, mientras que otros serán menos obstruidos y tendrán una mayor intensidad de la señal. La variación del promedio, se describe en términos del promedio de la potencia expresada en dB (Ec.):

$$U_i = 10\log(V^2(x_i)) \quad \text{Ec. 5}$$

Donde V es la amplitud del voltaje y el subíndice i denota las diferentes áreas. Para pequeñas áreas entre el transmisor y el receptor, los valores de U_i sobre el valor medio, se halla como (Ec.):

$$p(U_i - E(U)) = \frac{1}{\sigma_{SF}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1(U_i - E(U))^2}{2\sigma_{SF}^2}} \quad \text{Ec. 6}$$

⁴N. Srivastava, "Diversity Schemes For Wireless Communication- A Short Review," Institute of Engineering & Technology, 2010.

⁵H. Hourani, "An Overview of Diversity Techniques in Wireless Communication Systems," Helsinki University of Technology, 2005.

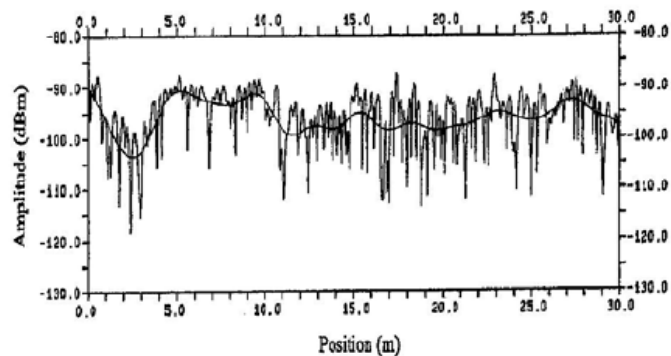
⁶M. Flament and M. Unbehaun, "Impact of shadow fading in a mm-wave band wireless network."

Donde σ_{SF} es la desviación estándar, que dependerá de la resolución geográfica y de la estimación de la potencia media en las áreas, y E (U) se halla a partir de una aproximación a una distribución gaussiana.³⁵⁶

- **Fast Fading:** Se produce cuando el tiempo de desvanecimiento de coherencia del canal TD es menor que el período de la señal transmitida ($TD \ll T$) y se debe a los reflejos de objetos locales y al movimiento de los mismos.

La señal captada por el receptor resulta de la suma de diferentes componentes de las ondas reflejadas, las cuales pueden contribuir de forma constructiva o destructiva, dependiendo directamente de la fase de desplazamiento, donde el valor de desfase es función de determinadas cualidades propias del medio y de la señal (velocidad de desplazamiento, frecuencia de transmisión y longitud de las rutas).

Figura 5. Representación gráfica del slow fading y el fast fading de la intensidad de señal con respecto a la distancia.



Fuente: Tomada de DIVERSITY SCHEMES FOR WIRELESS COMMUNICATION A SHORT REVIEW [Journal] / auth. SRIVASTAVA NEELAM // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. - 2010.

En la figura 5, se aprecia el comportamiento para dos tipos de desvanecimientos, fast fading y slow fading, siendo el comportamiento del primero más cambiante y dinámico.⁴⁶

- **Modelos Fading:** Algunos modelos para estimar la distribución de atenuación a partir de los fenómenos de desvanecimiento son:

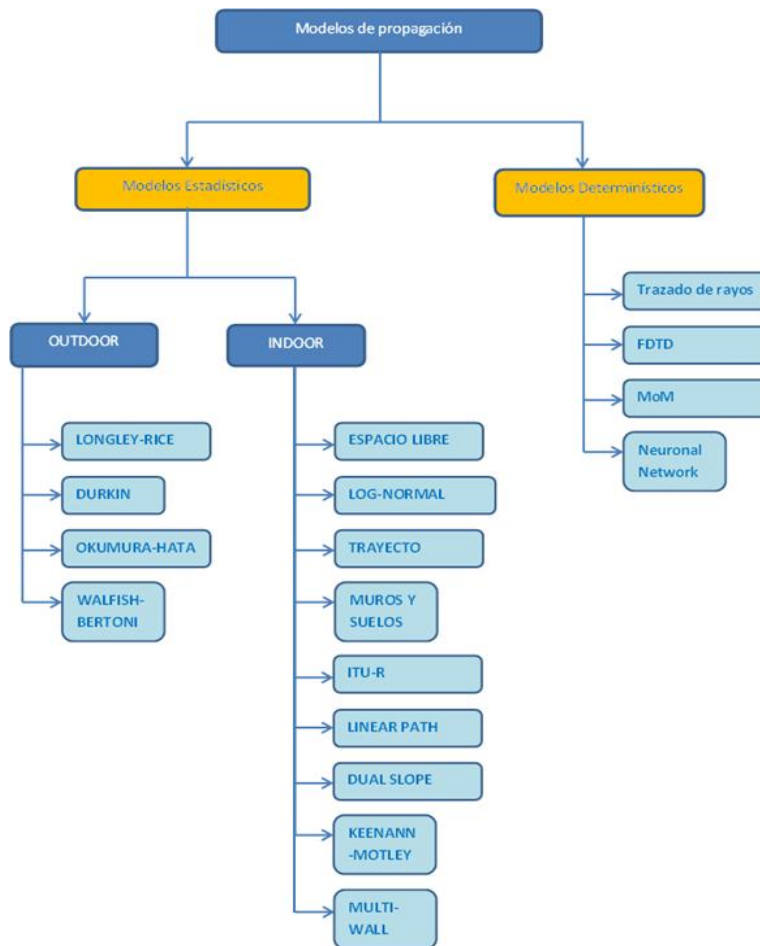
- Desvanecimiento por dispersión
- Nakagami fading
- Log-normal shadow fading
- Rayleigh fading
- Rician fading
- Weibull fading

2.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN

Los modelos de propagación que se abordarán en este documento se muestran en la figura 6.

Un modelo de propagación trata de predecir el comportamiento de una señal a transmitir en un entorno específico, a su vez cada modelo desvaría de otro en los factores que tiene en cuenta para esta predicción y en la forma que representa los resultados, un ejemplo de esto es que algunos modelos entregan el nivel de pérdidas sobre la señal mientras que otros pueden dar la potencia de llegada de la misma.

Figura 6. Ramificación de algunos modelos de propagación.



Fuente: Autor.

2.2.1. Modelos de propagación empíricos o estadísticos. Son modelos basados en la extrapolación estadística a partir de medidas hechas sobre determinado terreno o entorno. En este tipo de modelo se tiene en cuenta las variables del entorno en general, por lo que esta es su mayor ventaja. En cuanto a su precisión depende en gran medida en la similitud entre el entorno en el que se realizaron las medidas y el que se quiere analizar.

2.2.1.1 Modelos de propagación (OUTDOOR). Dentro de este tipo de modelo se puede realizar una clasificación atendiendo al tamaño del área de cobertura, tipo de ambientes, rango de frecuencias y el tipo de aplicación.

- **Modelo de LONGLEY-RICE:** Se utiliza para el modelado de atenuación de ondas de radio, donde se tienen frecuencias de trabajo entre 40 MHz y 100 GHz. Este modelo cuenta con dos modos de operación: el modo punto a punto, que se utiliza cuando se tiene una descripción detallada del perfil del entorno, y el modo de predicción cuando no se tiene información de esta.

Para el análisis o el modelado de atenuación, esta técnica usa diferentes parámetros como la frecuencia del transmisor, las condiciones climáticas, la refractividad, la conductividad y constante dieléctrica del suelo, entre otros.⁷

- **Modelo DURKIN:** Este modelo no tiene en cuenta el efecto generado por los fenómenos de reflexión y dispersión asociados a objetos que se encuentran fuera del plano considerado. Para el respectivo análisis, solo se estudia el comportamiento de la señal en el plano vertical entre emisor y receptor.⁷

- **Modelo OKUMURA-HATA:** Al igual que los modelos anteriores, el Okumura-hata considera algunas frecuencias de trabajo entre 150 MHz a 1920 MHz, aunque se puede realizar extrapolación para ampliar el rango hasta 3000 MHz. Además de esto es recomendable usarlo para análisis que comprende distancias entre 1 km y 100 km, y para alturas de antenas entre 30 y 1000 m.

El modelo Okumura-Hata permite establecer el valor de la mediana en las pérdidas en un trayecto de propagación L_{50} , donde se incluye las pérdidas asociadas a las generadas en el espacio libre L_{free} , la mediana de la atenuación en el mismo entorno A_m , las ganancias de las antenas transmisoras, receptoras y del medio que se simboliza como G_t , G_r y G_A respectivamente.

Entre los modelos disponibles y ya tratados, el Okumura-Hata resulta ser uno de los más simples y con la mayor precisión para entornos con alto índice de dispersión y para sistemas celulares, aunque su punto de quiebre es que es recomendable para el modelado de entornos urbanos y suburbanos pero no para zonas rurales.

⁷R. J. Espinoza, "Modelos de Propagación Para Sistema Móviles," 2009.

Para estimar el valor de la mediana de las pérdidas de un trayecto, se tiene:

$$L_{50}(dB) = L_{free} + A_m(f, d) - G_t - G_r - G_A \quad \text{Ec. 7}$$

Donde la ganancia de la antena transmisora es:

$$G_t = 20 \log\left(\frac{h_t}{200}\right) \quad \text{Ec. 8}$$

Y para la ganancia de la antena receptora para alturas menor a 3 metros, se tiene: Cuando la altura de la antena receptora es mayor a 3 metros y menor a 100, la ganancia de esta se establece como:

$$G_r = 20 \log\left(\frac{h_r}{3}\right) \quad \text{Ec. 9}$$

Para zonas urbanas, se tiene que el valor de la mediana de pérdidas se puede estimar a partir de Ec. , en donde f_c corresponde a la frecuencia de la portadora, y a_r es un factor de corrección para el tamaño efectivo de la antena, la cual es función del área de cobertura:

$$\begin{aligned} L_{50}(\text{areasurbanas}) & \quad \text{Ec. 10} \\ & = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_t) - a_r \\ & + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d) \end{aligned}$$

Dicho valor del factor de corrección usada en la Ec. 11, se halla por medio de las Ec. , Ec. , Ec. , en función del tamaño de la región a analizar.

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a_r = (1.1 \log(f_c) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f_c) - 0.8)dB \quad \text{Ec. 11}$$

Para ciudades grandes y frecuencias de portadora menor a 300 MHz:

$$a_r = 8.29(\log(1.54h_r)^2) - 1.1 \text{ dB} \quad \text{Ec. 12}$$

Para ciudades grandes y frecuencias mayores a 300 MHz:

$$a_r = 3.2(\log(11.75h_r)^2) - 4.97 \text{ dB} \quad \text{Ec. 13}$$

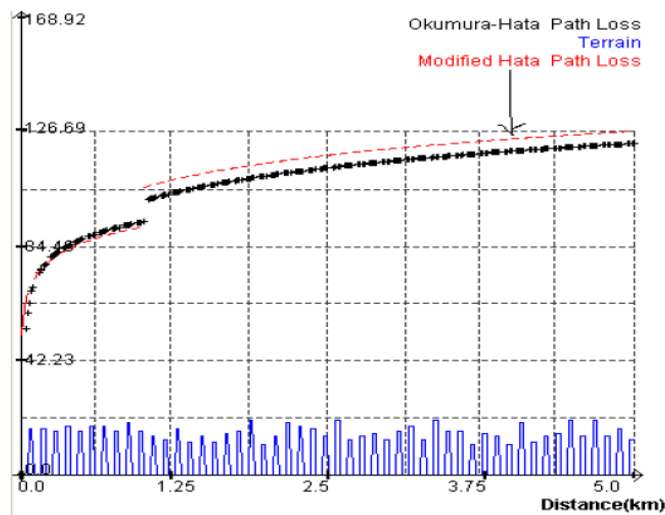
El modelo de Hata se ajusta al modelo original de Okumura, pero tan solo es adecuado para celdas grandes y no para micro celdas, en dicho caso para distancias que abarquen un área de cobertura de más allá de 1 km. Por ello se

plantea la determinación de los valores de la mediana de pérdida para sectores suburbanos y rurales como:⁷

$$L_{50}(A. suburbanas) = L_{50}(Urbanas) - 2 \left(\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right)^2 - 5.4 \quad \text{Ec. 14}$$

$$L_{50}(A. rurales) = L_{50}(Urbanas) - 4.78(\log(f_c))^2 - 18.33 \log(f_c) - 40.98 \quad \text{Ec. 15}$$

Figura 7. Comparación entre el Modelo Okumura-Hata y Hata modificado.



Fuente: tomado de Desempeño De Modelos De Propagación Para La Zona De Caldas [Report] / auth. J.C García O.A Rodríguez, J.L Castillo / Universidad Nacional De Colombia Sede Manizales. – Manizales.

En la figura 7, se aprecia los valores de decibeles en el valor de la mediana para pérdidas por trayectoria para dos tipos de modelos. El primero de ellos es el Okumura-Hata y el segundo el Hata modificado. En este caso los autores informan una diferencia en la medición de alrededor de 4 dB, siendo el Hata modificado el que proporciona una mayor precisión. En esta prueba piloto, se tomó un ancho de terreno de 73.8 m, un promedio de alturas en edificaciones de 15.84 m y un porcentaje de construcción de 37%. De igual forma una frecuencia de ensayo de 900 MHz, las alturas de la antena transmisora y receptora de 200 m y 3 m respectivamente.⁸

⁸J. C. García, O. A. Rodríguez, and J. L. Castillo, "Desempeño de Modelos de Propagación en Comunicación Móvil para la zona de Caldas Parte 1 : Modelos para áreas urbanas," Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

- **Modelo de WALFISCH-BERTONI:** En este modelo se incorpora a las pérdidas los efectos causados por factores como el impacto en los techos y las alturas de los edificios, a partir del cual se estima el valor medio de la intensidad de la señal medida desde el nivel del suelo.

En este modelo, S describe las pérdidas de propagación, P_o las pérdidas en el espacio libre considerando antenas isotrópicas, Q^2 representa la disminución en la magnitud de la señal causada por los edificios que obstaculizan la sintonización de la señal por parte del receptor que se encuentra al nivel del suelo y P_1 las pérdidas de difracción causada por el techo (las Ec. , darán respuesta a las pérdidas de propagación para este modelo).⁷

$$S = P_o Q^2 P_1 \quad \text{Ec. 16}$$

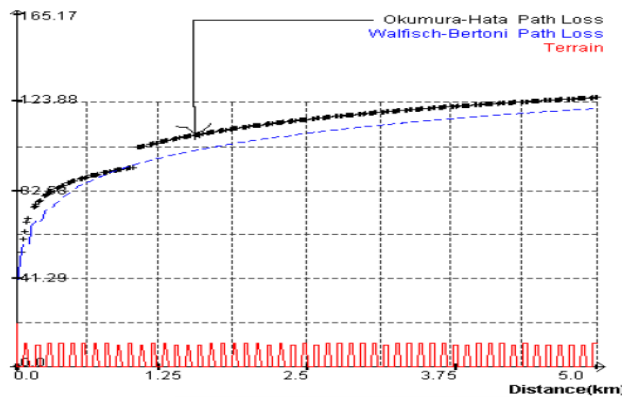
Donde

$$P_o = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad \text{Ec. 17}$$

A su vez estas pérdidas en dB's se dan mediante la ecuación:

$$S(\text{dB}) = L_o + L_{\text{filas de edificios}} + L_{\text{techo-piso}} \quad \text{Ec. 18}$$

Figura 8. Comparación entre el modelo Okumura-Hata y el Walfisch_Bertoni.



Fuente: tomado de Desempeño De Modelos De Propagación Para La Zona De Caldas [Report] / auth. J.C García O.A Rodriguez, J.L Castillo / Universidad Nacional De Colombia Sede Manizales. – Manizales.

En la figura 8, se realiza una comparación entre el modelo Okumura-hata y el Walfisch- Bertoni. Los autores informan que a una distancia de 4.96 km, con el modelo Okumura-Hata se midió un valor de pérdida de 123.88 dB, mientras que con el segundo fue de 120.78 dB, pero en sí no se presenta ninguna conclusión respecto a cuál de estos presenta una mayor precisión.⁸

2.2.1.2 Modelos de propagación INDOOR (entornos interiores). Los niveles de fluctuaciones de las señales en este tipo de entorno se encuentran más marcados, debido a que existe un mayor número de obstáculos que pueden generar problemas de absorción, atenuación, difracción de la señal transmitida.

Los modelos de propagación en interiores se diferencian de los modelos de tradicionales en:

- Las distancias cubiertas son más pequeñas.
- Las variables del entorno cambian en mayor medida para separaciones más pequeñas entre el transmisor y el receptor.⁷

- Modelo de propagación en el espacio Libre: Se utiliza para determinar el valor de la potencia de una señal cuando entre el transmisor y el receptor existe una clara línea de vista. Según este planteamiento, la potencia recibida depende de la distancia que separa el transmisor y el receptor, y se puede estimar a partir de la ecuación de Friss (Ec. 12).

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2 L} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde $P_r(d)$ es la potencia recibida, la cual es función de la distancia entre el transmisor y el receptor, P_t es la potencia transmitida, G_t es la ganancia de la antena transmisora, G_r la ganancia de la antena receptora, λ es la longitud de onda de la señal transmitida, d la distancia entre las antenas y L son las pérdidas del sistema que no se encuentran relacionadas o ligadas a la propagación.⁷

-Modelo Log-Normal Shadowing PathLoss: Este modelo plantea que las pérdidas en entornos cerrados se puede expresar según la Ec. 3 la cual es función de la distancia entre el transmisor y receptor:

$$P_l(d) = P_l(d_o) + 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + X_\sigma \quad \text{Ec. 3}$$

Siendo n la variable de pérdida de trayecto, $P_l(d_o)$ es la pérdida a una distancia de referencia cercana y X_σ es la desviación típica.

El valor de n es una variable que depende del entorno, y $P_l(d_o)$ se determina a partir del modelo de propagación en espacios libres.

- Modelo de pérdidas de trayecto basado en COST 231: Este modelo basa su funcionamiento el modelo COST 231, el cual es definido como:

$$L = L_{FS} + L_C + \sum_{* L_f} K_{Wi} L_{Wi} + n \left(\frac{n+2}{n+1} b\right) \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

L_{FS} = pérdida en espacio libre entre transmisor y receptor

L_C = constante de pérdida

K_{Wi} = número de paredes de tipo i penetradas

n = número de suelos penetrados

L_{Wi} = pérdida debida a muro de tipo i

L_f = pérdida entre suelos

b = parámetro empírico

El modelo COST 231 tiene en cuenta las pérdidas de propagación en el espacio libre, también las generadas por las paredes, suelos y techos incluidas aquellas que se generan entre el trayecto de la señal desde el transmisor al receptor.⁷

- **Modelo basado en el número de muros y suelos (simplificado):** En este modelo además de incorporarse los valores de pérdidas asociados al trayecto, se incluye las generadas por efectos de los muros y paredes que atraviesa la señal al ir desde el emisor o transmisor hasta el receptor. (Ec. 5).

$$L = L_i + 20 \log(r) + n_f a_f + n_w a_w \quad \text{Ec. 5}$$

De la Ec. 24 se sabe que:

r - distancia en metros en línea recta

L_i - pérdida de referencia con $r=1$ metro

a_f - atenuación por cada suelo que atraviesa

a_w - atenuación por cada muro que atraviesa

n_f - número de suelos que atraviesa

n_w - número de muros que atraviesa

- **Modelo ITU-R:** Este tipo de modelo solo incluye las pérdidas causadas por los suelos. Las pérdidas generadas por los muros, se agregan implícitamente cambiando el exponente de pérdida en el trayecto (Ec. 6).

$$LT = L_i + 20 \log_{10}(f_c [MHz]) + 10 \log_{10}(r [m]) + L_f n_f - 28 \quad \text{Ec. 6}$$

- **Modelo Linear Path Attenuation:** Este modelo es aplicado cuando se desea estimar el valor de pérdidas entre un transmisor y un receptor que se encuentran en la misma planta. Las pérdidas por trayectoria es medido en dB's y se obtiene a

partir de las pérdidas en el espacio libre (PL_{fs}), el cual se suma con un factor lineal. La fórmula usada para este modelo es:

$$PL(d) = PL_{fs} + ad \quad \text{Ec. 7}$$

Donde “a” es el coeficiente de atenuación lineal y “d” la distancia que separa el transmisor del receptor. La desventaja que presenta este modelo es que no incluye las pérdidas causadas por procesos de desvanecimiento, tan solo las pérdidas en el espacio libre.⁷

- **Dual Slope-Model:** Como su nombre lo indica, este se basa a partir de la aplicación de dos modelos que depende directamente del tipo de distancia a analizar. Uno para distancias cortas y otro para distancias largas. El primero tiene un rango corto y su propio índice de decaimiento, mientras que el segundo depende del primero. Para diferenciar el tipo de modelo usado se introduce en una de las fórmulas la distancia de ruptura dBR (Ec. 8, Ec. 9).

$$PL_{DS1}(d) = 10n_1 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) - a_0 \quad \text{Ec. 8}$$

$$PL_{DS2}(d) = PL_{DS1}(d) + 10n_2 \log\left(\frac{d}{d_{BR}}\right) \quad \text{Ec. 9}$$

Dónde:

d_{BR} : Distancia de ruptura.

λ : Longitud de onda.

n_1 : Exponente de pathloss antes de dBR (PL_{DS1}).

n_2 : Exponente de pathloss después de dBR (PL_{DS1}).

a_0 : Diferencia entre PLDS y PLFS a la distancia de 1 metro.

-**Modelo Keenan-Motley:** En este modelo se mide las pérdidas por trayectoria a partir del conocimiento de la potencia de la señal recibida desde determinada distancia de referencia. La fórmula usada es la siguiente:

$$PL_{KM}(d) = PL_M + 10n \log(d) + K_F PL_{FS} \quad \text{Ec. 10}$$

Dónde:

PL_M : es el pathloss medido a 1 metro.

PL_{FS} : es el pathloss en espacio libre; incluyendo pérdidas por penetración a través de suelos/techos.

K_F : Número de suelos/techos penetrados.

La desventaja de este modelo es que no permite predecir el nivel de la señal recibida, dado que el cálculo de las pérdidas por trayectoria se hace de forma teórica y no se obtiene el real.

-Modelo Multi-Wall: Para la determinación del PathLoss se usa un valor de $n=2$ como exponente de pérdidas de trayectoria en el espacio libre, junto con un conjunto de factores de atenuación asociados con el número de plantas n_f y muros n_w que se interponen con la línea de visión existente entre los terminales del transmisor y receptor . La fórmula usada para estimar este valor es:⁷

$$PL_{MW} = PL_1 + 20 \log(d) + n_f a_f + n_w a_w \quad \text{Ec. 11}$$

Donde

PL_1 - Path loss a 1 metro.

a_f - factor de atenuación de suelos.

a_w - factor de atenuación de muros.

n_f - número de suelos atravesados.

n_w - número de muros atravesados

2.2.2 Modelos de propagación deterministas. Estos modelos de propagación basan la determinación de las pérdidas a partir de principios físicos y matemáticos. En comparación con los métodos estadísticos, tienen la ventaja de que son muy precisos, aunque requieren enormes bases de datos que contenga la información relativa al entorno que será objeto de estudio. Por ello terminando siendo muy complejos y computacionalmente poco eficientes.

2.2.2.1 Modelos basados en técnicas de trazado de rayos. Este modelo calcula y determina todos los posibles caminos o trayectos que puede tomar la señal que es originada por el transmisor y que termina siendo captada por el receptor. El valor o nivel de dicha señal depende de la suma de los componentes de todos los trayectos que fueron causados por procesos de difracción, dispersión, absorción, reflexión, entre otros.³

2.2.2.2 Modelos FDTD. Usa el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo para la solución de las ecuaciones de maxwell, a partir del cual se define una cuadrícula o área de interés. Estos modelos son muy exigentes computacionalmente y el tiempo de respuesta depende significativamente del tamaño del área analizada, a su vez tienen la ventaja de ser modelos muy exactos y que se acoplan a cualquier tipo de geometría del terreno.

2.2.2.3 Modelos basados en el método de los Momentos (MoM). Es uno de los más recomendables cuando se cuenta con una gran cantidad de pequeños obstáculos, donde el valor de la precisión está ligado directamente con el número de segmentaciones espaciales que sea empleado para los objetos. Comúnmente se usa para objetos con tamaño del orden de diez veces mayor a la longitud de onda de la señal transmitida.³

2.3 CELDAS

En las redes de telefonía móvil el concepto de sector o celda corresponde a un área específica cubierta por una antena con uno o varios transceptores, es muy común que se les represente de manera hexagonal pero en la realidad su forma depende del patrón de radiación de la antena y de la potencia del transceptor.

A su vez las celdas se dividen en:

- **Micro celda:** son celdas con un área de cobertura pequeña que se ubican comúnmente en zonas densamente urbanas en donde se agrupan más cantidades de usuarios. Debido a que el radio de cobertura que maneja la celda esta hasta los 300 metros es necesario la existencia de una gran cantidad de micro celdas para dar soporte a las áreas deseadas.
- **Mini celda:** son celdas que pueden tener coberturas de hasta un kilómetro y que se recomiendan utilizar en zonas urbanas o suburbanas de la ciudad.
- **Macro celda:** las macro celdas poseen coberturas de hasta los 35 km pero no están diseñadas para manejar una gran cantidad de usuarios ni de tráfico por lo que es común ubicarlas en las zonas rurales y suburbanas.

Adicionalmente se aclara que el operador con el fin de optimizar recursos y darle soporte continuo al usuario creo el termino de celda sombrilla que son básicamente celdas que abarcan un grupo de micro celdas.⁹

⁹H. C. Polo, *Redes Móviles Celulares*. 2012, pp. 26–120.

2.4 REDES DE TELEFONÍA MÓVIL DE SEGUNDA GENERACIÓN.

El sistema de telefonía móvil celular GSM (Sistema Global para comunicaciones Móviles) se puede definir como el primer sistema estandarizado y acogido mundialmente, que en su idea original fue creado para el transporte de la señal vocal y que con el paso del tiempo evoluciono para prestar servicios de internet mediante la aparición de los sistemas GPRS Y EDGE que en si basaban su funcionamiento en el cambio de las técnicas de conmutación y modulación existentes en GSM lo que representaba un aumento de la velocidad y capacidad para el sistema.

Básicamente se puede decir que la arquitectura de la red GSM se divide en 2 segmentos, el primero es el segmento de la red de radio acceso y el segundo el que abarca el sistema de conmutación de red, quienes en conjunto dan sostenimiento a los usuarios de la red celular.

En cuanto a el segmento de radio acceso este se encuentra conformado por el usuario con el terminal móvil, una estación base con transceptores con la que se llega a el usuario, la estación controladora encargada de manejar la estación radio base y por ultimo una unidad transcodificadora que permite adaptar las velocidades de muestreo entre el segmento de conmutación de red y el segmento de red de radio acceso. Este conjunto de elementos de red son en sí los que le permiten al usuario poder acceder a la red celular.

Es importante aclarar que dentro del funcionamiento del segmento de la red de acceso uno de los conceptos más importantes es el de celda o sector que en si corresponden a un área específica abarcada por una antena o transceptor de una estación base dentro de toda el área de cobertura del operador de telefonía móvil, a su vez a esta celda o sector se le atribuye una frecuencia puntual que la identificara y que se puede repetir en una celda diferente que se encuentre distante, esto con el fin de reutilizar las frecuencias de toda banda que posee el operador.⁹

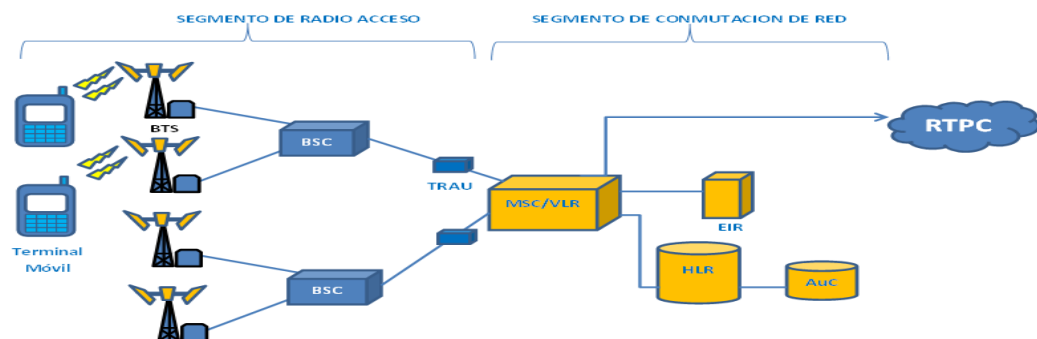
Por otro lado está el segmento de conmutación de red quien es el encargado de conectar entre sí a los usuarios de la red celular y también de brindar la conexión de la red móvil con la red de telefonía pública conmutada, los elementos de red que lo componen son la central de conmutación móvil conocida como la MSC (Mobile Switching Center) asociada a una base de datos variable que alberga temporalmente la información de los abonados conectados a la MSC, una base de datos local de abonados llamada HLR (Home Location Register), una segunda base de datos encargada de la autenticación denominada AuC (Authentication Center) y por ultimo un módulo encargado del manejo y registro de la identificación de los terminales EIR (Equipment Identity Register). Este segmento de red maneja toda la información del usuario desde su ubicación hasta el nombre del poseedor del equipo móvil y mediante la información prestada por la base de

datos temporal 'VLR' permite que se pueda ubicar a cualquier destinatario para el establecimiento de una llamada.⁹

Se aclara que la modulación utilizada por el sistema GSM es la GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) que se asemeja a la modulación QPSK (modulación por desplazamiento de fase de 4 símbolos) desplazada ocasionalmente por medio periodo de símbolo y que GPRS maneja el mismo esquema de modulación pero introduce en su arquitectura nuevos elementos de red en su segmento de conmutación, por otro lado el sistema de telefonía móvil EDGE si requiere la adición de nuevos transceptores así como de terminales móviles que soporten el nuevo esquema de modulación introducido 8-psk (modulación por desplazamiento de fase de 8 símbolos).⁹

A continuación se ha de ilustrar la arquitectura de la red celular GSM.

Figura 9. Imagen de la arquitectura de la red GSM y de los elementos de red pertenecientes a cada segmento.



Fuente: Imagen basada en el libro Redes móviles Celulares-Hugo Campos. Pag.33

2.4.1 Elementos de red del segmento de red de radio acceso. De acuerdo a la naturaleza del documento tan solo se describirán puntualmente los elementos de la red de acceso, pues en el desarrollo de la propuesta no hay ningún fundamento teórico sobre el segmento de conmutación que deba desarrollarse.

2.4.2 Terminal móvil. El terminal o teléfono móvil es el equipo físico que permite que el usuario interactúe con la red celular, a su vez este difiere del teléfono básico que normalmente se tiene en los hogares tanto en composición como en su funcionamiento y un ejemplo de ello se evidencia en la ausencia para el sistema móvil de un tono de invitación a marcar pues básicamente no se puede descolgar un equipo celular.

Dentro de los componentes básicos de un equipo celular se encuentran el micro teléfono, un transceptor de radio y una antena quienes juntos gestionan los procesos necesarios para el establecimiento y mantenimiento de la conexión con las estaciones base. Por su parte el micro teléfono termina siendo la unidad de control de todo el equipo que a su vez posee los componentes físicos como el

armazón, el teclado y los elementos que le permiten al usuario manejar el móvil, por otro lado el transceptor es el encargado de sintonizar el canal de radio con la estación base y dentro de otras cosas coordinar el cambio de sectores con la red y por último está la antena de quien dependerá la calidad de la transmisión y recepción del móvil.¹⁰

Es importante decir que todo equipo móvil posee un identificador único que lo diferencia de los demás, este es denominado IMEI (International Mobile Equipment Identity) y a su vez se encuentra registrado por el operador de telefonía móvil en su módulo EIR.

Por otro lado el terminal móvil debe poseer una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) quien identifica puntualmente al abonado o usuario, esta tarjeta SIM alberga los algoritmos y claves de autenticación y cifrado que le permiten al móvil conectarse a la red junto con la información del país y la red a la que pertenece mediante los códigos MCC (Mobile Country Code) y MNC (Mobile Network Code), además gracias a su código de identificación IMSI (International Mobile Subscriber Identity) es posible identificar los servicios a los que se encuentra suscrito el usuario.⁹

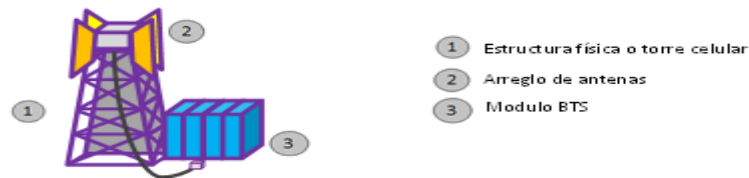
2.4.3 Estación base (BTS).La estación base es el elemento de red que se conecta con el abonado mediante la interface de radio conocida como Um (Interface de aire para las redes GSM), esto mediante arreglos de antenas de recepción y transmisión junto con transceptores que dan cubrimiento a áreas específicas denominadas sectores o celdas, que a su vez necesitan una frecuencia puntual que las identifique y se denomina portadora.

Dentro de algunas funciones que cumple este elemento de red se encuentran la generación de las tramas de acuerdo a la tecnología de acceso TDMA, el suministro de la información de sincronismo al abonado para que este pueda enlazarse con la estación base, la codificación y cifrado de la información, la modulación de la portadora por parte de la información que se desea transmitir, el control de potencia del equipo celular y entre otras funciones que se basan en el establecimiento y mantenimiento de la conexión del abonado con la red celular.⁹

Básicamente la estación base se divide en tres partes, la primera corresponde al elemento físico que da sostenimiento a las antenas y que comúnmente se conoce como torre o mástil, la segunda es el arreglo de antenas que frecuentemente se encuentran en la parte superior de la torre y la tercera parte está conformada por un grupo de RACK'S (armazón utilizado para alojar equipos de tal manera que el espacio físico se aproveche en lo máximo posible) quienes proveen las funciones vitales de la estación base y a su vez son comúnmente llamados como el módulo BTS.

¹⁰E. R. Veiga, *Telecomunicaciones Móviles*.

Figura 10. Composición general de una estación base.



Fuente: Autor.

La torre es la estructura física que sostiene el arreglo de antenas y a su vez se puede encontrar en cuatro tipos de presentación, estos son:

- El primer tipo de torre se refiere a la torre de telefonía auto soportado quien debido a su cimentación no necesita ser sostenida por ningún agarre, comúnmente su instalación se da directamente en el suelo y se pueden encontrar tanto en zonas rurales como urbanas dependiendo de la altura de los edificios.
- Existe un segundo tipo de torre denominada Monopolo quien tampoco necesita de ningún agarre o sostenimiento debido a su cimentación a su vez es usada principalmente para el mejor aprovechamiento espacial.
- Por otro lado se encuentra la torre tipo atirantada que es usualmente montada en edificios o en zonas puntuales en donde no se puede dar una cimentación, estas torres utilizan tensores en diferentes alturas de la estructura permitiéndole mantenerse en pie.
- Por último están las torres tipo pedestal o mástil que se fundamentan en la utilización de una estructura tubular como apoyo a la estructura de la torre, son usualmente utilizadas en terrazas de edificios.¹¹

Es importante decir que dentro de los componentes de la torre celular se encuentran las guías de onda que conectan al módulo BTS con las antenas, una de estas guías de onda es conocida como el Feeder quien recorre de punta a punta la estación base quedando a pocos metros de las antenas y del módulo BTS, a su vez para conectar las antenas con el Feeder se utilizan guías de onda de menor diámetro con longitudes entre los 3 y 6 metros y de igual manera se conectan el módulo BTS con el extremo contrario del Feeder, todo esto con el fin de dar conectividad entre las antenas y los RACK'S. Se aclara que por cada antena existen dos Feeder en la torre.

En la parte superior de la estructura vertical se encuentran los arreglos de antenas que son los encargados de la transmisión y recepción de las señales electromagnéticas, a su vez las antenas poseen parámetros que definen su

¹¹"Tipo de Antenas Para Comunicaciones," 2012. [Online]. Available: <http://es.scribd.com/doc/14821394/Tipos-de-torres-para-Comunicaciones-Microwavve-and-antennae-towers>.

diagrama de radiación al cual está directamente ligado la forma de la celda. Algunos de los parámetros son:

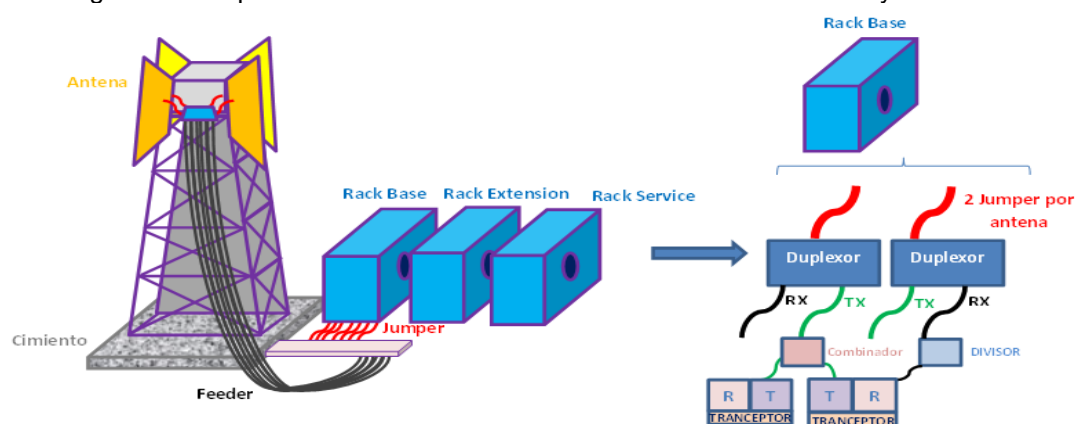
- **Rango de frecuencia:** define el conjunto de frecuencias de operación.
- **Polarización:** define la orientación de la radiación del campo eléctrico.
- **Horizontal Beamwidth:** define en grados el ancho del haz de la antena en el plano x.
- **Vertical Beamwidth:** define en grados el ancho del haz de la antena en el plano y.
- **Tilt eléctrico:** alteración del ángulo de inclinación de lóbulo principal, mediante el cambio de fases de las señales en la antena.
- **Ganancia de la antena:** la cual se mide en dB y representa el aumento de la intensidad que proporciona la antena a una señal de entrada

El módulo BTS está compuesto por un grupo de RACK'S los cuales son:

- Rack service: este armazón contiene todos los elementos correspondientes a la fuente de poder del sistema, dentro de los elementos también se encuentran una serie de rectificadores y baterías con el fin de dar sostenimiento por si hay una falla de energía.
- Rack extension: contiene elementos encargados de la ampliación de la capacidad del sistema.
- Rack base: está compuesto por los equipos transceptores (equipos de transmisión y recepción al mismo tiempo), equipos combinadores, amplificadores de potencia y por los duplexores de las señales de entrada y salida. Los transceptores también son conocidos como la unidad de control.¹²

Según lo anterior el esquema completo de una estación base con sus partes es:

Figura 11. Diagrama de específico de todos los elementos de una estación base y del RACK BASE.



Fuente: Autor.

¹²E. F. Pérez, *Consideraciones Técnicas y Fundamentos Contra Descargas Electroatmosféricas y Pulsaciones Electrmagnéticas Para una Radio Base*. 2012.

Se aclara que en la figura 11 se agrega la composición del RACK BASE y a su vez mediante el diagrama se pueden establecer las funciones de cada uno de los elementos por ejemplo se aprecia que el Combinador se encarga de concentrar 2 o más frecuencias de transmisión para ser transmitidas por un solo medio físico, y que el Duplexor reconoce la transmisión y recepción por un mismo medio.

Es usual que la estación base tenga un bajo nivel de procesamiento pues lo que se intenta es concentrar las decisiones y las tareas de control más robustas en la estación controladora a la que está ligada la BTS. Esta situación se da con el fin de que la estación base sea lo más simple posible y se eviten errores de funcionamiento para la misma.⁹

2.4.4 Estación controladora (BSC). La BSC (Base Station Controller) o estación controladora es el elemento de red al que se le atribuye el mayor porcentaje de procesamiento de la estación base, así como su control y la administración de sus recursos. Un operador de telefonía móvil posee un gran número de estaciones base debido a la necesidad de cubrir áreas específicas, esto no sucede con las estaciones controladoras debido a su costo y a la necesidad de centralizar en una pequeña cantidad de objetos el manejo de la red de radio acceso, por esta razón es común que en una red móvil con entre 2000 y 4000 sitios solo existan de 40 a 50 BSC.

Dentro de sus principales funciones se encuentra el manejo de un grupo de estaciones base con una distribución geográfica cercana, realizando la gestión de la potencia, frecuencia y señalización de cada una de estas BTS.⁹ Del mismo modo la BSC es la encargada de supervisar el procedimiento de Handover, el cual permite a un usuario móvil desplazarse entre la cobertura de diferentes celdas o sectores celulares sin perder la continuidad del servicio en curso (voz o datos). En este caso la BSC está monitoreando constantemente la potencia y la calidad de la señal producida por el equipo celular que llega a la celda que le da cobertura y a las celdas adyacentes, adicionalmente gracias a los algoritmos de desempeño y de cálculo de potencia la estación controladora es capaz de decidir qué sector dará mayor sostenimiento al usuario. El algoritmo de desempeño se basa en la verificación de la calidad de la señal variando los niveles de potencia. Si se aumenta la potencia y la calidad de la señal no mejora es viable realizar el Handover. Lo anterior busca optimizar el pathloss evitando interferencia en la zona tanto en la señal de DL como de UL.⁹

2.4.5 TRAU (Transcoder and Rate Adaptation Unit). El TRAU es una unidad transcodificadora que permite adaptar las velocidades de muestreo entre el segmento de conmutación de red y el segmento de red de radio acceso, por un lado se encuentra conectado con una interfaz llamada ATER o AMUX que se conecta a la BSC y por el otro con una interfaz A que da conectividad con la MSC.

2.5 REDES DE TELEFONÍA MÓVIL DE TERCERA GENERACIÓN

Las redes de telefonía móvil han evolucionado de acuerdo a las necesidades de cada época, la aparición del sistema GSM permitió proveer los servicios de voz, los cuales representaban una gran demanda en los años de 1990, posteriormente debido a la necesidad de los usuarios móviles de tener conectividad a los servicios de internet surgen los sistemas como GPRS y EDGE quienes facilitaron en su momento a los usuarios el acceder a los servicios de voz y datos. Luego del paso del tiempo las capacidades y velocidades ofrecidas por estos sistemas de segunda generación no dieron abasto a las exigencias de los usuarios por lo que fue necesario evolucionar a los sistemas de tercera generación concebidos con la idea de prestar el acceso a internet con los anchos de banda necesarios para soportar los servicios de multimedia, servicios de alta descarga de datos, servicios en tiempo real y entre otros servicios que al día de hoy tienen gran relevancia para los consumidores. La idea original de las redes de tercera generación era migrar completamente a IP (Internet Protocol) esto debido a que se incrementaba constantemente la demanda de datos contrario a lo que sucedía con los servicios de voz, mas sin embargo esta migración no se llevó a cabo plenamente por lo que los operadores siguen utilizando en algunos sectores de su red protocolos de transmisión basados en tecnologías ATM (Asynchronous Transfer Mode) y TDM (Time División Multiplexing).⁹

Es importante aclarar que las redes de tercera generación abarcan los sistemas UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y sus evoluciones conocidas como HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) quienes aumentan las velocidades de acceso del sistema.

Básicamente se puede decir que la arquitectura de la red UMTS se divide en 2 segmentos, el primero es el segmento de la red de radio acceso conocido como UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y el segundo el que abarca el corazón de la red quien se conoce comúnmente como CN (Core Network), en conjunto estos dos segmentos permiten que los usuarios puedan acceder y disfrutar de los servicios de la red.

En cuanto al segmento de UTRAN este se encuentra conformado por:

- Terminal móvil que maneje tecnología UMTS.
- Una estación radio base que toma el nombre de Nodo B.
- La estación controladora conocida como RNC (Radio Network Controller) quien es la encargada de manejar un grupo de nodos B.

El objetivo puntual de este segmento es el de permitir al abonado tener acceso a la red mediante el uso de la interface de aire que en UMTS tiene el nombre de Uu.

Por otro lado está el segmento de CN o Core de red quien es el encargado de realizar los procesos de conmutación para los servicios de voz, realizar los procesos de enrutamiento de los datos, establecer las conexiones con las redes de telefonía básica y con otras PLMN (Public Land Mobile Network), a su vez también se encarga de los procesos de control de movilidad con el fin de establecer a toda hora cual es la ubicación del móvil y también de establecer la conexión a internet.

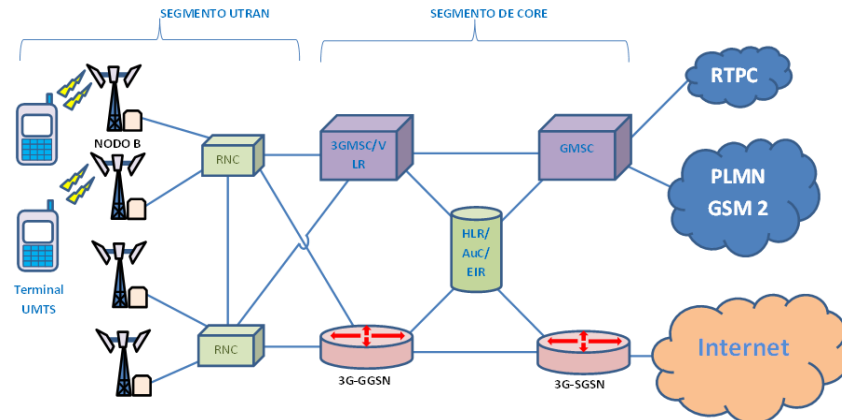
Los elementos de red que lo componen son:

- La central de conmutación móvil conocida como la 3GMSC (Mobile Switching Center) se encarga del establecimiento y gestión de las conexiones de los usuarios de los servicios de voz y también hace el seguimiento de la movilidad de estos abonados.
- La 3GMSC posee en su interior una base de datos temporal llamada VLR (Visitor Location Register) en donde se aloja la información de los abonados que en un momento específico se encuentran asociados a esta central.
- Una central de conmutación llamada GMSC quien me permitirá establecer las conexiones entre los usuarios de la PLMN y la PSTN.
- Un módulo que agrupa los HLR, AuC y EIR nombrados anteriormente en las redes de segunda generación,
- Un 3G-SGSN (Serving GPRS Support Node) que corresponde al elemento enrutador de la red introducido desde el sistema GPRS, a su vez a este elemento se le pueden asociar las tareas que realiza la MSC pero haciéndolo para los servicios de datos.
- Un 3G-GGSN (Gateway GPRS Support Node) que se encarga de realizar el enrutamiento entre el 3G-SGSN y INTERNET. Se puede decir que este es el elemento de red que le permite a la red celular salir a internet.⁹

Este segmento se encarga de los procesos de enrutamiento y conmutación pertinentes para el establecimiento de las conexiones de los abonados y en general de prestar los servicios de la red.

A continuación se ha de ilustrar la arquitectura de la red celular UMTS.

Figura 12. Imagen de la arquitectura de la red UMTS y de los elementos de red pertenecientes a cada segmento.



Fuente: Imagen basada en el libro Redes móviles Celulares-Hugo Campos Pag.108

2.5.1 Elementos de red del segmento de red de radio acceso. De acuerdo a la naturaleza del documento tan sólo se describirán puntualmente los elementos de la red de acceso, pues en el desarrollo de la propuesta no hay ningún fundamento teórico sobre el segmento de CORE que deba desarrollarse.

2.5.1.1 Terminal móvil. El terminal móvil posee las mismas características del descrito en las redes GSM la diferencia se encuentra en las tecnologías de acceso y los esquemas de modulación que soporta.

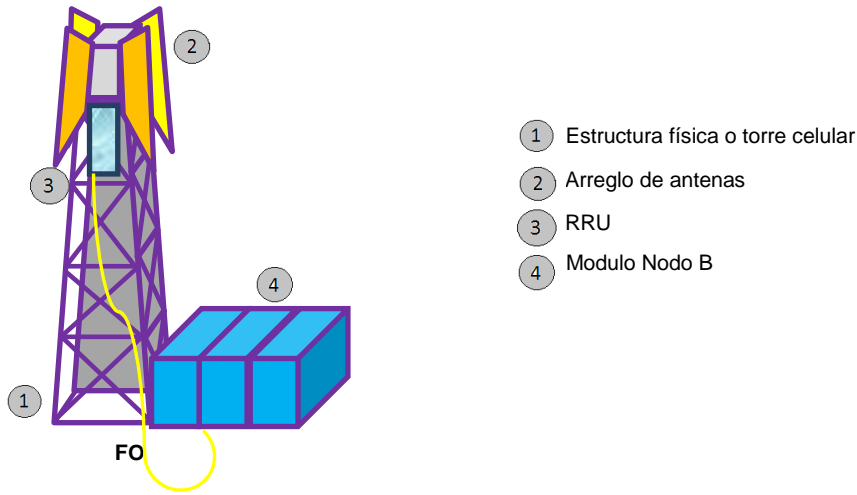
En el caso de las redes UMTS se maneja un esquema de modulación QPSK y para HSDPA se utiliza un esquema de modulación adaptativo que según la carga de la celda y el nivel de interferencia de la señal elegirá entre QPSK y 16QAM. En cuanto a las tecnologías de acceso que manejan las redes 3G se encuentra básicamente W-CDMA.

2.5.2 Estación base 3G (Nodo B). Desde el punto de vista del usuario el nodo B y la BTS tienen las mismas características y funcionalidades más sin embargo sus diferencias se materializan en la interface de aire pues las tecnologías de acceso que manejan los sistemas GSM y UMTS son completamente diferentes. Por un lado GSM utiliza tecnologías de acceso FDMA Y TDMA y por el otro UMTS utiliza la tecnología WCDMA.

Básicamente el nodo B está compuesto 4 partes, la primera corresponde a la torre celular, la segunda a las antenas, la tercera es una unidad denominada RRU (Radio Remote Unit) quien se ubica en la parte superior de la torre y por último el modulo Nodo B.

A continuación representan las partes generales de Nodo B.

Figura 13 Composición general de un Nodo B.



Fuente: Autor

La torre y las antenas poseen prácticamente las mismas características y nombres en el sistema GSM, pero sin embargo en una torre para un nodo B deja de existir el Feeder y se reemplaza por una fibra óptica que va desde el módulo del nodo B hasta la unidad RRU.¹³

La unidad RRU por su parte es la encargada de transferir a la antena la señal con la frecuencia y potencia deseada, por tanto los transceptores que existían en GSM desaparecen, pues este módulo realiza todos los procesos relacionados con la producción de la señal de radio frecuencia, incluyendo el paso de la amplificación.

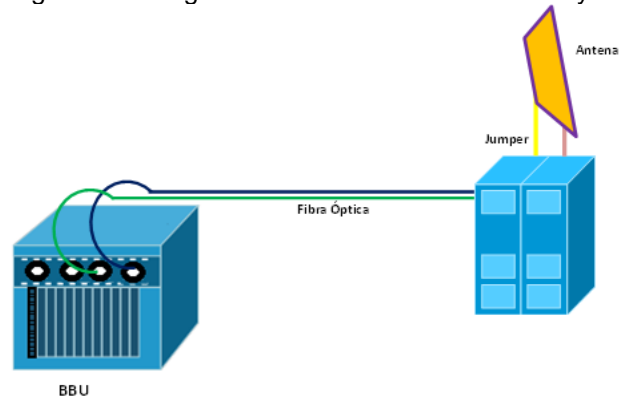
Se adiciona que mediante guías de onda de bajo diámetro (Jumper's) es posible conectar a la RRU con las antenas.

El módulo del nodo B está compuesto por el mismo grupo de RACK'S descrito en GSM, pero sin embargo el interior del RACK BASE es modificado y en este armazón tan solo se deja una unidad llamada BBU (Base Band Unit) que es la encargada del procesamiento de la señal a transmitir. Es posible denominar a la BBU como el cerebro del nodo B, pues se encarga de actividades de control y de capacidad.

A continuación se muestra la conexión entre la BBU y la RRU:

¹³J. R. Balselles, "Diseño De Una Estructura Para Dar Cobertura De telefonía Móvil 2G y 3G En El Interior De Una Línea de Metro.," 2012.

Figura 14. Diagrama de conexión entre la BBU y la RRU.



Fuente:

http://www.sbdic.co.kr/cart/data/info/2049291778_2edd51c4_Sample+Pages+for+ALU+9341+850MHz+40W.pdf

En GSM una estación base poseía poca capacidad de procesamiento porque en gran medida estos procesos le quedaban a la estación controladora situación que cambio para las redes UMTS pues se necesita que los nodos B se hablen entre si y que realicen la mayor cantidad de procesos posibles.

2.5.2.1 Estación controladora (RNC). La RNC no presenta mayores cambios en comparación a la BSC y su función principal se sigue basando en el control de un grupo de estaciones base y del manejo de sus recursos de radio.

2.6 PARA LAS REDES GSM Y UMTS.

Es importante agregar el termino cluster pues es quien le permite al operador de telefonía móvil agrupar cierta cantidad de celdas con portadoras que no se repitan a fin de evitar la interferencia y poseer un patrón que sea capaz de replicarse en toda la red del operador, a su vez dentro del concepto de cluster se evita la cercanía de dos o más celdas que posean portadoras adyacentes o muy seguidas pues esto también genera interferencia.⁹

2.6.1 Tecnologías de acceso para las redes GSM. Básicamente el sistema GSM se basa en la combinación de las tecnologías de acceso TDMA (Time Division Multiple Access) Y FDMA (Frequency Division Multiple Access) quienes se basan en:

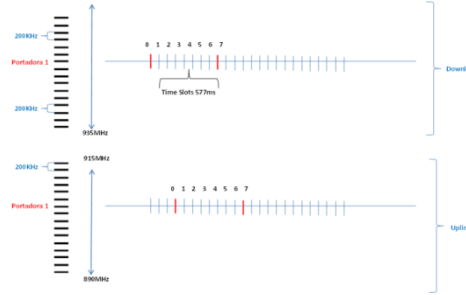
- **TDMA:** tecnología de acceso que se fundamenta en la asignación de los recursos del canal de transmisión a un usuario específico en un intervalo de tiempo determinado quien en GSM se denomina time slots, básicamente lo que se hace es fraccionar el canal en una cantidad específica de periodos para luego transmitir la información de una fuente distinta en cada uno de ellos, lo que hace que la transmisión de cada fuente no sea continua.
- **FDMA:** tecnología de acceso que se fundamenta en la división del espectro que se encuentra disponible para el canal de transmisión, básicamente en GSM se divide el ancho de banda total aprovechable en portadoras de 200Khz.¹⁴

En las redes de segunda generación se utiliza primero la tecnología FDMA con lo que se divide la banda de frecuencias asignada para el sistema en portadoras de 200Khz, esta asignación se hace tanto para la banda de Uplink como para la de Downlink. Posteriormente estas portadoras de 200Khz se han de fraccionar en 8 intervalos de tiempo de 577ms gracias al método de acceso TDMA. Adicionalmente con el fin de evitar que la transmisión y recepción simultanea se hace un desplazamiento entre la señal de Uplink y la de Downlink en tres intervalos de tiempo.⁹

A continuación se mostrará una imagen que sintetiza el proceso ya mencionado.

¹⁴ O. S. Roig, J. L. V. González, and R. A. Come, *Principios De Comunicaciones Móviles*, vol. 3. 2012.

Figura 15. Funcionamiento esquemas de acceso TDMA Y FDMA combinados.



Fuente: Libro Redes móviles celulares-Hugo Campos Polo Pag.60-61

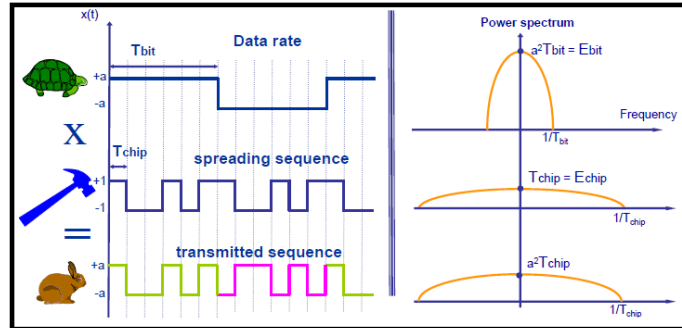
En la imagen reciente se muestra que el espectro de la banda de 900 MHz se subdivide en portadoras de 200KHz en Uplink y Downlink, a su vez se muestra una portadora específica para representar el esquema TDMA y se muestra el corrimiento entre los intervalos de tiempo entre UL y DL .

2.6.2 Tecnologías de acceso para las redes UMTS. Las redes de tercera generación manejan la tecnología de acceso W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) con portadoras de un ancho de banda de 5MHz y velocidades de hasta 2Mbps, esto mediante la combinación de códigos paramétrizados por la red con la frecuencia de operación, lo que permite a un grupo de usuarios utilizar la misma frecuencia en el mismo instante de tiempo.

Su funcionamiento se basa en el mejor aprovechamiento de las portadoras pues como se dijo anteriormente una misma frecuencia puede ser usada por más de una persona, por esta razón se utiliza el principio de espectro ensanchado quien esparce la energía de la señal en todo el ancho de banda de la portadora utilizada. El espectro ensanchado se fundamenta en la multiplicación de una señal de información y un Spreading code que no es más que una secuencia de bits establecida y conocida por la estación base y el equipo móvil, a su vez esta secuencia debe poseer una tasa de bits mayor a la de la señal de información y debe ser ortogonal a cualquier otra secuencia. Se adiciona que el Spreading code depende de una variable llamada Spreading factor quien definirá cuantos chip's (bits del Spreading code) hay por cada bit de la señal de información.

A continuación se representa gráficamente el funcionamiento de espectro ensanchado:

Figura 16. Funcionamiento del espectro ensanchado y efectos sobre el espectro de potencia.



Fuente. Imagen tomada de Redes móviles celulares-Hugo Campos Polo Pag.115

La imagen recién nombrada muestra la multiplicación entre la secuencia de Spreading y la señal de información, junto con el resultado producido que muestra una tasa de transmisión mayor y por tanto un esparcimiento de la potencia en el espectro de frecuencia, cabe agregar que el proceso inverso se desarrolla multiplicando de nuevo por el Spreadingcode.

Gracias al Spreadingcode se separa la comunicación de los usuarios en la portadora, mas sin embargo es necesaria la introducción de un nuevo código llamado Scramblingcode quien permitirá diferenciar puntualmente una celda y un terminal móvil. El Scramblingcode toma los chips del Spreadingcode y los ordena con un patrón de aleatorización.⁹

2.6.3 Simuladores de redes de acceso inalámbrico. Existe en el mercado una amplia gama de simuladores de redes de acceso, los cuales están enfocados al estudio de los parámetros propios de un sistema de comunicación, a su vez se especializan y desarrollan a partir de diferentes modelos de propagación para el estudio del comportamiento dinámico de las señales que son enviadas desde el transmisor y recibidas en el receptor, con el fin de analizar las pérdidas causadas por diferentes factores que son propios del terreno o entorno, los cuales pueden causar problemas de desvanecimiento o atenuación de la señal transmitida.

Una buena porción de las herramientas de simulación disponibles en el mercado se fundamentan en el modelo de propagación Okumura-hata y un ejemplo de ello es la herramienta Mentum Planet.

Mentum Planet es un software con el cual se puede gestionar y mejorar el rendimiento de las redes de acceso de un operador y se dirige a todas las etapas del ciclo de vida de la red, desde la planificación hasta la optimización de la misma.

A su vez la herramienta soporta los siguientes modelos de propagación:

El modelo general se basa en el modelo estadístico Okumura-hata donde se pueden usar diferentes tipos de entornos y en el que se incluye las pérdidas por trayectoria para cada elemento que se encuentra dentro de la zona de análisis, construyendo de antemano un perfil del terreno entre el transmisor y cada obstáculo. Es importante aclarar que este modelo no es eficiente para análisis en micro celdas, mini celdas y a grandes distancias. El modelo PGM-A es una variación del modelo general en el que existe un cambio en el método de cálculo de la potencia de la señal recibida y en la determinación de las pérdidas asociadas a procesos de difracción.

Por su parte el modelo Predict 4 es generalmente usado para el análisis y planificación en macroceldas y es muy útil para grandes distancias. De otra cabe mencionar que este modelo solo está diseñado para el cálculo de pérdidas por trayectoria en frecuencias VHF a UHF (30 MHz a 3 GHz).

Predict Air es un modelo muy usado en la aviación, ya que está diseñado para la comunicación para altas latitudes y se basa en el modelo Predict 4. Este cuenta con dos modos de funcionamiento: AMS (sobre el nivel del mar) en el que el usuario puede incorporar el dato referente a la altura de la antena y la altura de recepción se toma como constante. El otro modo es el AGL (A nivel del suelo) en el que la altura del receptor se toma como relativa al suelo y está definido por la entrada de elevación digital. Este modelo se diferencia de Predict 4 en que no genera predicciones referentes a pérdidas por trayectoria.

El modelo Universal es un modelo determinista que se puede acoplar a cualquier tipo de tecnología de celdas (micro, mini, macro) y a cualquier tipo de entorno, ya sea rural, urbano, suburbano, montañoso, etc. Además de ello se aplica para aquellos sistemas cuyo rango de funcionamiento de frecuencia abarca frecuencias entre 400 MHz y 5 GHz. Por esta serie de características, el modelo Universal se considera entre los antes mencionados superior en términos de velocidad de predicción y precisión

En cuanto al modelo Q9, se resalta que basa su funcionamiento en Okumura-Hata, el cual calcula las pérdidas de trayectorias que se presentan entre la base del transmisor y el receptor a partir del conocimiento del perfil del terreno. Se recomienda usarlo para rangos de frecuencia entre 150-2000 MHz y para análisis en radios de cobertura que abarcan los 0.2 a 100 km. De igual forma las pérdidas de trayectoria se determinan a partir de la incorporación de datos referente a la frecuencia, y las alturas de las antenas tanto receptora como transmisora.

Por último y no menos importantes, se tiene el modelo Longley-Rice muy usado en el estudio en zonas rurales o poco pobladas, en el que el usuario no tiene por así decirlo mucho conocimiento sobre el terreno u obstáculos existentes. Al igual que los anteriormente mencionados, tiene un rango recomendable de frecuencias de trabajo, las cuales se encuentran entre 20 MHz y 10 GHz. También cuenta con

dos modos de operación, el modo punto a punto en el que se tiene la información respecto al terreno a analizar y el modo punto a zona en el que se usan procesos para estimar los valores de ciertos parámetros relacionados con la trayectoria cuando no se tiene a mano un conocimiento detallado del entorno. Cabe resaltar que se usa en áreas de cobertura que van desde 1 km hasta 200 km, y alturas de antenas entre 0.5 m y 300 m.¹⁵

¹⁵P. Mentum, *MentumPlanetUser Guide*, Versión 5. 2012.

Capítulo 3

Desarrollo del proyecto

3.1 CONTENIDOS DEL MANUAL DE SIMULACIÓN

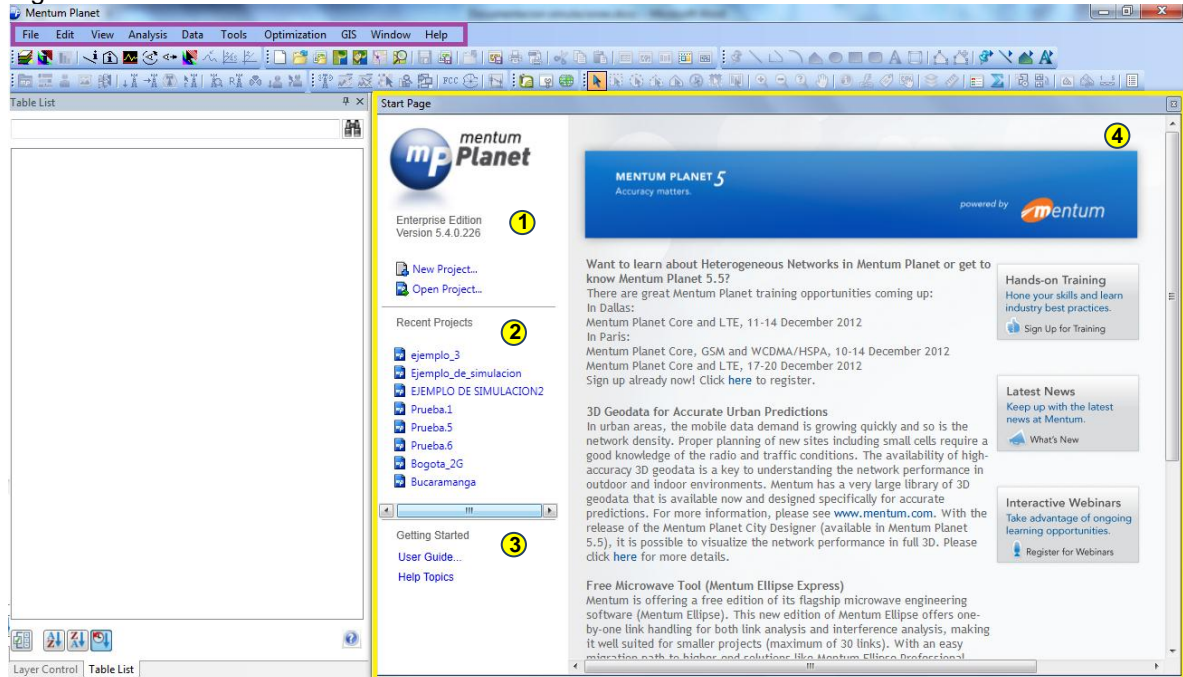
Para el desarrollo del presente manual de simulaciones de cobertura es necesario dar una explicación introductoria de la herramienta, en donde se describan los menús básicos y el cómo iniciar un proyecto, posterior a esto se han de mostrar ejemplos simples de simulaciones de cobertura en donde se introducirá manualmente una estación base y donde se alterarán los diferentes parámetros que la componen para apreciar los efectos sobre los diagramas de cobertura.

Según la información recientemente nombrada el manual de simulaciones de cobertura se estructurará de la siguiente manera:

1. Primeros pasos en la herramienta:
 - 1.1 Creación de un nuevo proyecto en la herramienta de simulación
 - 1.2 Los archivos de alturas y clutter.
 - 1.3 Barra de menús de la herramienta de simulación.
 - 1.4 Creación de un sitio y explicación de los parámetros de configuración que lo componen.
 - 1.5 Descripción de la generación de predicciones.
- 2 Ejemplos de simulaciones de cobertura.
 - 2.1 Ejemplo #1. (Ejemplo para GSM con parámetros por defecto y sin archivo de clutter)
 - 2.2 Ejemplo #2. (Ejemplo para GSM con parámetros por defecto y con archivo de clutter)
 - 2.3 Ejemplo #3. (Ejemplo para GSM modificando los parámetros del sitio (modificación de potencia))
 - 2.4 Ejemplo #4. ((Ejemplo para GSM modificando los parámetros del sitio (cambió de antena))
 - 2.5 Ejemplo #5. (Ejemplo para GSM modificando los parámetros del sitio (cambió modelo de propagación))
 - 2.6 Ejemplo #6. (Ejemplo para WCDMA con parámetros por defecto)

3.1.1 Primeros pasos en la herramienta. Al iniciar la herramienta se debe visualizar la siguiente imagen:

Figura 17. Inicio Mentum Planet



Fuente: Autor

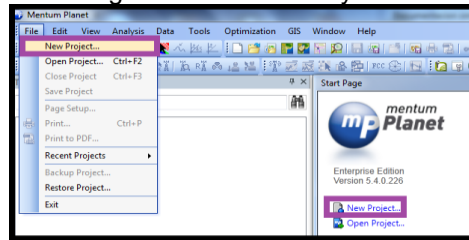
El recuadro de color amarillo señala la página de inicio de la herramienta de simulación, en esta se observan 4 numerales, el número 1 corresponde a la sección donde se pueden crear y abrir los proyectos. El número 2 corresponde a la sección en donde se muestran los proyectos recientemente trabajados y que se abren con hacer un sólo click primario. El número 3 corresponde a la sección de ayuda en donde se puede acceder a las guías de usuario y al asistente de ayuda, y, por último, se encuentra la sección con el número 4 en donde se publican las últimas noticias acerca de actualizaciones y nuevas licencias.

Por otra parte el recuadro de color púrpura señala la barra de menús de la herramienta.

3.1.1.1 Creación de un nuevo proyecto en la herramienta de simulación.

Paso 1. Para crear un nuevo proyecto se debe hacer click primario sobre la opción “New Project” que se encuentra en la sección número 1 de la página de inicio o dar click primario sobre la pestaña “File” y luego elegir la opción “New Project”.

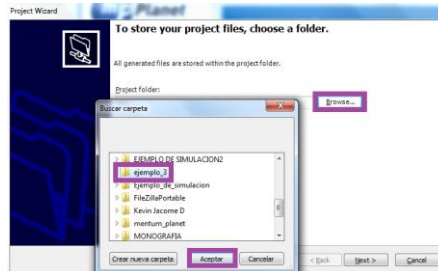
Figura 18. Nuevo Proyecto



Fuente: Autor

Paso 2. Luego del paso anterior se desplegará una ventana en donde se solicita ingresar la ubicación en donde se guardará el proyecto, para ello es necesario hacer click primario sobre la opción “Browse”, elegir la carpeta en donde queremos guardarlo y hacer click primario en “Aceptar”.

Figura 19. Guardar Archivo

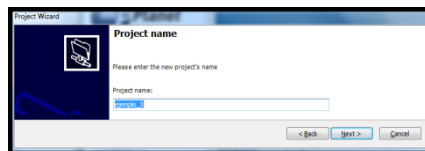


Fuente: Autor

Luego de elegir la ubicación del proyecto se debe hacer click en la opción “Next”.

Paso 3. En este paso se debe digitar el nombre del proyecto dentro del campo “Project Name” y luego hacer click en la opción “Next”.

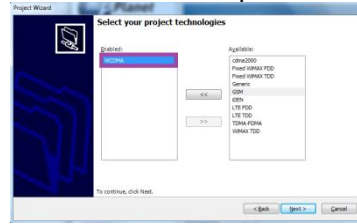
Figura 20. Nuevo Proyecto



Fuente: Autor

Paso 4. Luego de seleccionar el nombre del proyecto es necesario elegir las tecnologías que manejará, por lo que en la ventana izquierda se deben agregar los nombres de dichas tecnologías.

Figura 21 Selección del tipo de tecnología



Fuente: Autor

Paso 5. Se deben elegir los archivos de altura y de clutter de la zona en donde se realizarán las simulaciones. Para lo anterior es necesario elegir el directorio en donde se encuentran estos archivos mediante la opción “Browse”.

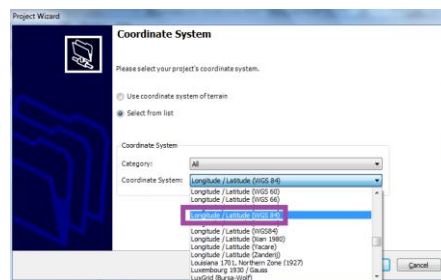
Figura 22. Selección de archivos de altura y clutter



Fuente: Autor

Paso 6. Luego del paso anterior es necesario elegir el sistema de coordenadas (el recomendable es Longitude / Latitude (WGS 84)) y hacer click en la opción “Next”.

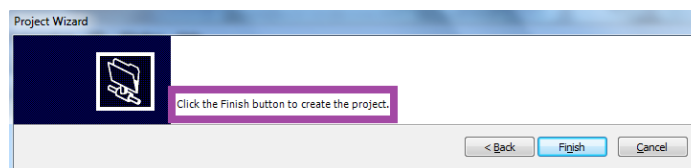
Figura 23. Selección de sistema de coordenadas.



Fuente: Autor

Luego de elegir el sistema de coordenadas y de hacer click sobre la opción “Next” debe aparecer la siguiente ventana:

Figura 24. Aceptación para la creación del proyecto

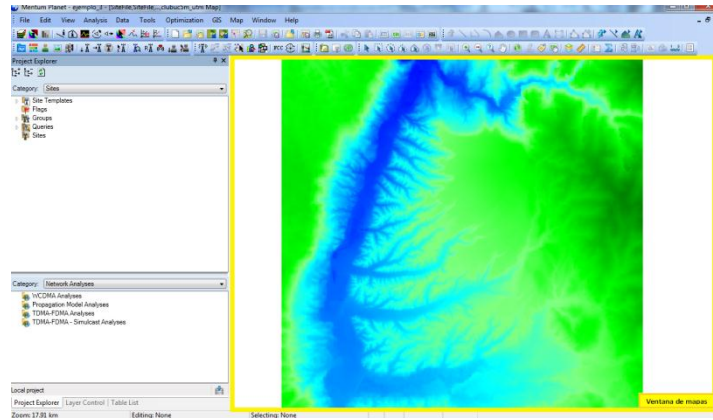


Fuente: Autor

Esta ventana indica, al hacer click sobre la opción “Finish”, que se creará el proyecto.

Paso 7. El resultante de los pasos anteriores será un nuevo proyecto con el archivo de alturas visualizado en la ventana de mapas.

Figura 25. Ventana de mapas



Fuente: Autor.

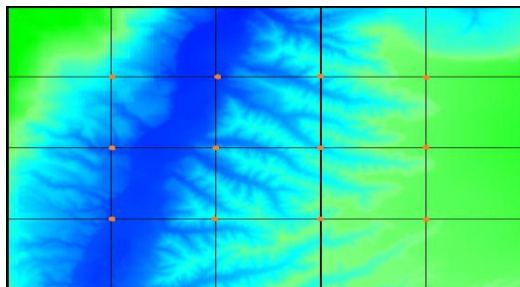
3.2 LOS ARCHIVOS DE ALTURAS Y CLUTTER.

Las herramientas de simulación de redes de acceso inalámbrico tratan de predecir el comportamiento de las señales transmitidas en un ambiente específico, en donde se debe tener en cuenta la mayor cantidad posible de factores que las puedan afectar, por lo que es necesario la existencia de escenarios que repliquen el medio en el que la señal ha de ser transmitida. Dichos escenarios deben representar gran parte de las características del medio para que las predicciones sean lo más cercanas a la realidad, pues las herramientas de simulación son comúnmente utilizadas por un operador de telefonía móvil para desarrollar los procesos de dimensionamiento y planeación de su red, labores en donde la precisión es esencial.

Un escenario de simulación para redes de acceso móvil debe estar principalmente compuesto por la información de las alturas del terreno y la información del uso del suelo en donde se especifican los obstáculos y estructuras presentes. Para el caso de esta herramienta el escenario de simulación se estructura con base a 2 archivos, conocidos como archivo de clutter y archivo de alturas

3.2.1 Archivo de alturas. El archivo de alturas presenta la información de alturas con respecto al nivel del mar de una zona específica mediante un modelo digital de elevación (DEM) que representa las variaciones del terreno en cuadrículas numéricas. Dichas cuadrículas se pueden establecer como una agrupación de cuadrados que dependiendo de la resolución aumentarán o disminuirán su tamaño y con ello representarán más o menos variaciones del terreno. Los cuadrados son conocidos como bins.

Figura 26. Archivo de alturas



Fuente: Autor.

En la imagen se muestra una cuadrícula sobre un diagrama de terreno en donde los puntos de color rojo corresponden a los puntos en donde se captan los valores de la altura, por esta razón es necesario aumentar la resolución para aumentar la precisión de la simulación. En la imagen se puede deducir que la cuadrícula utilizada no es funcional pues se capturan muy pocos cambios en el diagrama de terreno.

Se aclara que los archivos de alturas son presentados en un formato .grd acompañado de un .tab como se ve a continuación.

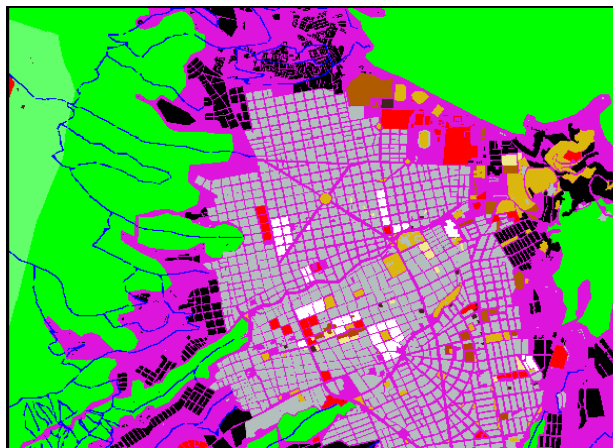
Figura 27. Archivos .grd y .tab para archivos de altura

colombia_UTM18N_WGS84.grd	Archivo GRD
colombia_UTM18N_WGS84.tab	Archivo TAB
dtmbuc5m_utm.grd	Archivo GRD
dtmbuc5m_utm.tab	Archivo TAB
height_resolution50_Centro.grd	Archivo GRD
height_resolution50_Centro.tab	Archivo TAB

Fuente, Autor.

3.2.2 Archivo de clutter. El archivo de clutter representa el entorno en el que se propagará la señal, en él se especifican los obstáculos tales como edificaciones, vegetación, agua y en general elementos existentes en la superficie del terreno, para ello el clutter divide una zona de trabajo en bins que son clasificados según la información de la superficie correspondiente. El tamaño de cada bin depende de la resolución del archivo del clutter.

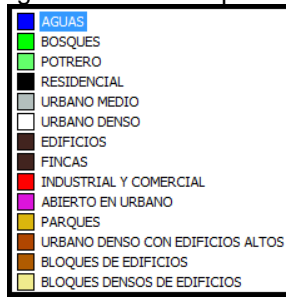
Figura 28. Archivo de Clutter



Fuente: Autor.

La imagen recién mostrada corresponde al clutter de una parte de la ciudad de Bucaramanga en donde cada color corresponde a un tipo de zona. La correspondencia de colores y zonas es:

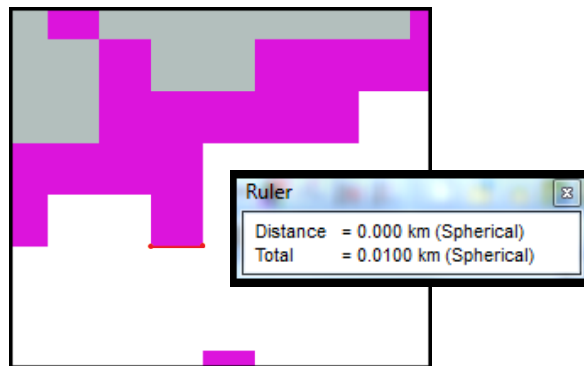
Figura 29. Código de colores respecto al tipo de zona



Fuente: Autor.

Si nos acercamos a la imagen de clutter se podrá apreciar la resolución del mismo mediante una herramienta muy práctica conocida como “Ruler” que nos permite establecer distancias entre puntos.

Figura 30. Uso de la herramienta Ruler



Fuente: Autor.

Como se establece en el “Ruler” el tamaño del bin es de 10 metros por tanto la resolución del archivo de clutter corresponde también a 10 metros. Se aclara que los archivos de alturas son presentados en un formato .grc acompañado de un .tab como se ve a continuación.

Figura 31. Archivos .grd y .tab para archivos de clutter

<input type="checkbox"/> clubta5m_utm.grc	Archivo GRC
<input type="checkbox"/> clubta5m_utm.tab	Archivo TAB
<input type="checkbox"/> clubuc5m_utm.grc	Archivo GRC
<input type="checkbox"/> clubuc5m_utm.tab	Archivo TAB
<input type="checkbox"/> clutter_resolution50.grc	Archivo GRC
<input type="checkbox"/> clutter_resolution50.tab	Archivo TAB

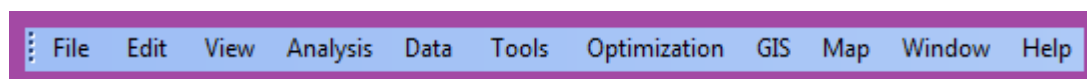
Fuente: Autor.

3.3 BARRA DE MENÚS DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

La barra de menús se encuentra en la esquina superior izquierda de la pantalla principal y en general en ellos se resumen todas las funcionalidades de la herramienta.

Los menús básicos se aprecian en la siguiente imagen.

Figura 32. Barra de Menú

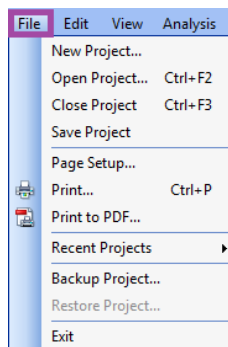


Fuente: Autor.

Debido a la extensión que representaría explicar cada una de las opciones de la barra de menús solo se nombraran las opciones básicas más relevantes.

File: Haciendo click sobre la pestaña “File” se desplegaran una serie de opciones relacionadas con crear, abrir, cerrar y guardar un proyecto.

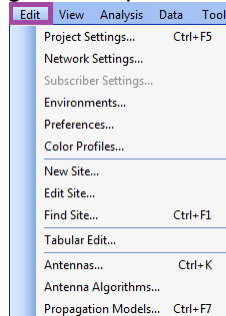
Figura 33. Opción File



Fuente: Autor.

Edit: Con el menú “Edit” se pueden modificar los parámetros del proyecto, modificar los parámetros de los sitios, importar y descargar archivos de antenas, crear y modificar modelos de propagación y entre otras funciones relacionadas con las configuraciones de los elementos a simular y del proyecto que los contiene.

Figura 34. Opción View

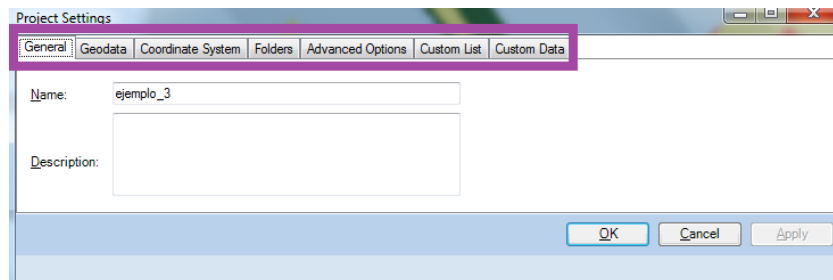


Fuente: Autor.

Dentro de sus opciones están:

- Project Settings: en el “project Settings” se pueden visualizar y editar los parámetros de un proyecto. A continuación se muestra la ventana de “project Settings”.

Figura 35. Visualización y edición de parámetros.

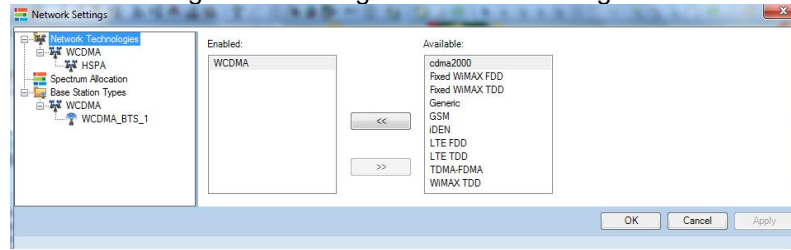


Fuente: Autor.

En la pestaña de “general” se puede visualizar y editar el nombre del proyecto, en la pestaña “Geodata” elegir los archivos de alturas y clutter, en “Coordinate System” elegir las coordenadas que se manejaran y por último en la pestaña “Folder” se puede visualizar mas no editar la ubicación del proyecto.

- Network Settings: corresponde a las configuraciones de la tecnología usada para el proyecto. A continuación se muestran las imágenes que corresponden a la ventana de “Network Settings”.

Figura 36. Configuración de Tecnologías

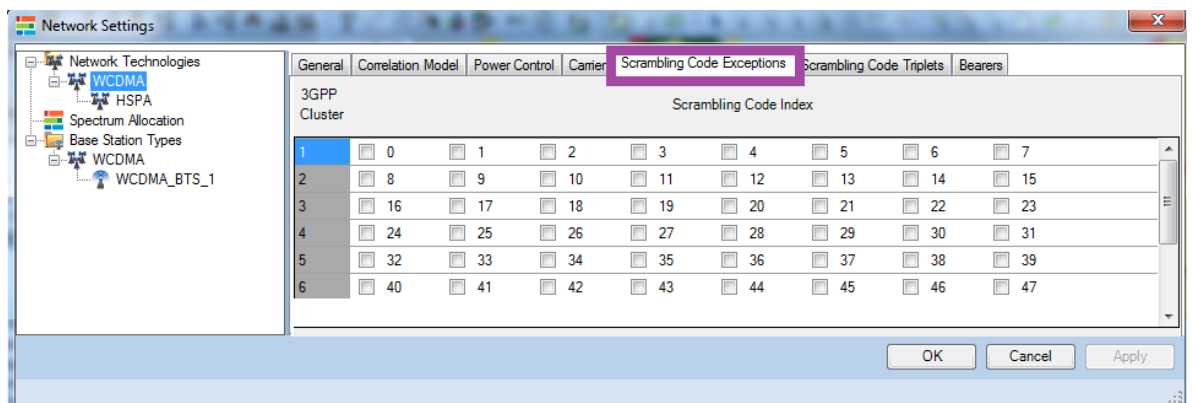


Fuente: Autor.

En la primera pestaña de la ventana se muestran las tecnologías que maneja el proyecto (para este caso WCDMA).

Si se desean ver las configuraciones referentes a la tecnología elegida se debe hacer click primario sobre el nombre de la tecnología, la cual se despliega de la pestaña “Network Technologies” como se ve a continuación.

Figura 37. Lista desplegable para la configuración de tecnologías.

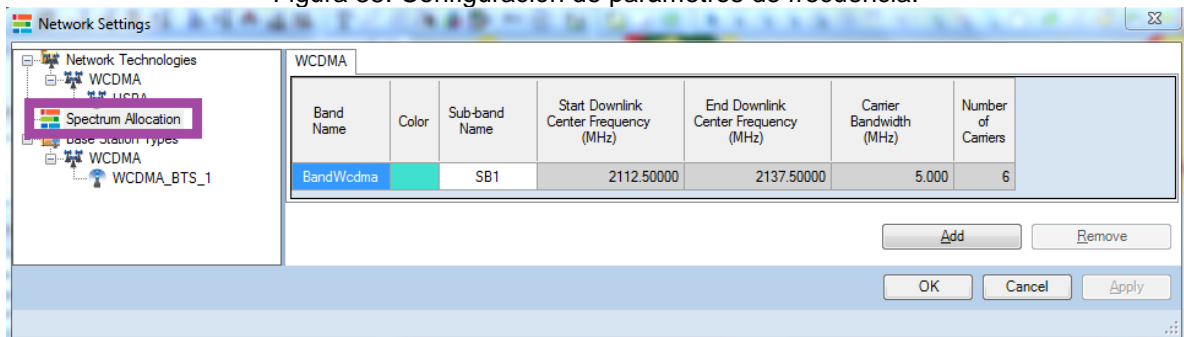


Fuente: Autor.

En la imagen se aprecian conceptos utilizables para la tecnología seleccionada, un ejemplo de ello es el ScramblingCode para WCDMA.

También se pueden visualizar y modificar los parámetros de las bandas de frecuencia utilizadas por el sistema, para ello es necesario hacer click primario sobre la pestaña “Spectrum Allocation”.

Figura 38. Configuración de parámetros de frecuencia.



Fuente, Autor.

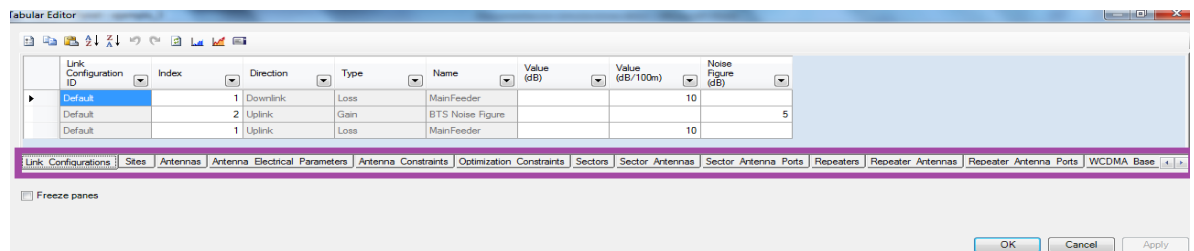
- Subscriber Settings: En esta opción se pueden visualizar y editar los parámetros referentes al equipo terminal.
- Environment: En esta opción se pueden visualizar y modificar los parámetros correspondientes a las pérdidas agregadas por entornos específicos.
- New site, Find site y Edit site: Estas opciones permiten crear, editar o ubicar un sitio de la ventana de mapas.
- Tabular edit: Con esta opción se desplegará una ventana en donde se pueden visualizar y modificar todos los parámetros del proyecto y de cada uno de los elementos en él, a su vez estos parámetros están fraccionados en diferentes pestañas y representados en tablas.

El tabular editor presenta la información del proyecto, grafica la información de los sitios y permite importar y exportar datos de una tabla de Excel.

Se adiciona que el tabular editor tiene exactamente el mismo formato de las plantillas de importación de la herramienta.

A continuación se presenta la ventana de “Tabular edit”.

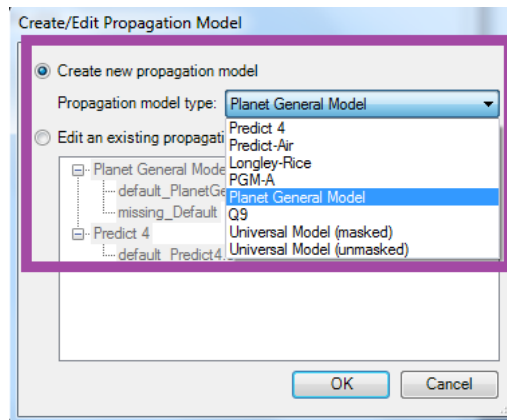
Figura 39. Tabular Edit.



Fuente: Autor.

Propagation Models: Con esta opción se pueden crear y modificar modelos de propagación. A continuación se muestra la ventana “Propagation Models”.

Figura 40. Modelos de Propagación.



Fuente: Autor.

Como se observa en la imagen existen 2 opciones en la ventana “Propagation Models”, la primera corresponde a crear un modelo basado en los tipos de modelos que maneja la herramienta y, por otro lado, la segunda opción nos permite editar un modelo de propagación ya existente.

Antennas: Con la opción “Antennas” se pueden abrir, importar y descargar archivos de antenas.

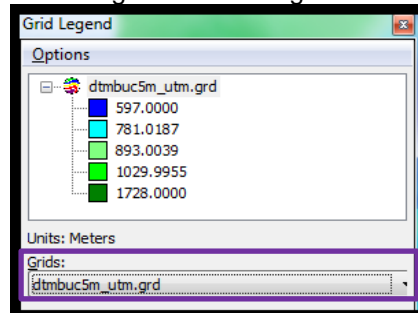
View: El menú “View” permite visualizar los archivos de altura y de clutter en la ventana de mapas, acceder a las opciones “Grid Legend” y “Grid Manager” y entre otras funciones relacionadas con la visualización de resultados.

Algunas de sus opciones son:

- Heights File: Al hacer click primario sobre esta opción se visualizara en la ventana de mapas el archivo de alturas.
- Clutter File: Al hacer click primario sobre esta opción se visualizara en la ventana de mapas el archivo de clutter.
- Grid Legend: El “Grid Legend” permite visualizar la equivalencia entre colores y valores de los resultados de las simulaciones, los archivos de alturas y los archivos de clutter.

A continuación se muestran dos ejemplos de la ventana “Grid Legend”.

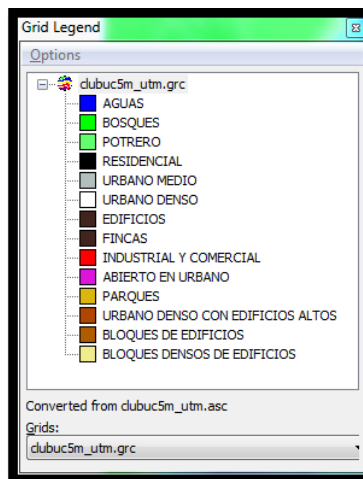
Figura 41. GridLegend



Fuente: Autor.

En la imagen recién mostrada se observa que el campo “Grids” tiene seleccionado un archivo de alturas por lo que en la parte superior se visualizarán las equivalencias de colores con valores de altura sobre el nivel del mar.

Figura 42. Equivalencias de colores (Grids).



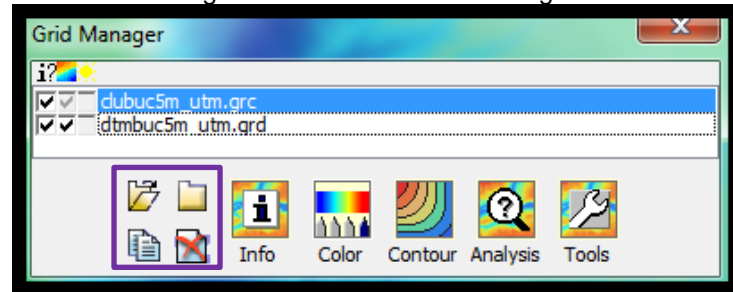
Fuente: Autor.

En esta imagen se utiliza el “Grid Legend” para visualizar la equivalencia de los colores con el tipo de zona.

Grid Manager: el “Grid Manager” o asistente de cuadrícula permite modificar los archivos de alturas, clutter y diagramas resultantes de las simulaciones.

A continuación se muestra la ventana de “Grid Manager”.

Figura 43. Ventana Grid Manager

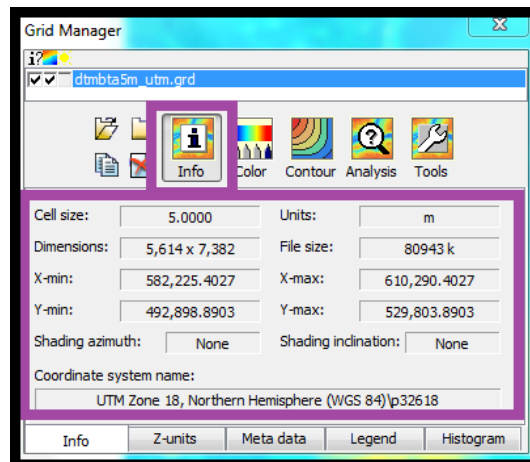


Fuente: Autor.

Como se observa en la imagen, en la parte inferior izquierda existen cuatro íconos agrupados, estos cumplen las funciones de abrir, cerrar, copiar y eliminar los archivos a base de cuadrículas.

Al lado derecho de la agrupación recién nombrada se encuentra el ícono con el nombre "Info" quien entrega información referente a las propiedades del archivo de cuadrículas. A continuación se observa el "Grid Manager" con la opción "Info" seleccionada.

Figura 44. Opción Info

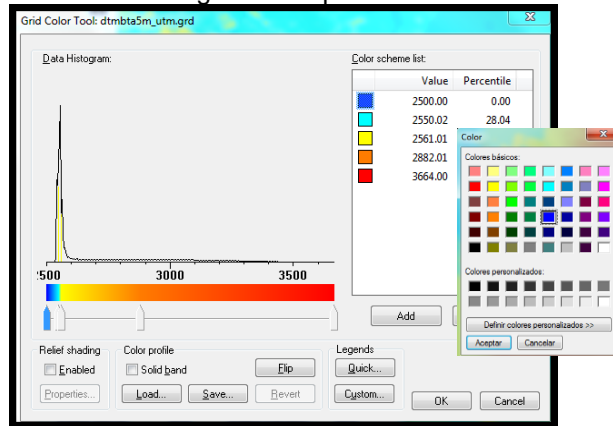


Fuente: Autor.

Como se observa en la imagen al seleccionar el icono "Info" se muestra el tamaño de los bins que conforman la cuadrícula, el peso y las dimensiones del archivo junto con las coordenadas que maneja.

La opción "Color" permite cambiar los colores que maneja el archivo de cuadrículas, para esto es necesario hacer doble click sobre uno de los recuadros de color y luego elegir el color deseado de la ventana desplegable.

Figura 45. Opción Color



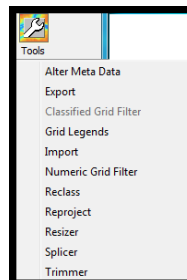
Fuente: Autor.

Luego del ícono “Color” se encuentra el “Countour” con el cual se cambia el formato de los archivos de cuadrículas por sucesiones de puntos, esto con el fin de exportar los resultados a programas como Google Earth y MapInfo donde serán visualizados.

Por último, está el ícono con el nombre de “Tools”, en donde se pueden exportar e importar archivos de cuadrículas o de sucesiones de puntos.

A continuación se presenta el icono “Tools” con sus opciones desplegadas.

Figura 46. Opción Tools.

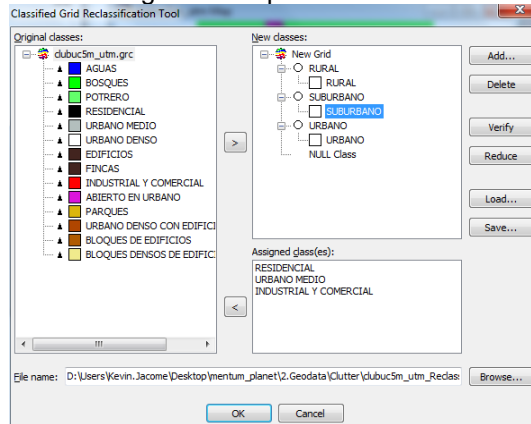


Fuente: Autor.

La opción “Reclass” es comúnmente utilizada para reclasificar los tipos de zonas en el clutter, esto con el fin de generalizar las zonas en urbanas, sub urbanas y rurales.

A continuación se muestra la ventana desplegable de la opción “Reclass”.

Figura 47. Opción Reclass



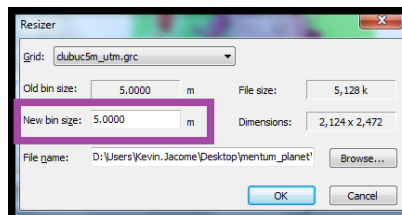
Fuente: Autor.

En la imagen se muestra un ejemplo de reclasificación del clutter en donde se intenta que las zonas residenciales, medio urbanas, industriales y comerciales sean representadas por un sólo tipo de zona con el nombre de SUBURBANO.

La opción “Reproject” es utilizada para cambiar el formato de coordenadas en el que son mostrados los archivos a base de cuadrículas.

Por último la opción “Risizer” permite cambiar la resolución de los archivos de alturas, clutter y diagramas resultantes de las simulaciones, para ello es necesario cambiar el valor del campo “New bin size” y luego hacer click en aceptar. A continuación se muestra la ventana de “Risizer”.

Figura 48. Opción Risizer.

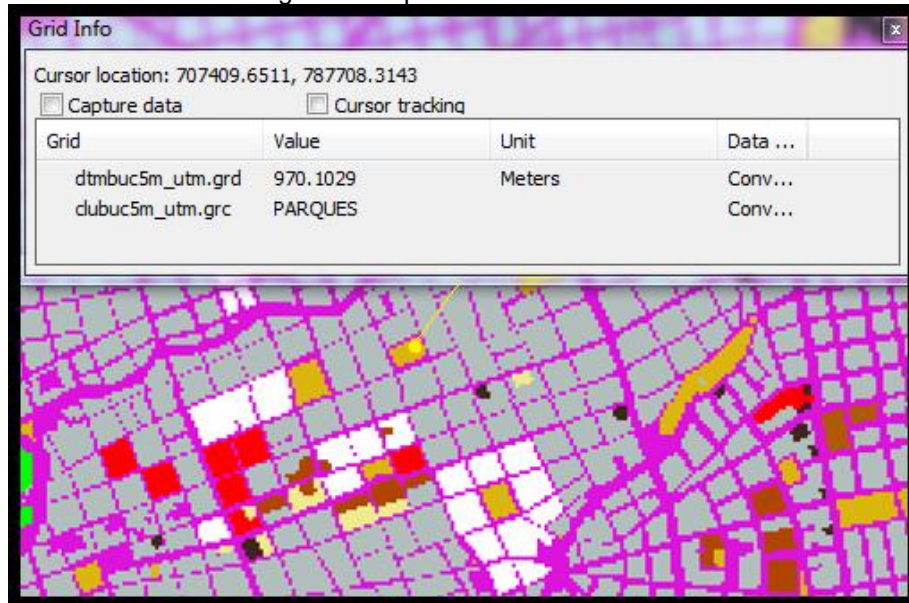


Fuente: Autor.

Analysis: en el menú “Analysis” es posible generar predicciones y análisis, y a su vez, mediante este menú se accede al “Grid Information”.

El “Grid Information” es un cursor que indica las características del lugar en el que se ubica sobre la ventana de mapas.

Figura 49. Opción Grid Information.



Fuente: Autor.

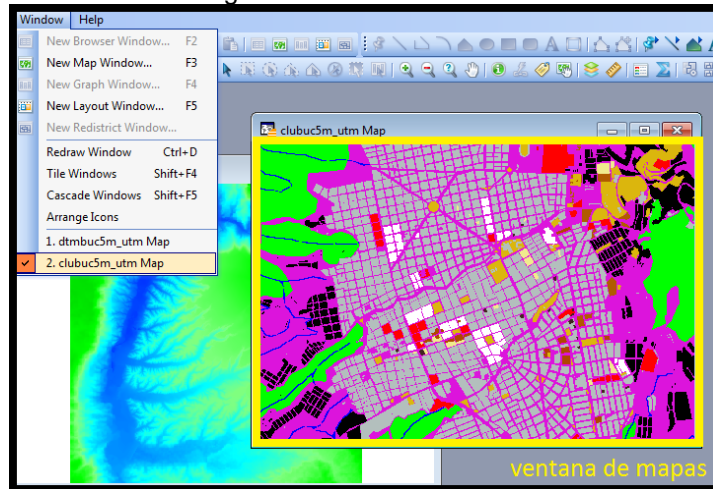
En la imagen se aprecia que el cursor se ubicó en un punto clasificado como zona de parques y con una altura sobre el nivel del mar de 970.1029 metros.

Data: Con el menú “Data” se pueden importar y exportar las plantillas con toda la información del proyecto, esto evita tener que crear cada uno de los sitios manualmente para una simulación, pues en las plantillas ya se encuentra toda la información referente a las estaciones base.

GIS: Con esta opción se pueden abrir y cerrar archivos de alturas y de clutter así como también los resultados de las simulaciones, adicionalmente permite guardar las visualizaciones de la ventana de mapas.

Window: En la ventana “Window” se pueden crear nuevas ventanas de mapas y a su vez elegir cuál ventana de mapas es la que se quiere visualizar. A continuación se visualizan las opciones del menú “Window”.

Figura 50. Ventana Window



Fuente: Autor.

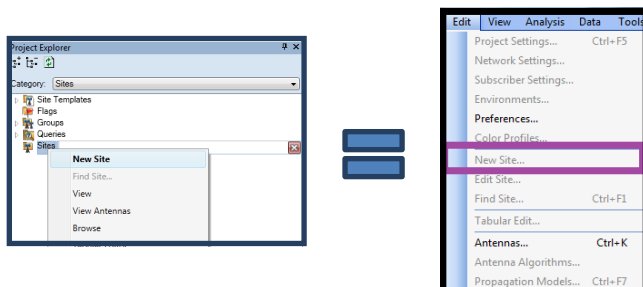
En la imagen se aprecia cómo, desde el menú “Window”, se puede elegir la ventana de mapas que se mostrará.

3.4 CREACIÓN DE UN SITIO Y EXPLICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN QUE LO COMPONENTEN.

3.4.1 Creación de un sitio.

Paso 1. Al tener un nuevo proyecto se debe crear un sitio, para ello es necesario elegir la categoría “Sites” dentro del “Project Explorer”, hacer click secundario sobre la opción “Sites” y seleccionar la opción “New Site”. Otra forma de hacer el paso anterior es hacer click primario sobre el menú “Edit”, y seleccionar la opción “New Site”.

Figura 51. Opción New Site.



Fuente: Autor.

En la imagen se representan los dos procesos ya nombrados, la parte de la izquierda corresponde al primer método y el sector derecho de la imagen corresponde al segundo método.

Paso 2. Posterior a hacer click primario sobre la opción “New Site” el cursor debe tomar la forma de una torre celular, al suceder esto se debe proceder a dar click en alguna posición del mapa y quedará creado el sitio.

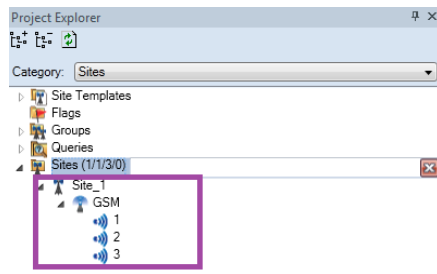
Figura 52. Posición en el mapa



Fuente: Autor.

Luego de que se visualice el sitio en la ventana de mapas se podrá ver también en el “Project Explorer”.

Figura 53. Visualización del sitio en Project Explorer.



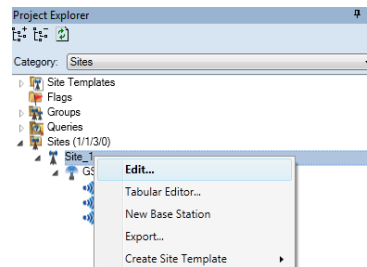
Fuente: Autor.

Como se ve en la imagen se le asignan tres sectores al nuevo sitio por defecto y se muestra la tecnología que maneja.

3.4.2 Parámetros de configuración del sitio.

Paso 1. Para apreciar los parámetros de configuración de un sitio es necesario ubicarse en el Project Explorer, hacer click secundario en el sitio y en el menú contextual seleccionar “edit”.

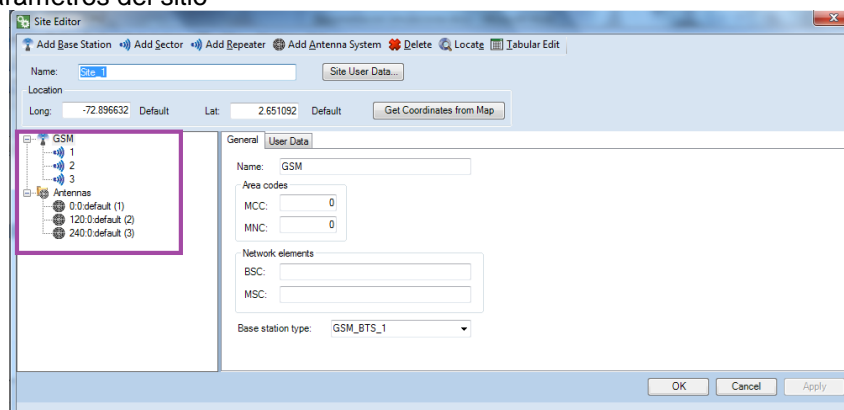
Figura 54. Configuración de los Parámetros del sitio.



Fuente: Autor.

Luego de realizar el paso anterior se desplegará la siguiente ventana:

Figura 55. Parámetros del sitio

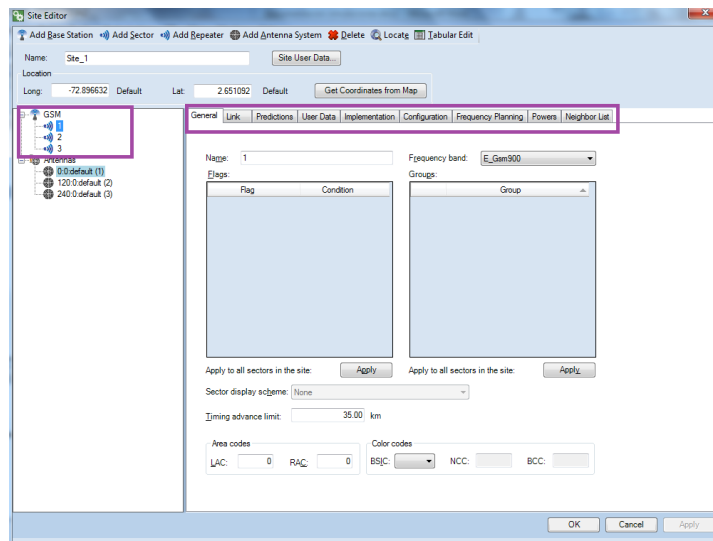


Fuente: Autor.

En este punto los parámetros del sitio se dividen en dos grupos, el primero corresponde a los parámetros propios de la estación base y de sus objetos como los transceptores y por otro lado los parámetros propios de la antena.

Paso 2. Si se hace click primario sobre uno de los sectores que se encuentra en la esquina superior izquierda se mostrarán sus parámetros de configuración organizados en varias pestañas como se ve a continuación.

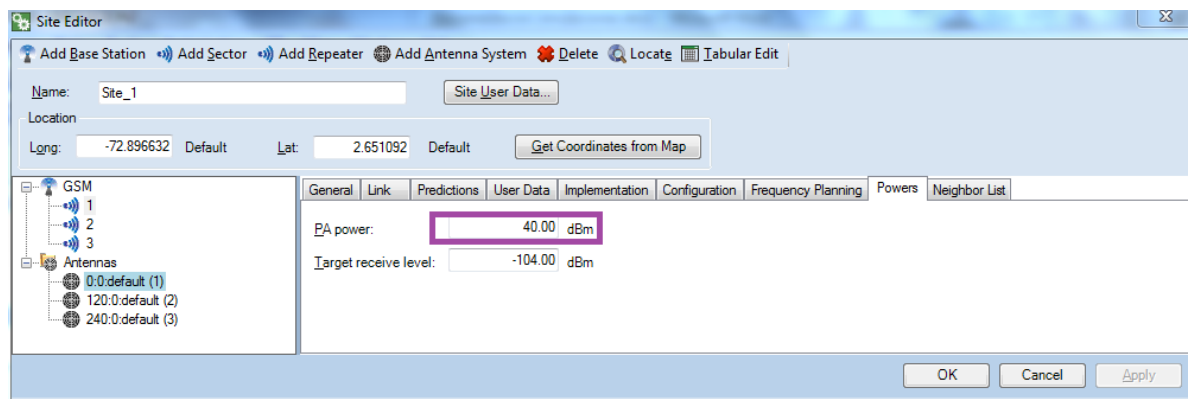
Figura 56. Configuración de parámetros por sectores.



Fuente: Autor.

Si, por ejemplo, elegimos la pestaña con el nombre “Power” se podrá observar que el transmisor del sector establece por defecto una potencia de 40 dBm y este parámetro puede ser modificable.

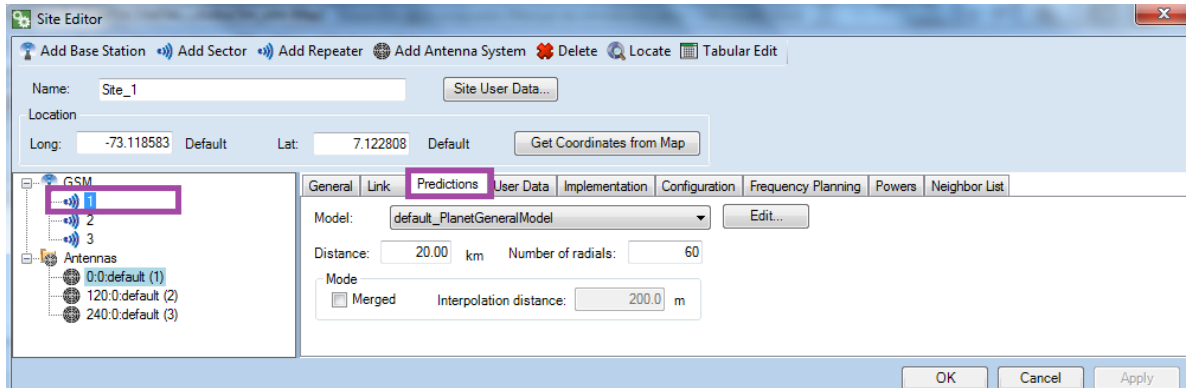
Figura 57. Parámetros de la pestaña Power.



Fuente: Autor.

Luego de visualizar la pestaña de potencia, un elemento primordial es el modelo de propagación que utiliza el sitio para sus predicciones, para visualizarlo es necesario elegir la pestaña con el nombre “Predictions” como se muestra a continuación.

Figura 58. Parámetros de la pestaña Predictions.

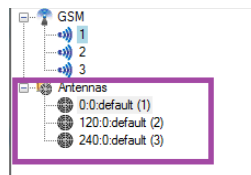


Fuente: Autor.

Dependiendo de la zona en donde se encuentre el sitio se recomienda manejar un modelo específico. Para este caso la herramienta tiene en cuenta el modelo por defecto quien está diseñado para un escenario ideal en donde las pérdidas por el ambiente y el terreno no son relevantes.

Paso 3. Si se desean observar los parámetros referentes a la antenna es necesario elegir una de las opciones del menú desplegable con el nombre de “Antennas”.

Figura 59. Parámetros de la pestaña Antennas.

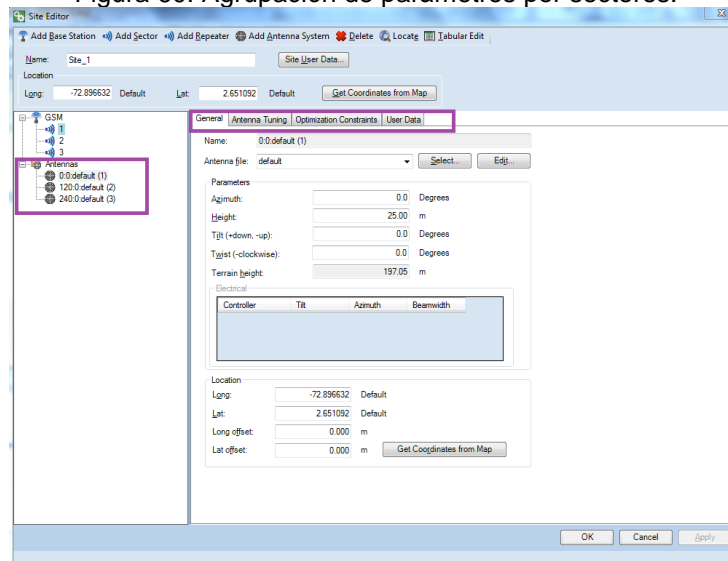


Fuente: Autor.

Se aclara que cada antenna posee un número dentro de un paréntesis, el cual corresponde al sector al que pertenece.

Luego de hacer click primario sobre una antenna se mostrarán sus parámetros agrupados de nuevo en pestañas.

Figura 60. Agrupación de parámetros por sectores.



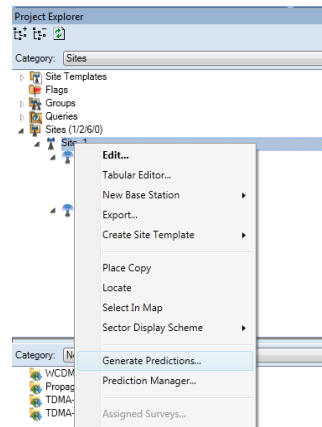
Fuente: Autor.

En la imagen se logran apreciar ciertos parámetros de la antena como su altura, el Tilt y el twist quienes pueden ser modificados directamente desde esta ventana.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN DE PREDICCIONES.

Paso 1. Es necesario que la herramienta de simulación procese la información de los sitios, del entorno y del modelo de propagación usado para generar las simulaciones, para ello es necesario ubicarse en el Project Explorer, hacer click secundario en el sitio y en el menú contextual seleccionar “Generate Predictions”.

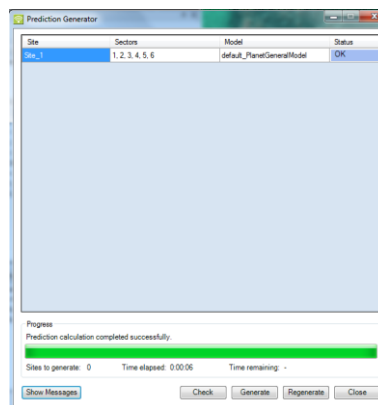
Figura 61. Opción Generate Predictions.



Fuente: Autor.

Paso 2. Luego de seleccionar “Generate Predictions” del menú contextual se desplegará una ventana en donde se muestran los sitios y sectores a los que se generaran predicciones. Luego de verificar los elementos de las predicciones se debe proceder a hacer click en la opción “Generate”.

Figura 62. Opción Generate.



Fuente: Autor.

Luego de hacer click en “Generate” es necesario esperar un tiempo hasta que la herramienta termine el proceso de predicción.

Paso 3. Luego de que se generen las predicciones se debe proceder a hacer click en “Close”.

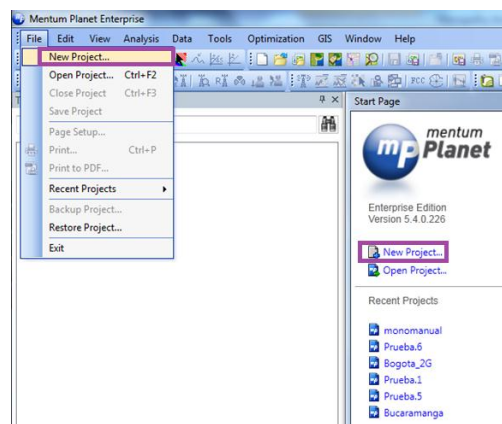
3.5.1 Ejemplos de simulaciones de cobertura.

3.5.1.1 Ejemplo #1. Este ejemplo se desarrollará con los parámetros por defecto que tiene la herramienta al iniciar un proyecto.

3.5.1.1.1 Creación de un nuevo proyecto.

Paso 1. Se ha de proceder a la creación de un nuevo proyecto señalando la pestaña file y luego new Project o simplemente desde la ventana de inicio como se ve en la esquina inferior derecha.

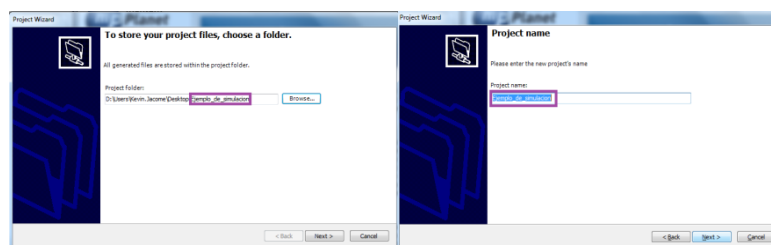
Figura 63. Creación de un nuevo proyecto.



Fuente: Autor.

Paso 2. Posteriormente, la herramienta nos solicita la ubicación de la carpeta en donde se guardará el proyecto (se advierte que sólo se puede albergar un proyecto por carpeta, por esta razón se recomienda crear el directorio antes de comenzar un nuevo proyecto).

Figura 64. Selección de la ubicación del proyecto.

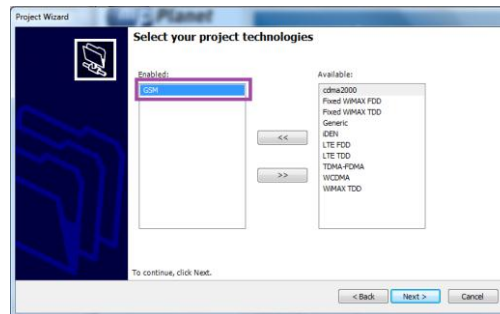


Fuente: Autor.

Luego de solicitar la ubicación del proyecto se debe proceder a elegir el nombre del mismo.

Paso 3. Es necesario elegir las tecnologías que manejará el sistema de telefonía móvil a simular y para ello se deben agregar en la ventana izquierda las tecnologías con las que funcionará el proyecto.

Figura 65. Selección de la tecnología de simulación.



Fuente: Autor.

Para este ejemplo se eligió la tecnología GSM.

Paso 4. Se deben elegir los archivos de altura y de clutter de la zona en donde se desarrollarán las simulaciones. (Es recomendable que los 2 archivos manejen la misma resolución con el fin de obtener valores verídicos).

Figura 66. Selección de los archivos de altura y clutter.

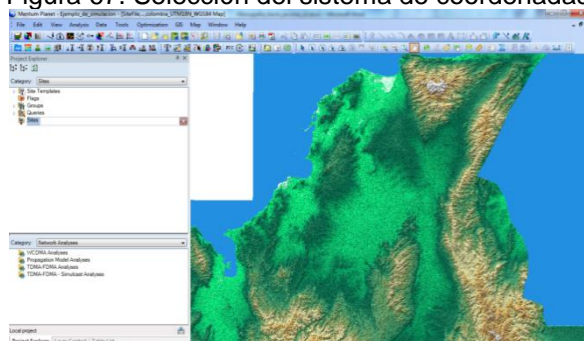


Fuente: Autor.

Inicialmente el proyecto se dejó sin archivo de clutter y con un archivo de heights con resolución de 100 metros, esto con el fin de modificar estos parámetros más adelante y percibir los cambios en las simulaciones.

Paso 5. Luego del paso anterior es necesario elegir el sistema de coordenadas (el recomendable es Longitude / Latitude (WGS 84)) y luego se procede finalizar la iniciación del proyecto.

Figura 67. Selección del sistema de coordenadas.



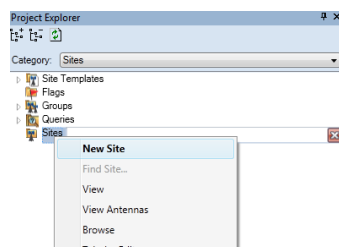
Fuente: Autor.

El resultante será un nuevo proyecto con el archivo de alturas visualizado en la ventana de mapas.

3.5.1.1.2 Creación de un sitio.

Paso 1. Se procede a crear un sitio en la ventana de mapas donde se encuentra como base el archivo de alturas, para esto nos ubicamos en el Project Explorer y en la categoría Sites, luego en la opción SITES se da click izquierdo y se pincha la opción “New Site”.

Figura 68. Opción New Site.



Fuente: Autor.

Paso 2. Posterior a pinchar la opción “New Site” el cursor va a tomar la forma de una torre celular, al suceder esto se debe proceder a dar click en alguna posición del mapa y quedará creado el sitio.

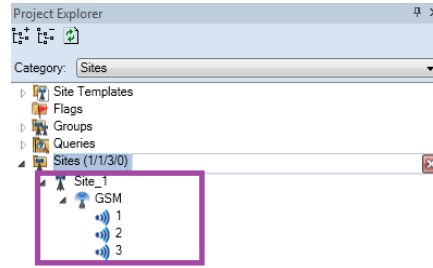
Figura 69. Selección de posición del mapa.



Fuente: Autor.

Al crear el sitio de manera inmediata aparecerá en el Project Explorer como se ve a continuación:

Figura 70. Visualización de la creación del sitio en Project Explorer



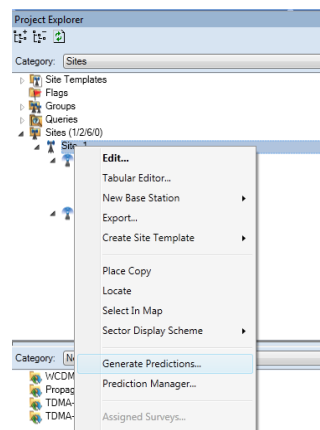
Fuente: Autor.

Por defecto se asocian tres sectores al nuevo sitio y se muestra la tecnología que maneja.

3.5.1.1.3 Generación de predicciones

Paso 1. Es necesario que la herramienta de simulación procese la información de los sitios ingresados para generar sus simulaciones, para ello es necesario ubicarse en el Project Explorer, hacer click secundario en el sitio y en el menú contextual seleccionar “Generate Predictions”.

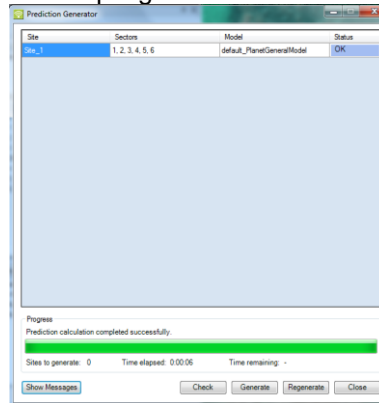
Figura 71. Selección de la opción Generate Predictions.



Fuente: Autor.

Paso 2. Luego de seleccionar “Generate Predictions” del menú contextual se desplegará una ventana en donde se debe hacer click en “Generate”.

Figura 72. Despliegue de la ventana Generate.



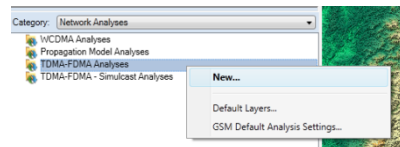
Fuente: Autor.

Paso 3. Se procede a hacer click en “Close”.

3.5.1.1.4 Generación de diagramas de cobertura

Paso 1. Para el desarrollo de los análisis y diagramas de simulación es necesario seleccionar la categoría “Network Analyses” dentro del Project Explorer, para el caso de simulaciones de tecnologías GSM se hace click secundario sobre “TDMA-FDMA Analyses” y en el menú contextual se selecciona “New”.

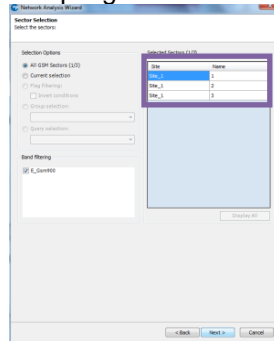
Figura 73. Selección de la opción New/FDMA Analyses.



Fuente: Autor.

Paso 2. Luego del paso anterior se procede a elegir el nombre del análisis y después de definirlo y hacer click secundario sobre la opción “NEXT” nos debe aparecer una ventana de selección de los elementos a simular, como en este caso es un sitio con sus tres sectores, han de aparecer 3 filas con el respectivo número de cada celda.

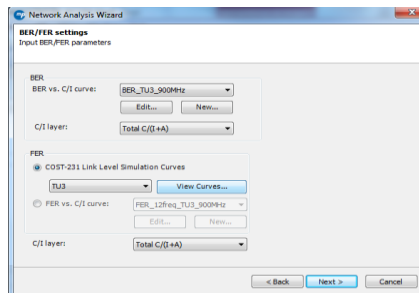
Figura 74. Despliegue de sectores y celdas.



Fuente: Autor.

Paso 3. En este punto ha de desplegarse una ventana con las preferencias de simulación asociadas al BER (Bit Error rate) y al nivel de señal sobre el nivel de interferencia. Debido a que esta información puede ser introducida inicialmente en las configuraciones de cada sitio no es necesario modificar los valores ya establecidos.

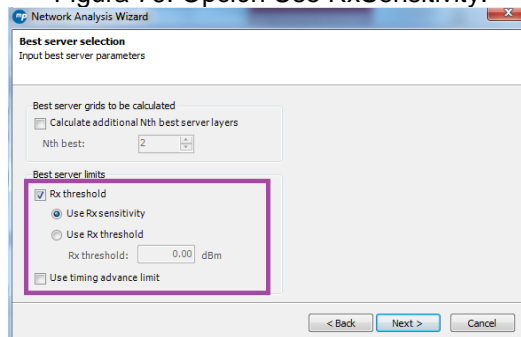
Figura 75. Valores establecidos del BER y Nivel de interferencia.



Fuente: Autor.

Paso 4. En este punto es necesario definir los valores visibles de cobertura, para ello en “Best Server Limits” se ingresa el valor hasta donde se quiere representar un nivel de intensidad de señal aceptable. Se aclara que es posible configurar este campo con el valor de la sensibilidad del móvil que está en -105dBm seleccionando la opción “Use Rx sensitivity” o simplemente ingresar manualmente el valor seleccionando la opción “Use Rx threshold”. (Para este ejemplo se ha de conservar la configuración por defecto, por tanto la simulación se realizará con la sensibilidad del móvil como se ve a continuación).

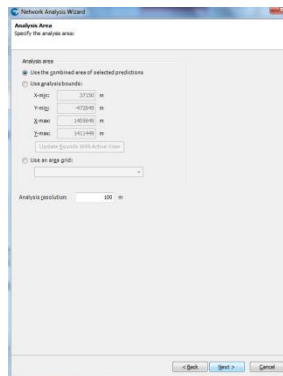
Figura 76. Opción Use RxSensitivity.



Fuente: Autor.

Paso 5. Luego del paso anterior es necesario definir la resolución de la simulación que depende directamente de la resolución de los archivos de altura y clutter seleccionados inicialmente en el proyecto. (Es importante aclarar que el valor de la resolución de la simulación no puede ser menor a la resolución de los archivos de clutter y alturas).

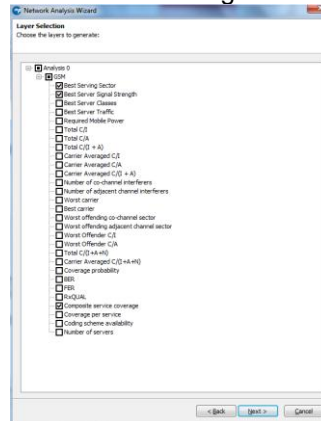
Figura 77. Análisis de áreas.



Fuente: Autor.

Paso 6. En este punto se seleccionan los diagramas de resultados que se quieren visualizar y debido a que se quieren apreciar los diagramas de cobertura se han de seleccionar 3 opciones básicamente.

Figura 78. Selección de los diagramas de resultados.



Fuente: Autor.

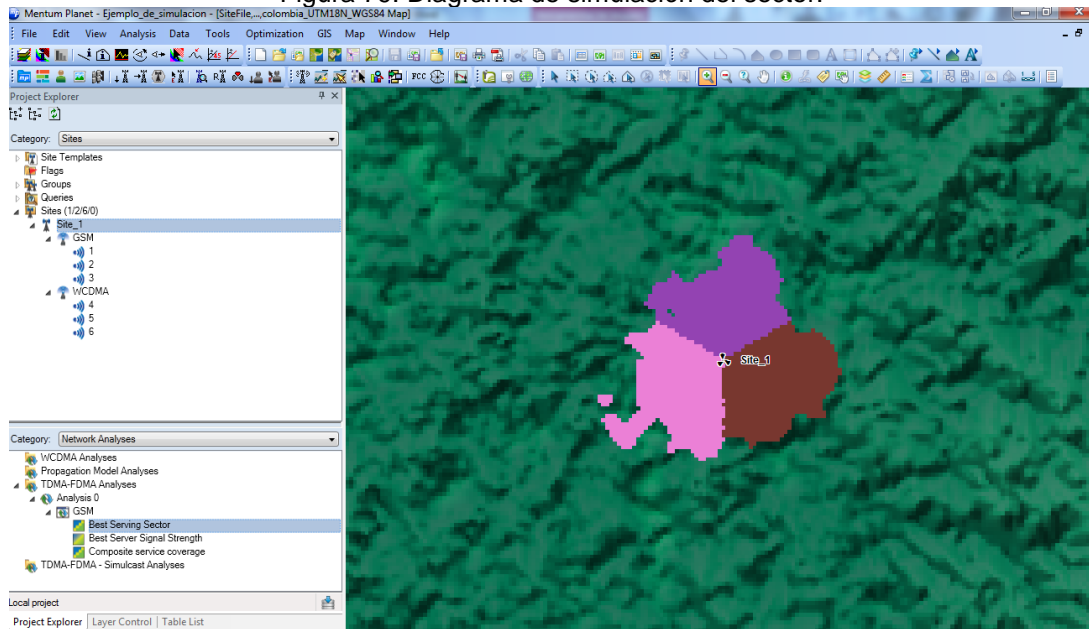
El “Composite service coverage” define la cobertura total de los sitios hasta el rango aceptable de intensidad de señal ya configurado (para GSM este rango aceptable de intensidad de señal está en 93dBm), El “Best Serving Sector” define el área que mejor abarca cada sector y por último el “Best Server Signal Strength” define los grados de intensidad de señal por diferenciación de color.

Paso 7. Luego de finalizar el paso anterior se puede proceder en el Project Explorer a visualizar los resultados simplemente haciendo doble click principal sobre los títulos de los diagramas simulados.

3.5.1.1.5 Resultados obtenidos

Diagrama de simulación del “Best Serving Sector”:

Figura 79. Diagrama de simulación del sector.

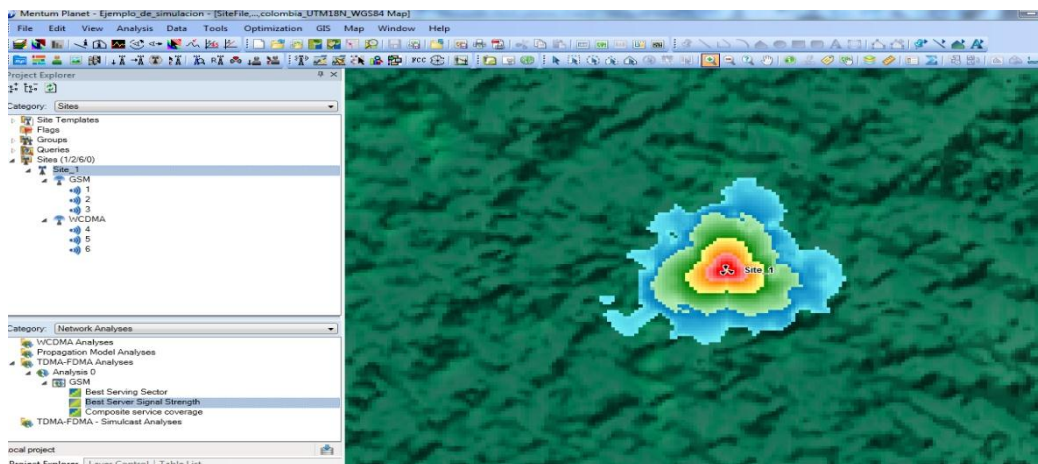


Fuente: Autor.

En esta imagen se puede apreciar la cobertura de cada sector de la estación base diferenciándose entre sí por un color particular, a su vez, también es perceptible que las manchas de cubrimiento de cada celda son diferentes entre sí aunque los parámetros de las antenas y de los sectores son los mismos, esto sucede a razón de que las alturas del terreno son diferentes para cada zona.

Diagrama de simulación del “Best Server Signal Strength”:

Figura 80. Diagrama de cobertura de la estación base.

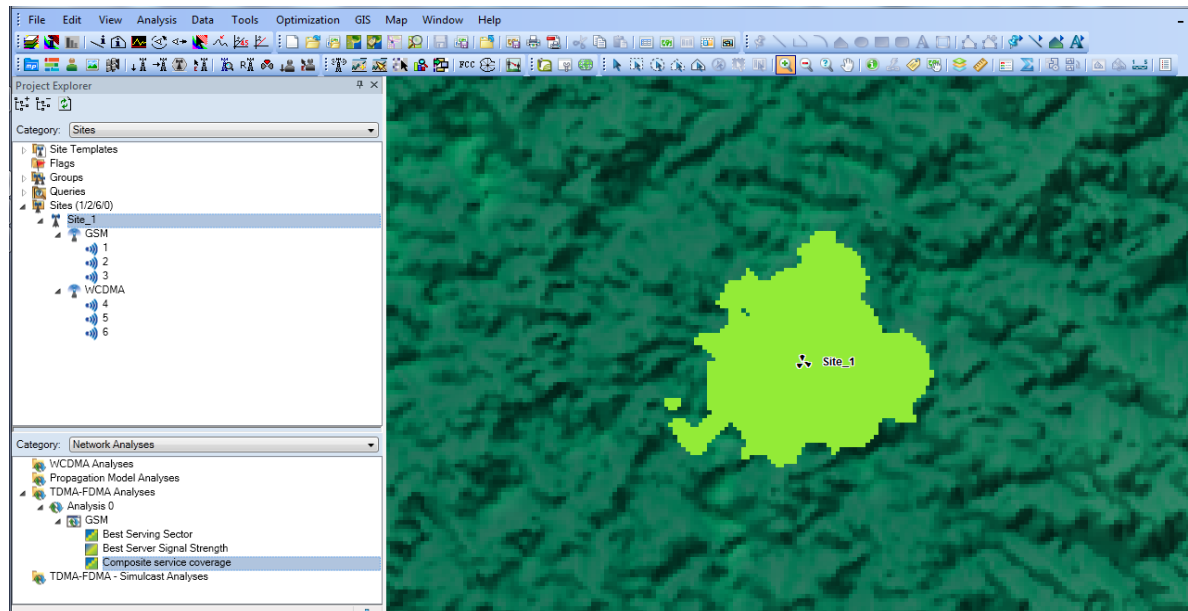


Fuente: Autor.

En esta imagen se puede observar el diagrama de cobertura de la estación base identificando los niveles de intensidad de la señal. Para el área de cobertura de color rojo se manejan unos valores de hasta -60.19dBm que es en si el área de cobertura con el nivel de señal más óptimo, posteriormente sigue el área de color rosa que va desde el rango entre -75 dBm y -60.19dBm y que define un umbral sobresaliente de intensidad de señal para las áreas cubiertas, luego está el umbral aceptable de -85dBm a -75 dBm que cubre los colores amarillos y el verde y, luego, se encuentra el área de cobertura de color azul oscuro que define un área de cobertura aceptable (baja) para ambientes “outdoor”, finalmente los colores como el azul claro se encuentran en rangos inferiores a -95dBm lo que en realidad representa un área sin cobertura pues el nivel de señal es demasiado bajo para el usuario final.

Diagrama de simulación del “Composite service coverage”:

Figura 81. Diagrama de simulación del Composite service coverage.



Fuente: Autor.

En este diagrama se presenta la mancha de cobertura total de los sitios establecidos hasta el umbral de representación aceptable configurable que se explica en el paso 4 del numeral 2.1.5. Esta imagen establece tan sólo el cubrimiento del sitio, más no especifica el área que pertenece a cada sector, ni los niveles de intensidad de señal que se dan dentro de la misma área de cobertura.

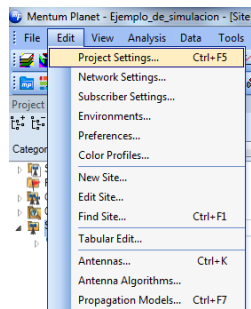
Para los tres diagramas recientemente nombrados se puede decir que el desarrollo de una simulación asociada tan solo a un archivo de alturas se representa en la agregación de tan solo un proceso de desvanecimiento conocido como el PathLoss.

3.5.1.2 Ejemplo #2. El objetivo de este ejemplo es observar la influencia de un archivo de clutter sobre las simulaciones, para ello es necesario comparar los resultados obtenidos con y sin este archivo.

3.5.1.2.1 Modificación de los parámetros del proyecto. En esta sección ya se debe haber creado un proyecto, de lo contrario, se debe proceder a crearlo recreando el procedimiento del ejemplo anterior.

Paso 1. Se debe proceder a dar click en la pestaña “view” que se encuentra en el lado superior izquierdo y luego seleccionar la opción “Project Settings”, con esto se desplegará la ventana en donde se podrán modificar los parámetros del proyecto.

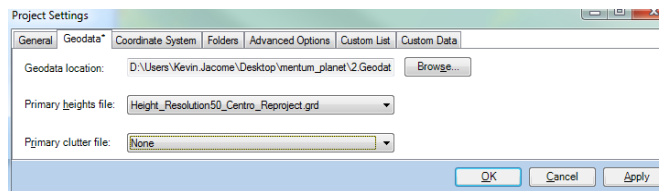
Figura 82. Modificación de los parámetros del proyecto.



Fuente: Autor.

La ventana que se despliega es la siguiente:

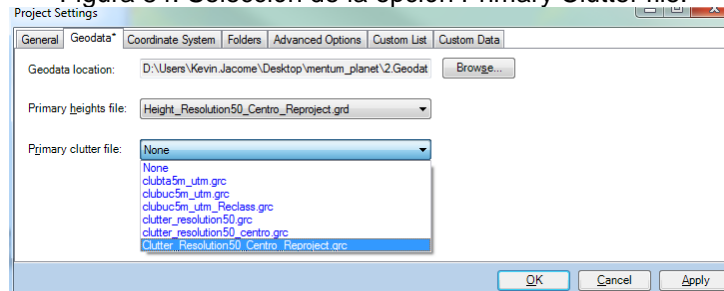
Figura 83. Despliegue de ventana de configuración.



Fuente: Autor.

Paso 2. Se aclara que inicialmente el proyecto no posee un archivo de clutter asociado por lo que en la opción “Primary Clutter file” se seleccionará uno de la lista desplegable como se ve a continuación. (Es importante que los archivos de alturas y clutter no sólo posean la misma resolución sino que también abarquen la misma extensión territorial).

Figura 84. Selección de la opción Primary Clutter file.



Fuente: Autor.

Paso 3. Luego del paso anterior se debe proceder a hacer click sobre “Aply” para aplicar los cambios en el proyecto y luego se selecciona la opción “OK” para cerrar la ventana desplegable.

3.5.1.2.2 Creación de sitios y generación de predicciones

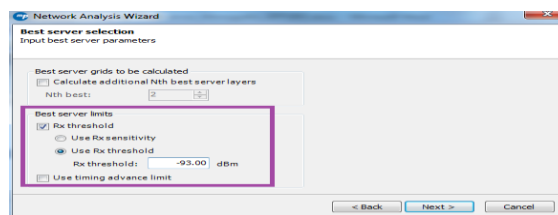
En este punto se ha de repetir el proceso de las secciones correspondientes del ejemplo anterior.

3.5.1.2.3 Realización de diagramas de cobertura:

Paso 1. Se debe proceder a crear un nuevo análisis “TDMA-FDMA Analyses” y configurar el grupo de elementos a simular como en el ejemplo anterior.

Paso 2. Después del paso anterior se ha de proceder a definir los límites visibles de la simulación y, para este caso, se introducirá el valor mínimo aceptable por el sistema GSM que es -93dBm, esto seleccionando la opción “Use Rx threshold” con lo que se habilitará el espacio para ingresar el valor manualmente.

Figura 85. Selección de los limites visibles d simulación.



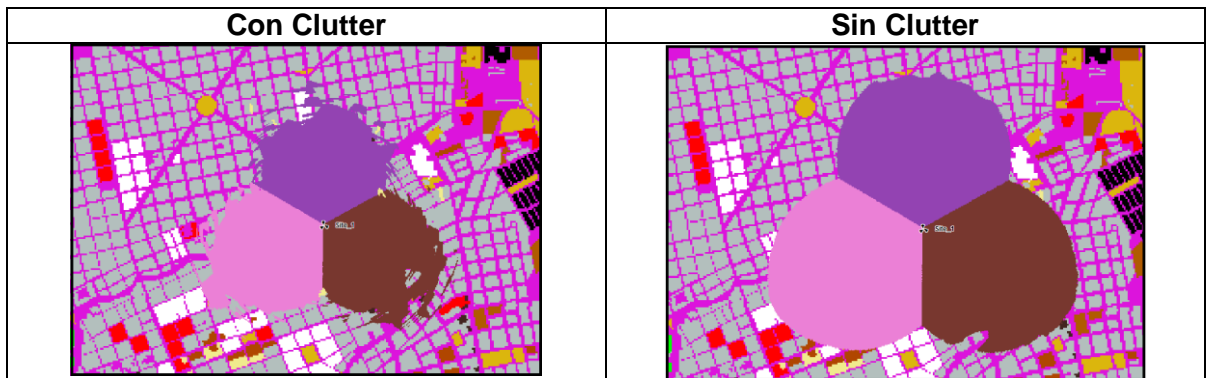
Fuente: Autor.

Paso 3. Se deben recrear los procesos mostrados en las secciones 3.1.4 y 3.1.5 del ejemplo anterior, esto con el fin de mostrar los resultados del “Composite service coverage”, “Best Serving Sector” y del “Best Server Signal Strength” del sitio con el archivo de clutter.

3.5.1.2.4 Resultados obtenidos. Para el ejercicio se visualizarán los resultados sobre el archivo de clutter en la ventana de mapas.

Diagrama de simulación del “Best Serving Sector”.

Figura 86. Simulaciones con clutter y sin clutter.



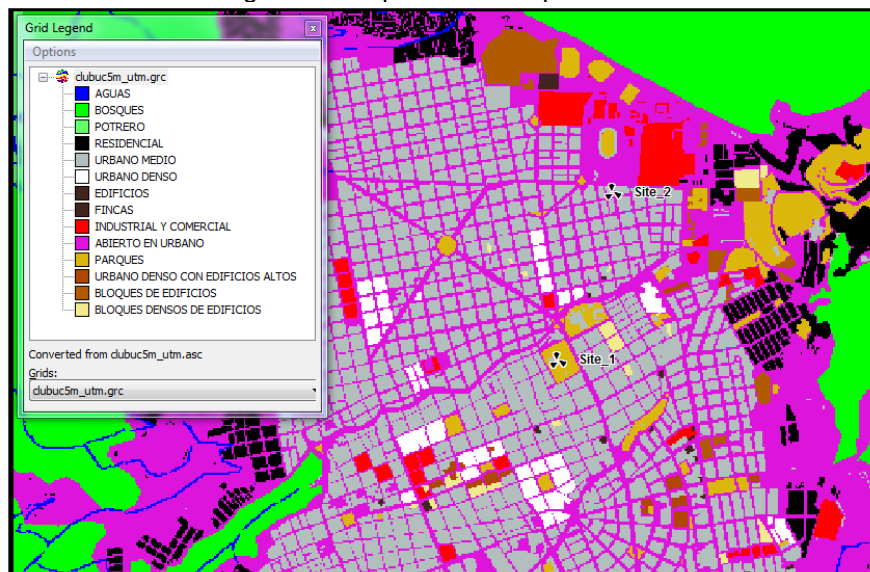
Fuente: Autor.

En la imagen de la izquierda se aprecia la mancha de cobertura de cada uno de los sectores agregando el clutter y en la derecha se encuentra el mismo diagrama sin la utilización de este archivo. (En este ejemplo el sitio fue ubicado en una zona en donde el perfil del terreno es parejo, por tanto, no se agregan mayores pérdidas por el archivo de alturas).

Se puede apreciar que el clutter agrega pérdidas a la señal transmitida que dependen directamente del ambiente en el que se propaga, por lo que la mancha de cobertura de cada sector se verá atenuada dependiendo de la zona.

A continuación se muestra qué tipo de zona representa cada color:

Figura 87. Representación por zonas.



Fuente: Autor.

Dependiendo de la zona, se tiene un nivel de pérdidas que obedece a unos procesos de desvanecimiento específicos por lo que la mayor atenuación de la señal transmitida se dará en zonas como “BLOQUES DENSOS DE EDIFICIOS” y, por el contrario, la señal se verá menos afectada en zonas como “POTREROS” y “FINCAS”.

Diagrama de simulación del “Best Server Signal Strength”.

Como se dijo anteriormente el “Best Server Signal Strength” es un diagrama de cobertura de la estación base y al agregarse un archivo de clutter permite observar las pérdidas en todos los niveles de intensidad de la señal, debido a zonas compuestas de edificios y otras estructuras.

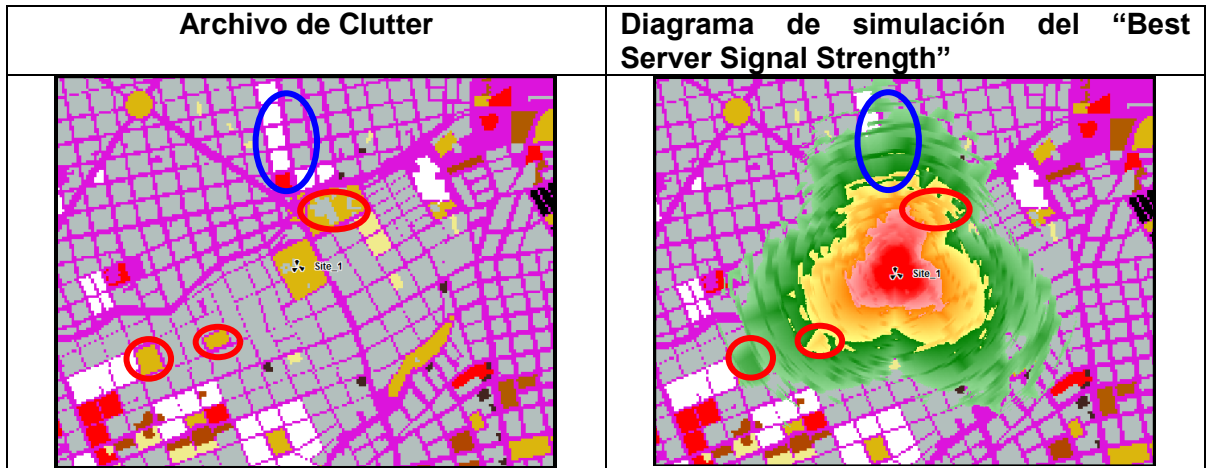
Figura 88. Simulación del Best Server Signal Strength con y sin clutter.



Fuente: Autor.

A continuación se visualizará el archivo de Clutter y el Diagrama de simulación del “Best Server Signal Strength”:

Figura 89. Archivo clutter y diagrama del Best Server Signal Strength.



Fuente: Autor.

Las formas en amarillo representan ambientes abiertos, las blancas son zonas densamente urbanas y las grises son zonas medio urbanas. Los círculos rojos en las imágenes muestran que la señal tiende a propagarse con mayor facilidad en los ambientes abiertos. En los círculos azules, que corresponden a zonas densamente urbanas, se puede apreciar que la señal sufre una atenuación más marcada debido a que este tipo de zonas generan mayores niveles de pérdidas.

Diagrama de simulación del “Composite service coverage”.

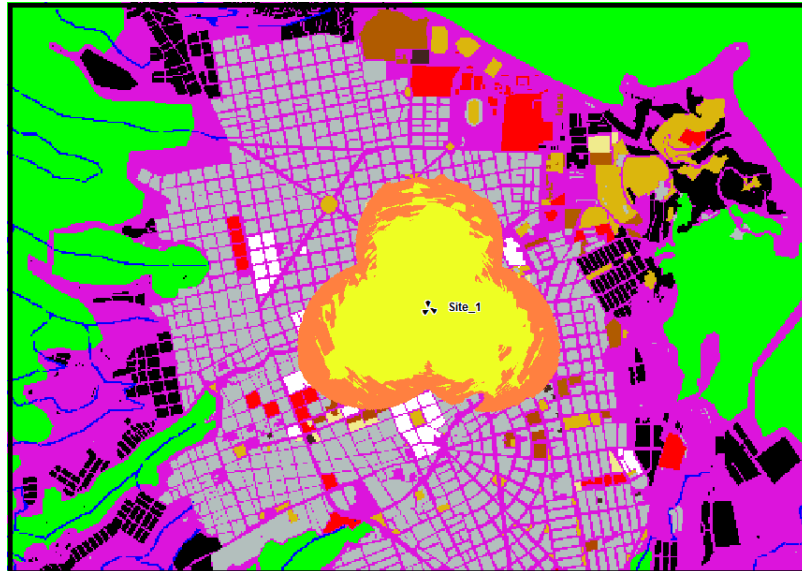
Figura 90. Simulación del Composite Service Coverage con y sin clutter.



Fuente: Autor.

Al superponer ambos diagramas se pueden apreciar las pérdidas que se agregan por el archivo de clutter (área amarilla). Se puede decir que los archivos de clutter y alturas permiten representar los efectos de desvanecimiento como PathLoss, Fast Fading, Slow Fading y otros del medio en el que se propaga la señal.

Figura 91. Pérdidas agregadas a la simulación.



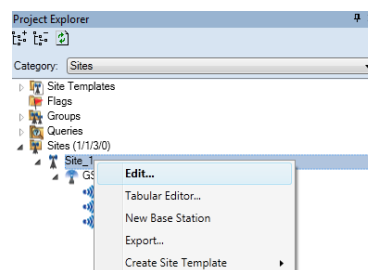
Fuente: Autor.

3.5.1.3 Ejemplo #3. El objetivo del ejemplo es observar los cambios en los diagramas de cobertura al ajustar algunos parámetros propios de un sitio con sus configuraciones por defecto.

3.5.1.3.1 Modificación de los parámetros del sitio.

Paso 1. Para modificar los parámetros propios de un sitio es necesario ubicarse en el Project Explorer, hacer click secundario en el sitio y en el menú contextual seleccionar “edit”.

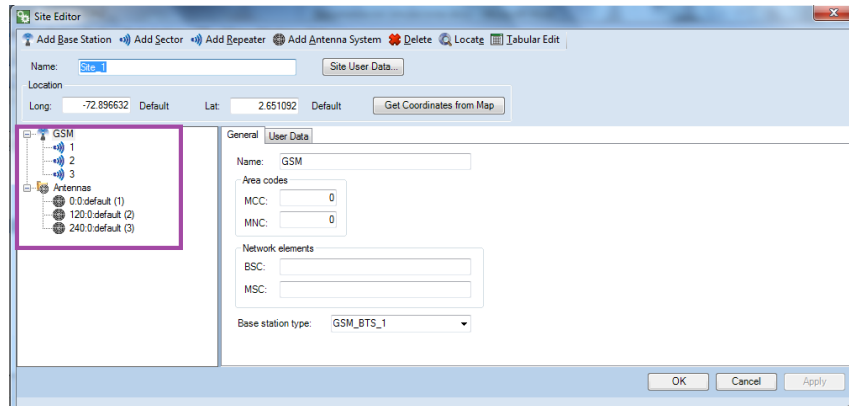
Figura 92. Edición de parámetros.



Fuente: Autor.

Luego de realizar el paso anterior se desplegará la siguiente ventana:

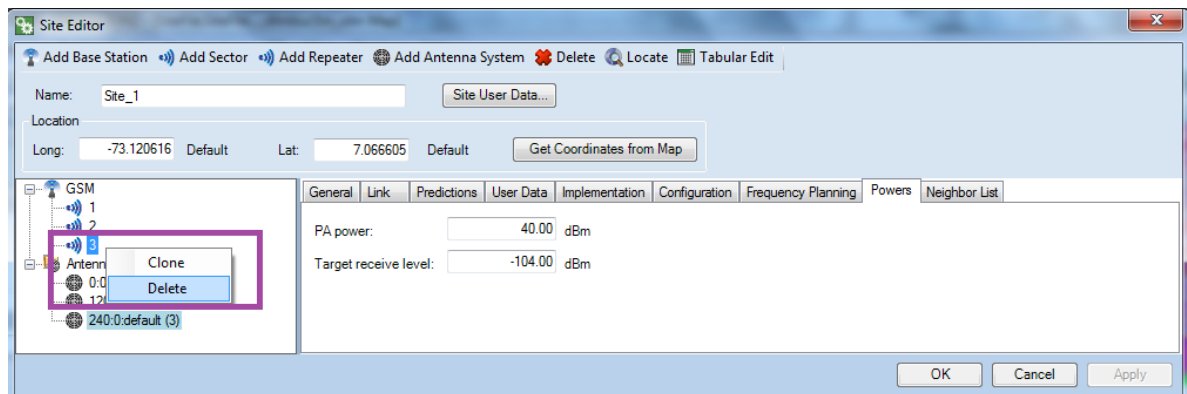
Figura 93. Despliegue de la ventana para la edición del sitio.



Fuente: Autor.

Paso 2. Desde la ventana desplegable del “Site Editor” es posible eliminar sectores de la estación base, para esto es necesario hacer click izquierdo sobre el sector que se quiere eliminar y elegir la opción “DELETE”.

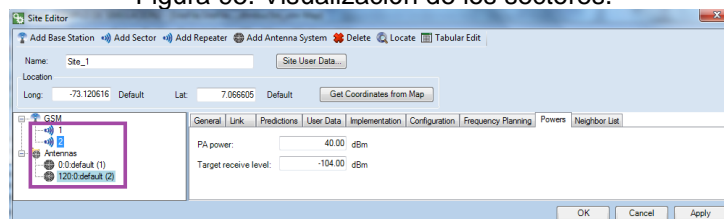
Figura 94. Eliminación de sectores de la estación base.



Fuente: Autor.

Después de seleccionar la opción “DELETE” el sector quedará borrado y sólo se visualizarán los sectores restantes.

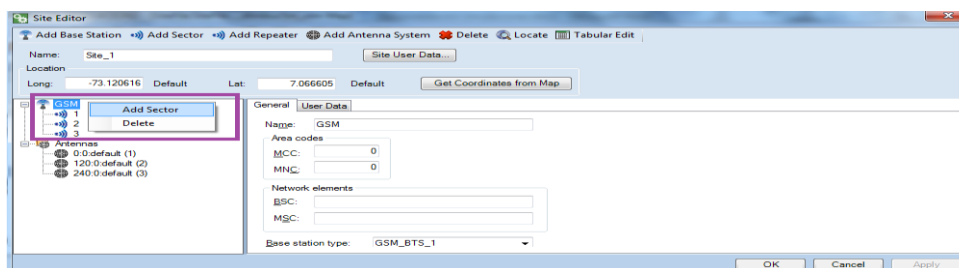
Figura 95. Visualización de los sectores.



Fuente: Autor.

Desde la ventana desplegable del “Site Editor” es posible también el agregar sectores para la estación base, para ello es necesario hacer click secundario sobre el menú con el nombre “GSM” y elegir la opción “ADD SECTOR” como se ve a continuación.

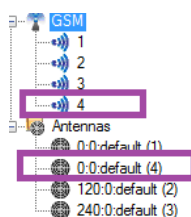
Figura 96. Adicción de un nuevo sector.



Fuente: Autor.

Después de seleccionar la opción “ADD SECTOR” se visualizará instantáneamente en la ventana “Site Editor”.

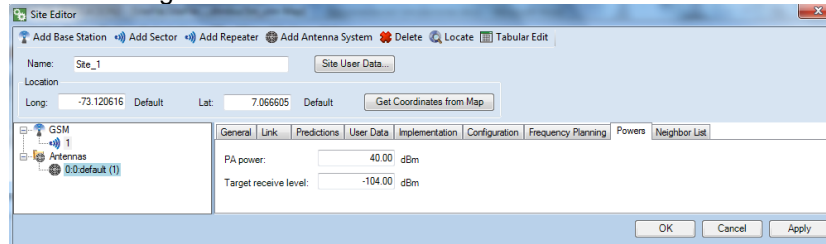
Figura 97. Visualización del nuevo sector.



Fuente: Autor.

Para el ejemplo en particular se eliminaron dos de los tres sectores como se ve en la siguiente imagen.

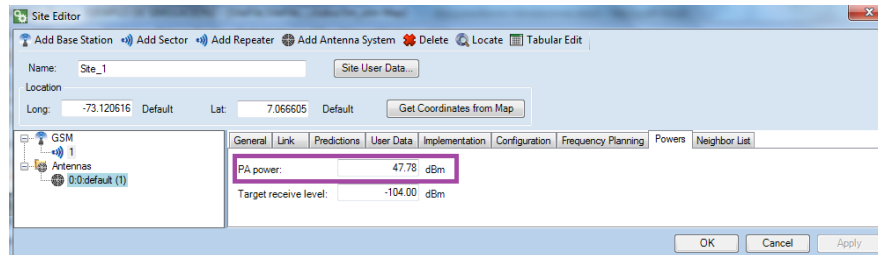
Figura 98. Parámetros del sitio del nuevo sector.



Fuente: Autor.

Paso 3. En este punto se modificará la potencia del transceptor del sector que por defecto se encontraba en 40dB a una potencia de 47.78 dB, para ello sólo se debe hacer click primario sobre el campo “PA Power” y digitar el valor.

Figura 99. Parámetro de PA Power.



Fuente: Autor.

Paso 4. Luego del paso anterior tan sólo se debe proceder a aceptar los cambios realizados en el sitio dando click en la opción “Apply” y luego en “OK”.

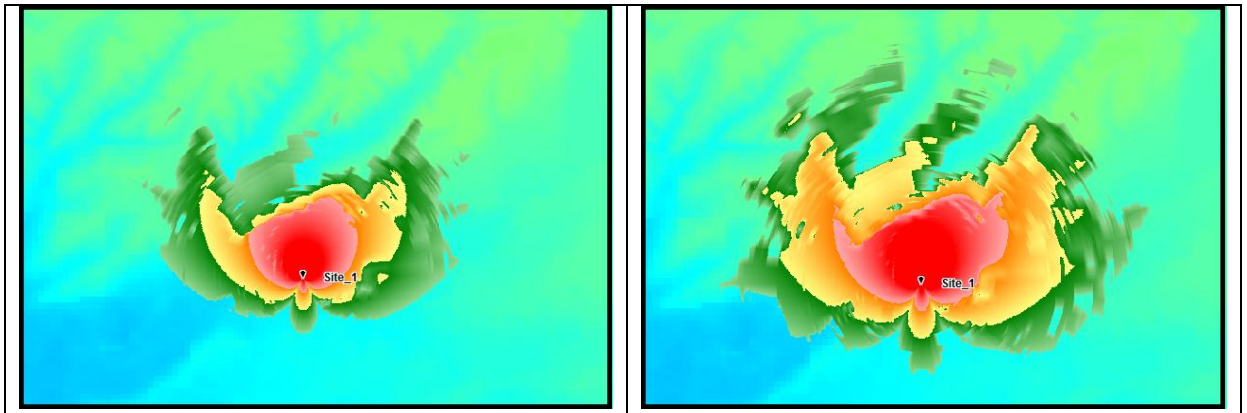
3.5.1.3.2 Generación de predicciones y diagramas de cobertura. En este punto se deben realizar los procesos correspondientes a la generación de predicciones y a la visualización de diagramas de cobertura, los cuales han sido descritos con anterioridad.

3.5.1.3.3 Resultados obtenidos. Para el ejercicio se visualizarán los resultados sobre el archivo de alturas en la ventana de mapas y a su vez, debido a que solo se representará un sector, no es necesario mostrar el resultado del diagrama de simulación “Best Serving Sector”.

Diagramas de simulación del “Best Server Signal Strength”.

Figura 100. Simulación de PA Power para diferente decibeles.

Simulación con PA Power de 40dB	Simulación con PA Power de 47.78dB
--	---



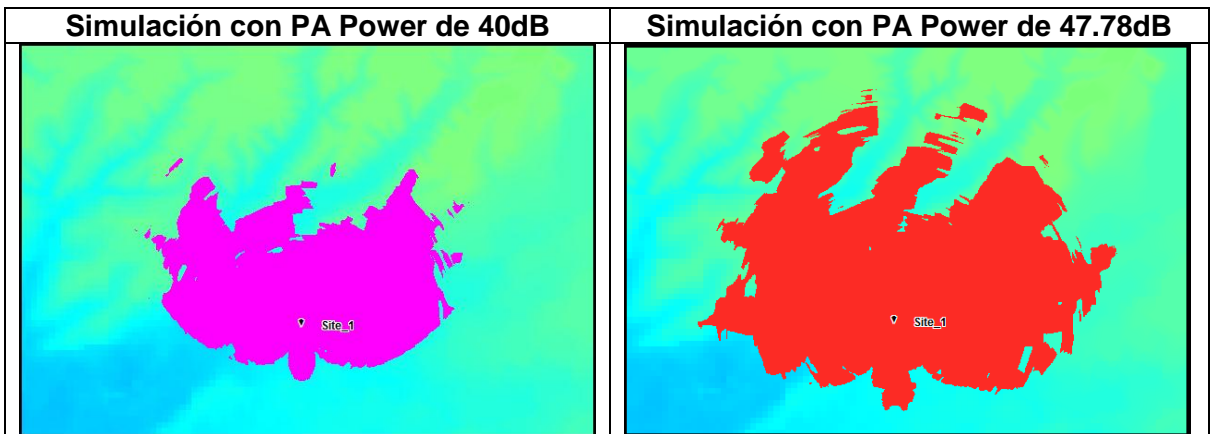
Fuente: Autor.

Al comparar los dos diagramas se puede apreciar que al aumentar la potencia de transmisión la señal se propagará con más facilidad en el medio y a su vez podrá abarcar áreas más extensas con un nivel de intensidad mayor.

Diagramas de simulación del “Composite service coverage”.

Claramente se puede apreciar que al aumentar la potencia se aumenta el área de cobertura del sector, sin embargo se debe tener especial cuidado con el manejo del nivel de potencia con el fin de no generar interferencia con otras celdas o sectores.

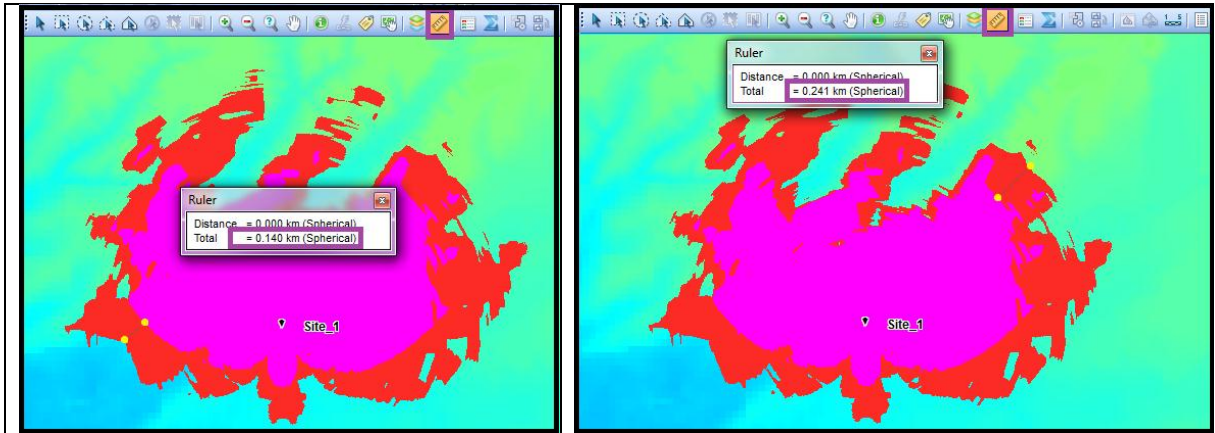
Figura 101. Simulación del Composite service coverage para diferentes valores de PA Power.



Fuente: Autor.

Mediante la utilización de un ícono conocido como “Ruler” es posible establecer la distancia entre algunos puntos de los dos diagramas de cobertura, para ello es necesario hacer click sobre el ícono y señalar los puntos.

Figura 102. Uso del icono Ruler para dos diagramas de cobertura.



Fuente: Autor.

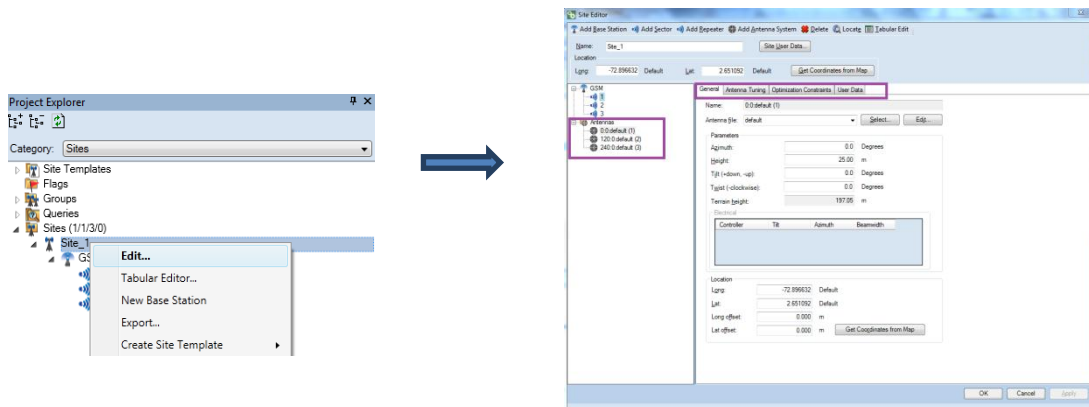
Como se ve en las imágenes anteriores al aumentar la potencia de 40dB a 47.78dB se cubren distancias adicionales de alrededor de 140 y 241 metros para algunas zonas.

3.5.1.4 Ejemplo #4. El objetivo del ejemplo es observar los cambios en los diagramas de cobertura al ajustar algunos parámetros propios de las antenas de un sitio. Se aclara que el proyecto y el sitio ya deben haber sido creados como se muestra en los anteriores ejemplos.

3.5.1.4.1 Modificación de los parámetros de la antena.

Paso 1. Para modificar los parámetros de las antenas de un sitio es necesario ubicarse en el Project Explorer, hacer click secundario en el sitio y en el menú contextual seleccionar “edit”, luego se debe seleccionar una de las opciones del menú desplegable con el nombre de “Antennas” y con ello se mostrarán los parámetros de la antena seleccionada agrupados en pestañas.

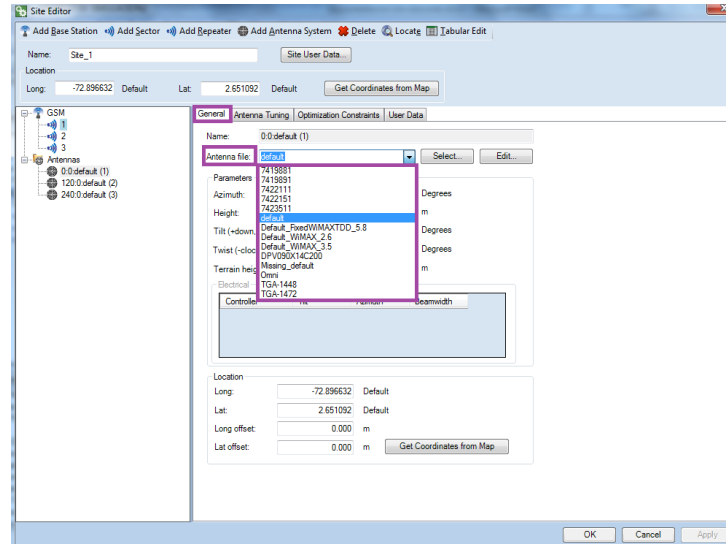
Figura 103. Modificación de los parámetros de la antena.



Fuente: Autor.

Paso 3. Si se desea cambiar la antena es necesario ubicarse en la pestaña “General”, dar click primario sobre el menú desplegable del campo “Antenna file” y seleccionar la antena que se desea.

Figura 104. Cambio de la antena.



Fuente: Autor.

Paso 4. Posterior a elegir la antena se deben aplicar y aceptar los cambios mediante las opciones “Apply” y “OK”.

3.5.1.4.2 Generación de predicciones y diagramas de cobertura. En este punto se deben realizar los procesos correspondientes a la generación de predicciones y a la visualización de diagramas de cobertura los cuales han sido descritos con anterioridad.

3.5.1.4.3 Resultados obtenidos. Se aclara que el ejemplo se desarrolla en un ambiente ideal en donde el perfil del terreno es parejo y el ambiente corresponde a un campo abierto, razón por la cual la señal prácticamente no se verá afectada.

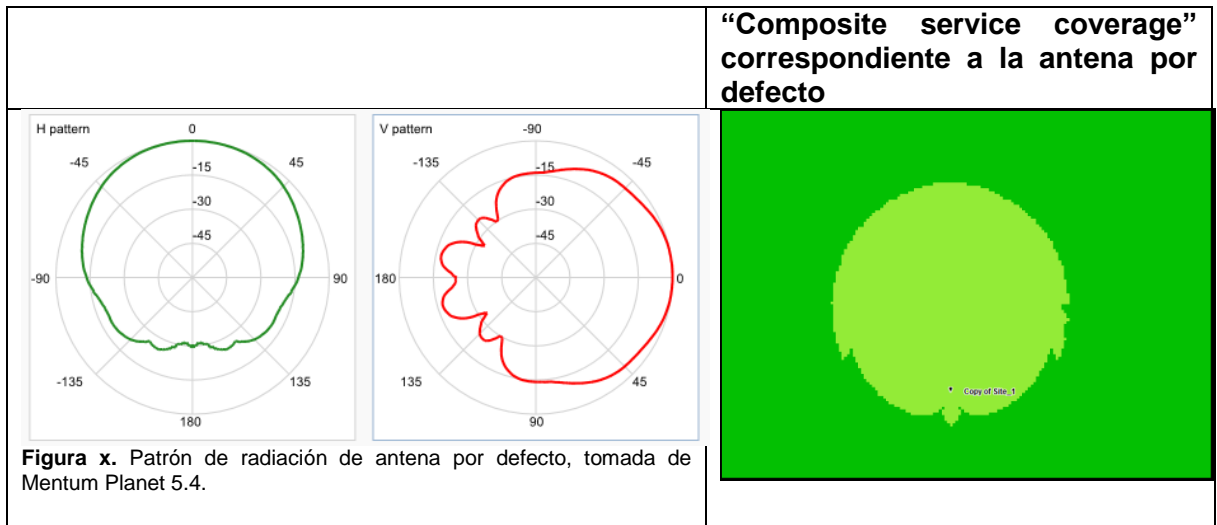
Se adiciona que los resultados serán visualizados sobre el archivo de alturas en la ventana de mapas.

Diagramas de simulación del “Composite service coverage”.

Inicialmente se muestra la simulación desarrollada para el sector con su antena por defecto.

Figura 105. Radiación de la antena por defecto.

Patrón de radiación de antena por defecto	Diagrama de simulación del
--	-----------------------------------

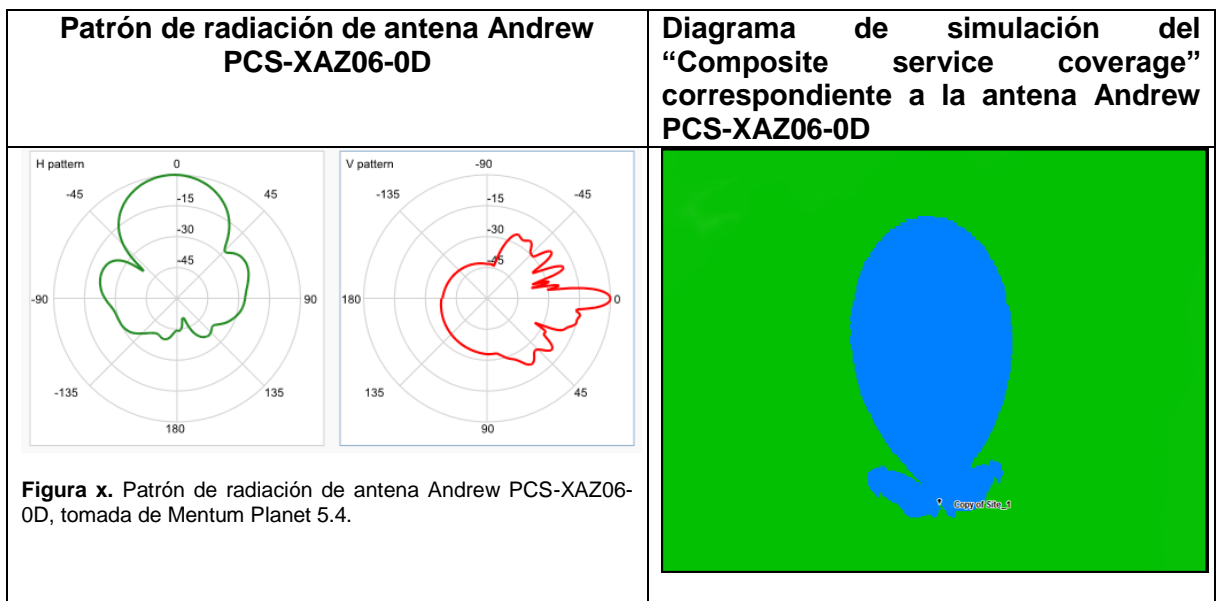


Fuente: Autor.

La imagen de la izquierda corresponde al patrón de radiación de la antena por defecto de la herramienta de simulación, en la imagen se puede apreciar que la intensidad de la potencia transmitida se distribuye en un lóbulo parejo no orientado a un lugar en particular. Por otro lado, se encuentra la imagen de la derecha, que corresponde al diagrama de simulación del “Composite service coverage” en donde se percibe con claridad el área de cobertura con la forma del patrón de radiación de la antena.

A continuación se muestra la simulación desarrollada para el sector con una antena Andrew PCS-XAZ06-0D:

Figura 106. Radiación de la antena Andrew.



Fuente: Autor.

Se puede observar que el patrón de radiación de la antena Andrew PCS-XAZ06-0D focaliza la mayor intensidad de la potencia transmitida hacia un lugar en específico y a su vez distribuye también una menor intensidad en dos lóbulos con una orientación específica. Por otro lado, en el diagrama de simulación del “Composite service coverage” se aprecia la existencia de una celda que se focaliza en una orientación puntual.

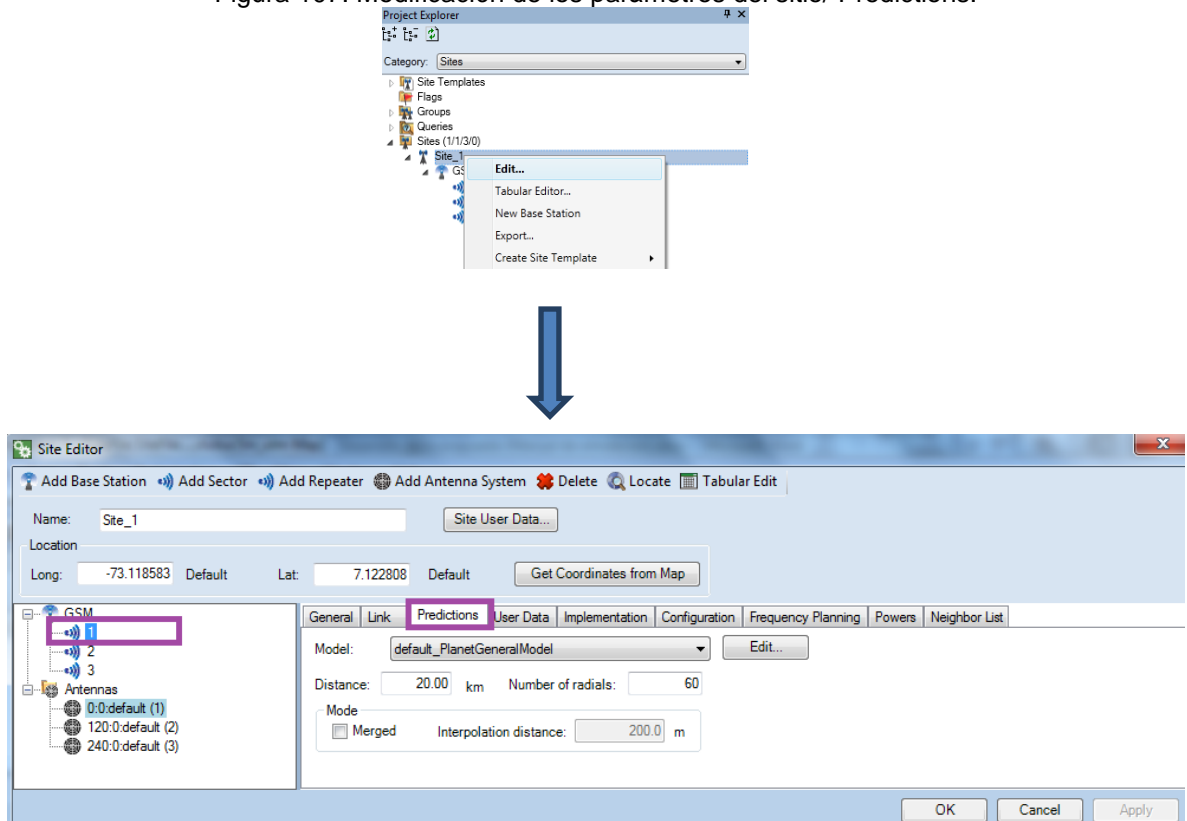
3.5.1.5 Ejemplo #5. El objetivo del ejemplo es observar los cambios en los diagramas de cobertura al cambiar el modelo de propagación. Se aclara que el proyecto y el sitio ya deben haber sido creados como se muestra en los anteriores ejemplos.

Es importante decir que los modelos de propagación son el principal elemento que sostiene una herramienta de simulaciones de redes de acceso inalámbrico, pues mediante la utilización de la información de los archivos de alturas y clutter permiten predecir el comportamiento que tendrá una señal al ser transmitida en un medio específico, que es en sí la base de la mayoría de funciones de este tipo de herramientas.

3.5.1.5.1 Modificación de los parámetros del sitio.

Paso 1. Para cambiar el modelo de propagación del sitio es necesario ubicarse en el Project Explorer, hacer click secundario en el sitio y en el menú contextual seleccionar “edit”, luego se selecciona un sector y se da click primario sobre la pestaña “Predictions”.

Figura 107. Modificación de los parámetros del sitio/ Predictions.

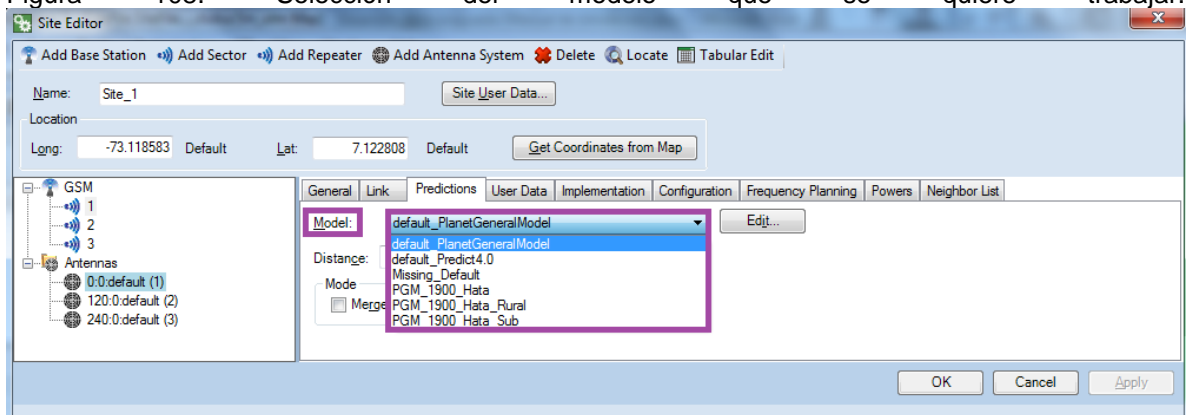


Fuente: Autor.

En este punto se desplegarán los parámetros referentes al modelo utilizado para hacer las predicciones del sector.

Paso 2. Posterior al paso anterior es necesario hacer click primario sobre el menú desplegable del campo modelo y luego seleccionar el modelo con el que se quiere trabajar.

Figura 108. Selección del modelo que se quiere trabajar.



Fuente: Autor.

Luego de elegir el modelo de propagación con el que se realizarán las predicciones es necesario aplicar y aceptar los cambios con las opciones “Apply” y “OK”.

3.5.1.5.2 Generación de predicciones y diagramas de cobertura. En este punto se deben realizar los procesos correspondientes a la generación de predicciones y a la visualización de diagramas de cobertura, los cuales han sido descritos con anterioridad.

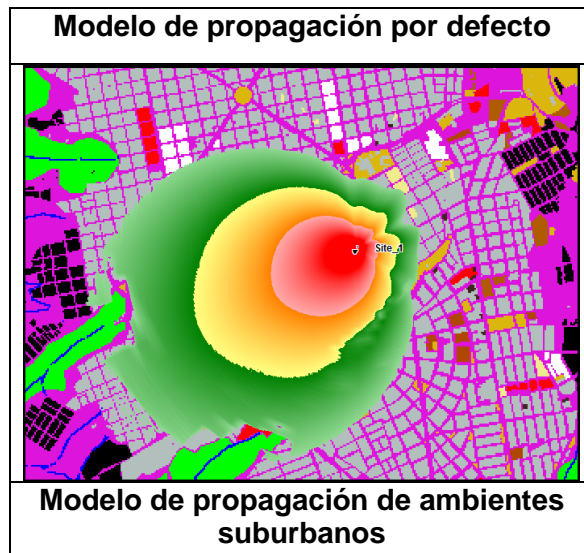
3.5.1.5.3 Resultados obtenidos. En el ejemplo se han de mostrar los resultados obtenidos por tres modelos de propagación, uno de ellos es el modelo que la herramienta utiliza por defecto para cualquier simulación y los otros dos corresponden a modelos utilizables en ambientes sub urbanos y urbanos, todos estos basados en el modelo de propagación OKUMURA-HATA.

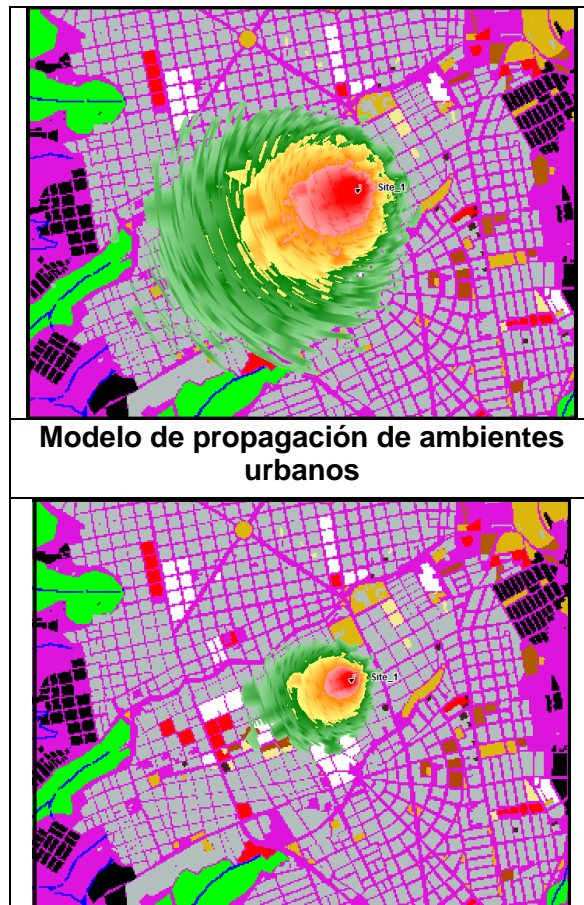
Se aclara que un modelo de propagación se trata de acomodar a un ambiente específico y debido a esto es común encontrar modelos de propagación enfocados a zonas urbanas, sub urbanas, rurales, también para interiores y entre otros ambientes con características específicas que harán que la señal transmitida se comporte de diferentes maneras.

A continuación se mostrarán los diagramas de simulación del “Best Server Signal Strength” para los tres modelos.

Diagramas de simulación del “Best Server Signal Strength”.

Figura 109. Modelo de propagación en diferentes ambientes por defecto.





Fuente: Autor.

En el primer diagrama se aprecia que el ambiente que tiene en cuenta el modelo por defecto para sus predicciones es un ambiente ideal en donde la señal transmitida no se verá afectada por ninguna estructura, pues se propaga en campo abierto. En el segundo diagrama se aprecia que el modelo sólo está teniendo en cuenta las zonas suburbanas del clutter para sus predicciones e ignora las zonas urbanas, como los grupos densos de edificios, por lo que no resulta óptimo utilizarlo para el clutter que se está mostrando como base.

En cuanto al último diagrama se puede apreciar que el modelo de propagación urbano responde a todos los efectos agregados tanto para zonas residenciales como para zonas densamente urbanas en donde la señal transmitida se ve gravemente afectada.

Es importante agregar que para la herramienta, las zonas urbanas están compuestas de:

- Zonas residenciales.
- Zonas industriales y comerciales.

- Zonas de construcciones de tamaño promedio con buena distribución.

Y, por otro lado, las zonas meramente urbanas se componen de:

- Zonas de construcciones aglomeradas.
- Zonas con edificios.
- Zonas de bloques de edificios contiguos.

3.5.1.6 Ejemplo #6. Las simulaciones presentadas hasta el momento se han hecho sobre la tecnología GSM y la mayoría de los procesos descritos se repiten de igual manera en la tecnología WCDMA, sin embargo, si difieren en la forma de generar los diagramas de cobertura, por tanto el objetivo de este ejemplo es el de mostrar los procesos específicos que se deben tomar para desarrollar una simulación basada en WCDMA.

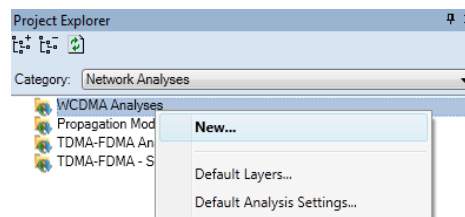
3.5.1.6.1 Creación de un nuevo proyecto y un nuevo sitio. Para la creación de un proyecto y un sitio se deben replicar los procedimientos correspondientes del ejemplo # 1.

3.5.1.6.2 Generación de predicciones. Para la generación de predicciones se deben replicar los procedimientos correspondientes del ejemplo # 1.

3.5.1.6.3 Generación de diagramas de cobertura.

Paso 1. Para el desarrollo de los análisis y diagramas de simulación para tecnologías WCDMA es necesario seleccionar la categoría “Network Analyses” dentro del Project Explorer y hacer click secundario sobre “WCDMA Analyses” y en el menú contextual se selecciona “New”.

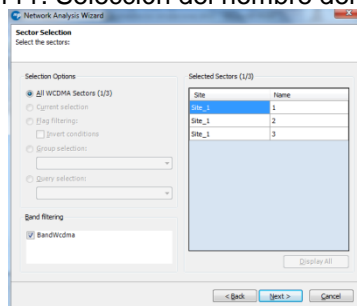
Figura 110. Generación de diagramas de cobertura WCDMA.



Fuente: Autor.

Paso 2. Luego del paso anterior se procede a elegir el nombre del análisis y después de definirlo y hacer click secundario sobre la opción “NEXT”, nos debe aparecer una ventana de selección de los elementos a simular, como en este caso es un sitio con sus tres sectores han de aparecer 3 filas con el respectivo número de cada celda.

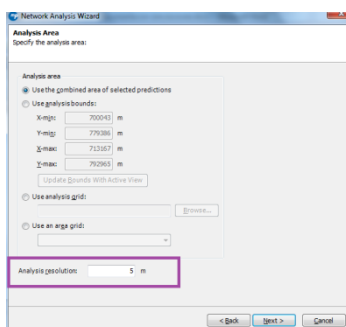
Figura 111. Selección del nombre del análisis.



Fuente: Autor.

Paso 3. Luego del paso anterior es necesario definir la resolución de la simulación que depende directamente de la resolución de los archivos de altura y clutter seleccionados inicialmente en el proyecto.

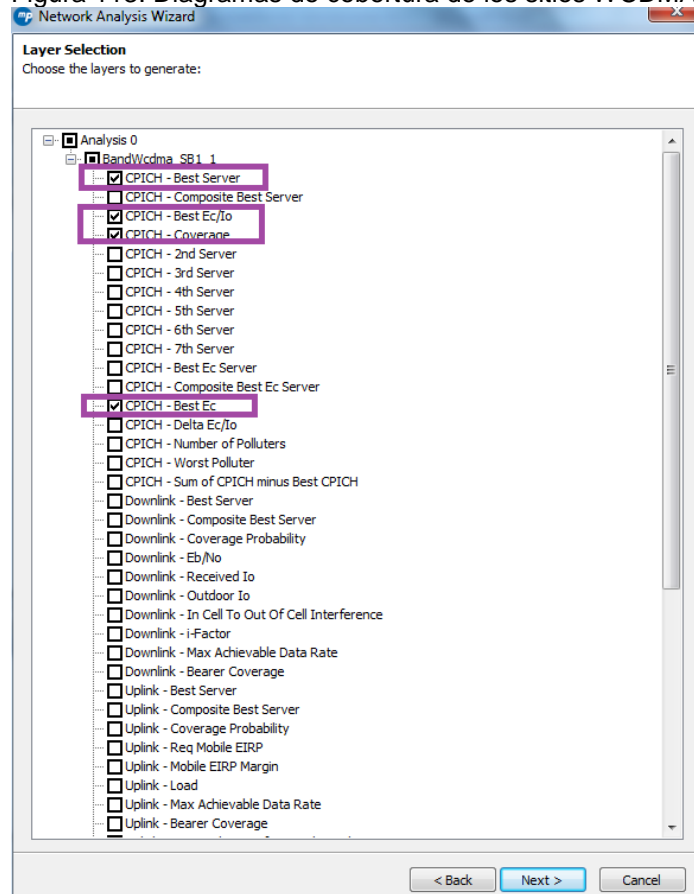
Figura 112. Resolución de la simulación.



Fuente: Autor.

Paso 4. En este punto se seleccionan los diagramas de resultados que se quieren visualizar. Debido a que se quieren apreciar los diagramas de cobertura de los sitios WCDMA se deben seleccionar básicamente 4 opciones, éstas son:

Figura 113. Diagramas de cobertura de los sitios WCDMA.



Fuente: Autor.

Es necesario aclarar que el CPICH es el canal piloto utilizado en WCDMA equivalente al canal BCCH de GSM.

El “CPICH-Best Server” es la equivalencia del “Best Serving Sector” en GSM por tanto es el que define el área que mejor abarca cada sector.

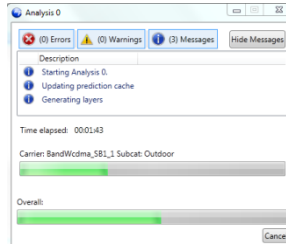
El “CPICH-Best Ec/Io” es quien me define el área de cobertura de los sitios identificado los niveles de calidad de la señal.

El “CPICH- Coverage” establece tan sólo el área total de cobertura de los sitios.

El “CPICH-Best Ec” establece el área de cobertura identificando con diferentes colores los niveles de intensidad de la señal transmitida.

Paso 5. Luego de elegir los diagramas deseados se debe hacer click primario sobre la opción “Next” e inmediatamente se desplegará una ventana que establece que se están generando los diagramas.

Figura 114. Análisis de simulación.

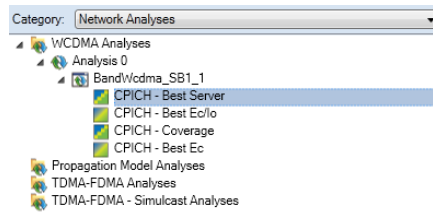


Fuente: Autor.

Cuando la ventana indique que se han terminado de generar los diagramas se debe hacer click primario sobre la opción “Cancel” y con ello se cerrara la ventana.

Paso 6. Para visualizar los resultados se debe ir al Project Explorer, seleccionar la categoría “Network Analyses”, seleccionar la opción “WCDMA Analyses” y luego hacer doble click sobre el título del diagrama que se quiere observar.

Figura 115. Resultados de la simulación.

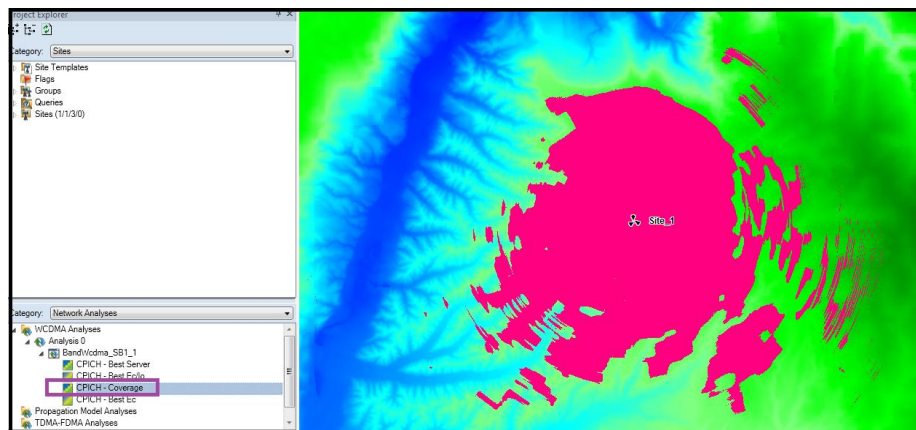


Fuente: Autor.

3.5.1.6.4 Resultados obtenidos.

Diagrama de simulación del “CPICH- Coverage”:

Figura 116. Resultados de simulación del CPICH-Coverage.

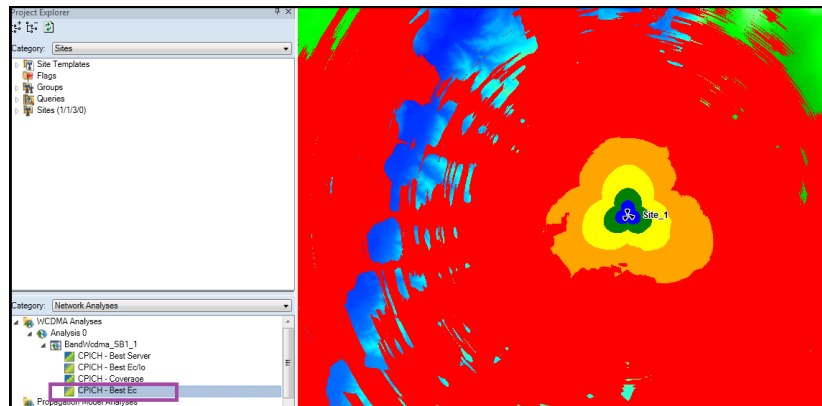


Fuente: Autor.

Este diagrama establece el área total de cubrimiento de los sitios simulados sin especificar la calidad de la señal en ninguno de los puntos.

Diagrama de simulación del “CPICH- Best Ec”.

Figura 117. Simulación CPICH- Best Ec.

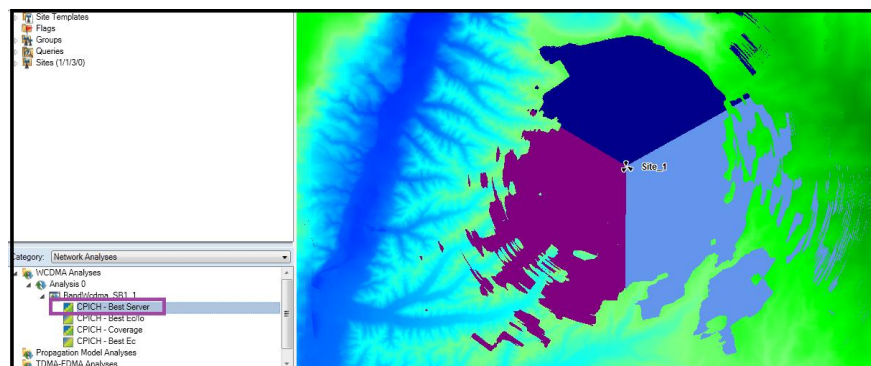


Fuente: Autor.

El diagrama de simulación del “CPICH- Best Ec” es el equivalente al “Best Serving Sector” en GSM y en él se pueden observar los niveles de intensidad de señal con los que se llegan a áreas específicas.

Diagrama de simulación del “CPICH-Best Server”.

Figura 118. Resultados de simulación CPICH-Best Server.

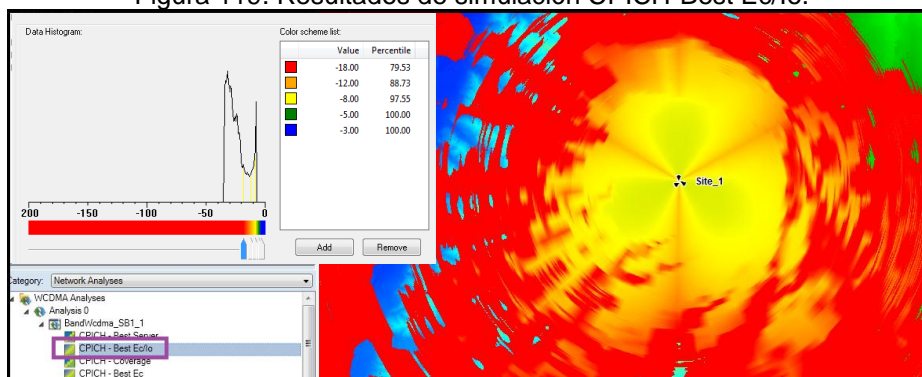


Fuente: Autor.

Este diagrama establece el área que mejor cubre cada sector y como se dijo anteriormente es la equivalencia del “Best Serving Sector” en GSM.

Diagrama de simulación del “CPICH-Best Ec/lo”.

Figura 119. Resultados de simulación CPICH-Best Ec/Io.



Fuente: Autor.

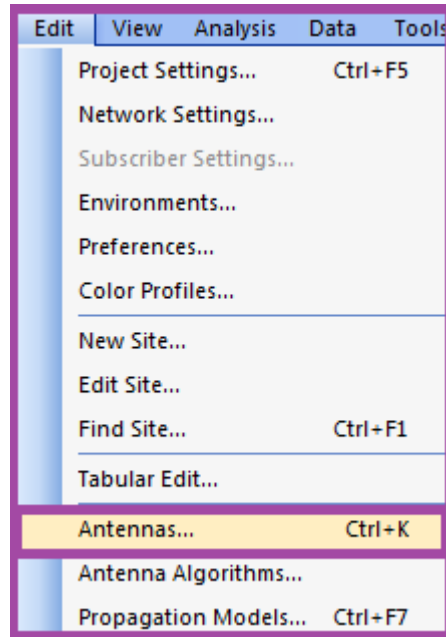
Se aclara que en una red de tercera generación el área de cubrimiento no sólo se establece con el nivel de intensidad de la señal sino que se da por la relación entre la intensidad de la señal transmitida y el nivel de interferencia sobre ella (E_c/I_o). En el diagrama del “CPICH-Best E_c/I_o ” se pueden apreciar los niveles de calidad de la señal con los que se da cobertura a un área específica, en donde el nivel más óptimo de la relación de E_c/I_o es de hasta -3dB y por el contrario el peor escenario se da si el nivel E_c/I_o es menor a -12dB que se traduce como un área de no cubrimiento debido a que el nivel de calidad de la señal es muy bajo.

3.6 Descripción de importación y descarga de archivos de antenas.

Como se dijo en la sección 3.3 (BARRA DE MENÚS DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN) dentro del menú edit existe la opción “Antennas” con la que se puede abrir, importar y descargar archivos de antenas, esta opción permite que las simulaciones se lleven a cabo con las características reales de las antenas usadas.

Para acceder a la ventana de antenas nos paramos sobre el menú “Edit” y se hace click primario sobre la opción “antenas” como se muestra a continuación:

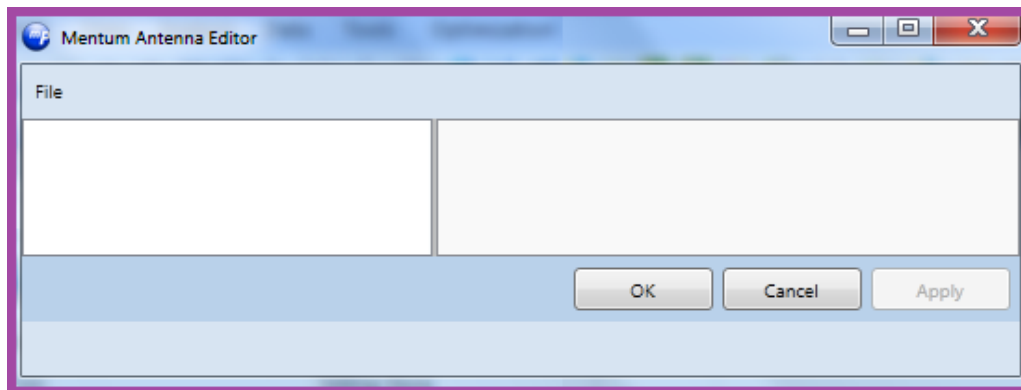
Figura 120. Captura 1.



Fuente: Autor.

Posterior al paso anterior se desplegará la ventana "Antennas" como se ve en la siguiente imagen:

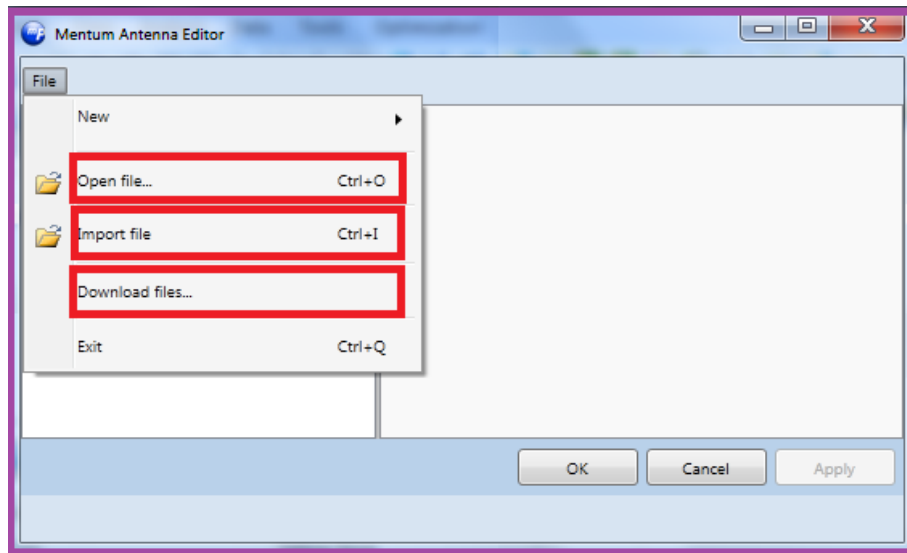
Figura 121. Captura 2.



Fuente: Autor.

Inicialmente la ventana estará vacía y dentro del menú contextual "File" se encuentran las diferentes acciones referentes a los archivos de antenas.

Figura 122. Captura 3.



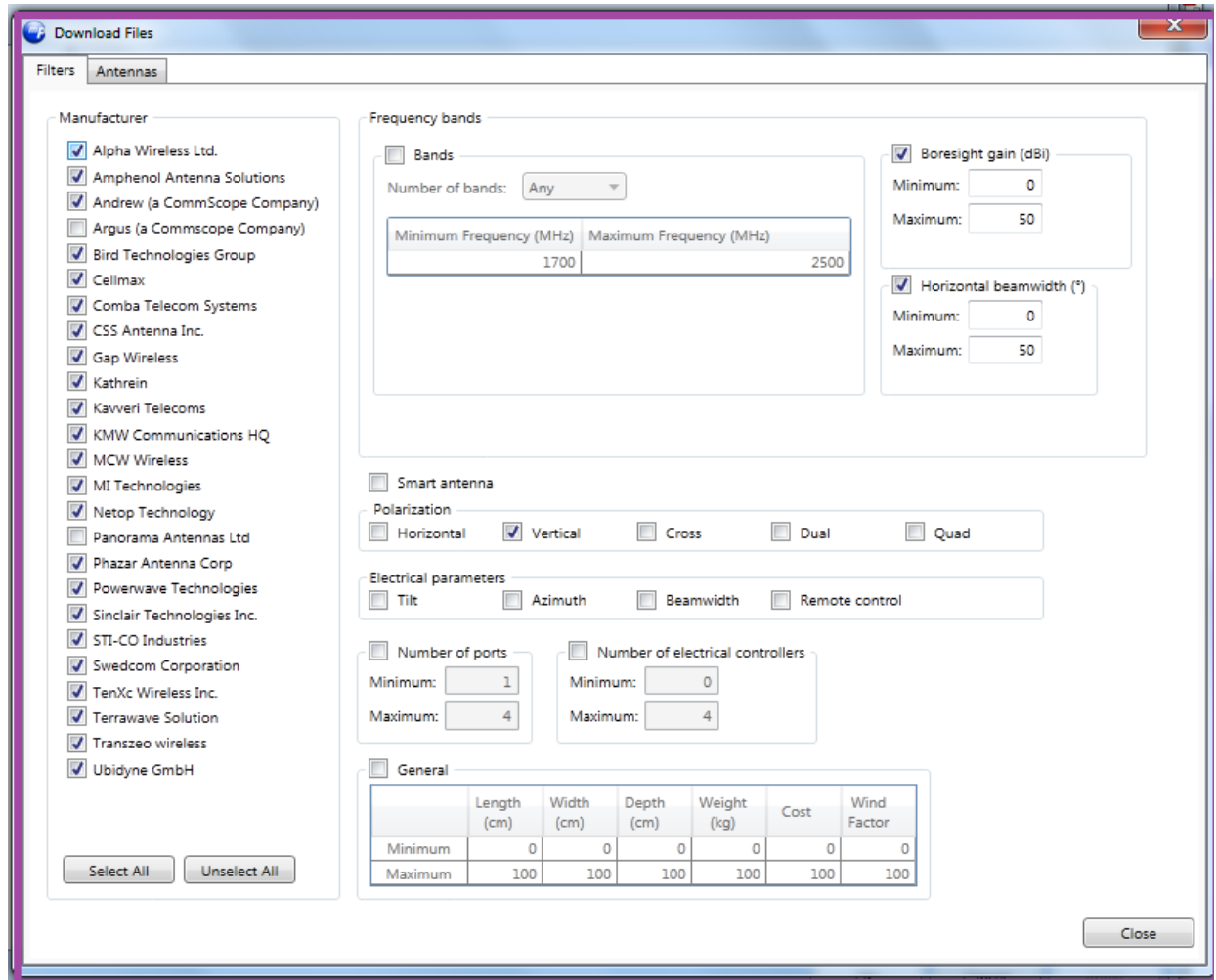
Fuente: Autor.

Seleccionando la opción “Open file” se ha de elegir la ubicación de un archivo de antena y luego se desplegarán las propiedades de dicha antena en el recuadro derecho.

Con la opción “Import file” se escriben las rutas de ubicación de los archivos de antenas que se desean agregar al proyecto.

Por último se encuentra la opción “Download files” con la que se pueden descargar los archivos de las diferentes antenas disponibles en el mercado. Luego de hacer click principal sobre la opción se desplegará la ventana que se muestra a continuación.

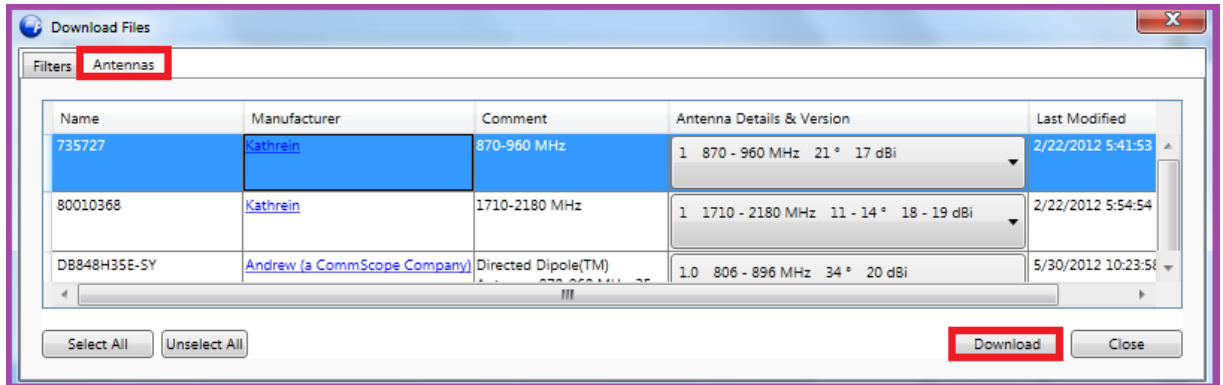
Figura 123. Captura 4.



Fuente: Autor.

En la ventana desplegada se aprecian dos pestañas: “Filters” y “Antennas”. La pestaña “Filters” permite filtrar la antena deseada dependiendo de sus parámetros propios, en el recuadro que se encuentra en la parte izquierda con el nombre “Manufacturer” se encuentran los diferentes proveedores disponibles y en los recuadros de la derecha se pueden apreciar los filtrados por las bandas de frecuencia, ganancia, polarización, Tilt, número de puertos y entre otros parámetros propios de la antena. En cuanto a la pestaña “Antennas”, en ella se mostrarán los resultados de la búsqueda como se muestra a continuación.

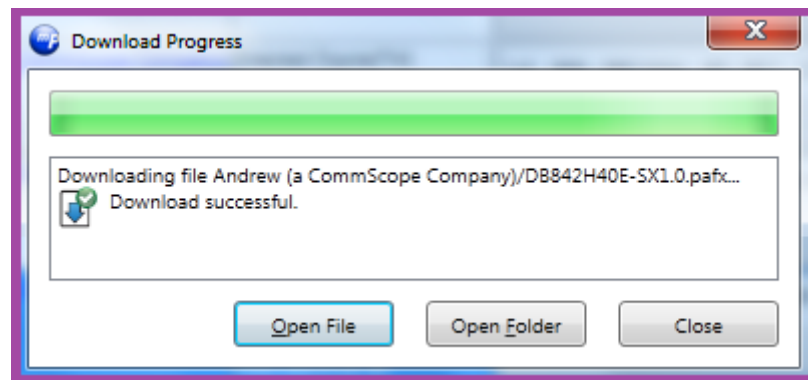
Figura 124. Captura 5.



Fuente: Autor.

Para descargar un archivo puntual se debe hacer click primario sobre él y con ello se habilitará el icono “Download” que se encuentra en la parte inferior derecha. Posterior a hacer click primario sobre el icono “Download” es necesario elegir la ubicación en donde serán almacenados los archivos y luego de hacerlo se desplegará una segunda ventana indicando que el proceso de descarga se realizó satisfactoriamente como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 125. Captura 6.



Fuente: Autor.

Luego de descargar el archivo la antena ya se encuentra disponible para su utilización en el proyecto.

3.7 Presentación de las plantillas de importación para redes móviles GSM y UMTS:

Las plantillas de importación de la herramienta de simulación usada “Mentum Planet 5.4” se deben desarrollar en formato .xls, que es el formato aceptado por Microsoft Excel 97 y 2003, dentro del archivo Excel deben existir hojas marcadas con nombres específicos y deben ser llenadas con los campos puntuales que exige la herramienta, se aclara que para cada tecnología se debe utilizar una plantilla de importación diferente.

Debido a que específicamente se desarrollarán simulaciones de cobertura sólo son necesarias algunas de las hojas y de los campos de la plantilla de importación, por lo que estos serán mostrados a continuación para las tecnologías GSM y WCDMA.

En el anexo 1 se encuentra la plantilla básica para tecnologías GSM y en el anexo 2 para tecnologías WCDMA.

3.7.1 Definición de los campos de la plantilla de importación necesarios para simulaciones de cobertura en redes GSM.

La plantilla de importación usada por la herramienta para simulaciones de cobertura de redes GSM se debe componer de las siguientes hojas:

- Sites
- Antennas
- Antenna_Electrical_Parameters
- Sectors
- Sector_Antennas
- GSM_Base_Stations
- GSM_Sectors

Los campos más relevantes de cada una de las hojas son:

- Hoja Sites: En esta hoja se especifican los nombres y ubicaciones de los sitios a importar, algunos de estos campos son:
 - Site ID: Este campo corresponde al identificador del sitio.
 - Longitude: Coordenada angular sobre el ecuador en la que se encuentra el sitio.
 - Latitude: coordenada angular en sentido norte al ecuador en la que se encuentra el sitio.

- Site Name: El nombre de un sitio comúnmente es establecido según el barrio en el que se encuentre, un ejemplo de ello es: (Estación Colseguros, Estación Prado, Estación chapinero).
- Site Name 2
- Hoja Antennas: En esta hoja se especifican las características correspondientes a las antenas, sus campos más relevantes son:
 - Site ID: Este campo corresponde al identificador del sitio.
 - Antenna ID: Este campo corresponde al identificador de las antenas de cada sector.
 - Longitude: Coordenada angular sobre el ecuador en la que se encuentra el sector.
 - Latitude: coordenada angular en sentido norte al ecuador en la que se encuentra el sector.
 - Antenna File: Este campo corresponde al nombre del archivo de antenas usado por un sector específico, se aclara que la extensión de estos nombres es .pafx y un ejemplo es "7419891.pafx", se aclara que las antenas son conocidas en el mercado con un nombre de proveedor y una referencia, un ejemplo de esto es: (Antenna Andrew PCS-09015-4D, Antenna Katherine K 742212).
 - Height (m): Corresponde a la altura de la torre en donde se encuentran las antenas.
 - Azimuth: la orientación con respecto a 0 grados que tiene una antena.
 - Mechanical Tilt: corresponde al ajuste de inclinación frente al plano vertical que se le hace a una antena. El Tilt se clasifica en DOWNTILT y UPTILT, el primero es el ajuste de inclinación dirigido al suelo y es comúnmente utilizado para ocupar áreas más pequeñas y reducir interferencias con las celdas adyacentes, mientras que el UPTILT es el ajustado en dirección al cielo, en ocasiones es utilizado para aumentar la zona de cobertura de un sector.
 - Twist: el twist es el ajuste de inclinación con respecto al eje horizontal. Es usado cuando existe una inclinación en el terreno o cuando hay un obstáculo.
 - Terrain Height (m): Este campo establece la altura del sitio sobre el nivel del mar.
 - Sectors: Número del sector.
- Hoja Antenna_Electrical_Parameters: en esta hoja se especifican los parámetros eléctricos de la antena, sus campos son:
 - Site ID.
 - Antenna ID.

- Electrical Controller: Corresponde a la banda en la que funciona la antena o el conjunto de frecuencias de operación.
 - Electrical Tilt: Alteración del ángulo de inclinación de lóbulo principal, mediante el cambio de fases de las señales en la antena.
 - Electrical Azimuth.
 - Electrical Beamwidth.
- Hoja Sectors: En esta hoja se especifican los parámetros de simulación para cada sector, algunos de sus campos son:
 - Site ID.
 - Sector ID: Identificador propio de un sector dentro de un sitio.
 - BTS Name: Establece la tecnología del sitio.
 - Technology: Establece la tecnología del sector.
 - Band Name: Establece la banda en la que se realizará la simulación.
 - Propagation Model: Establece el modelo de propagación usado por cada sector en una zona específica.
 - Distance (km): Extensión del radio de la simulación por sector.
- Hoja Sector_Antennas: En esta hoja se agregan parámetros propios del sector, dentro de ellos se encuentran:
 - Site ID.
 - Sector ID.
 - Antenna ID.
 - Horizontal Beamwidth: define en grados el ancho del haz de la antena en el plano X.
 - Vertical Beamwidth: Define en grados el ancho del haz de la antena en el plano Y.
 - Cable Length (m): El Feeder es una guía de onda que se proyecta desde el suelo hasta la parte superior de la torre, mediante esta se transporta la señal RF del módulo BTS a las antenas, lo que insinúa que a mayores distancias se producirá mayores pérdidas, por lo que en este campo es necesario agregar la distancia de esta guía.
- Hoja GSM_Base_Stations: Corresponde a los parámetros lógicos de cada uno de los sectores.
 - Site ID.
 - BTS Name.
 - MCC (Mobile Country code): Corresponde al código de identificación de un país.
 - MNC (Mobile Network code): Corresponde al código de identificación de un operador de telefonía móvil.

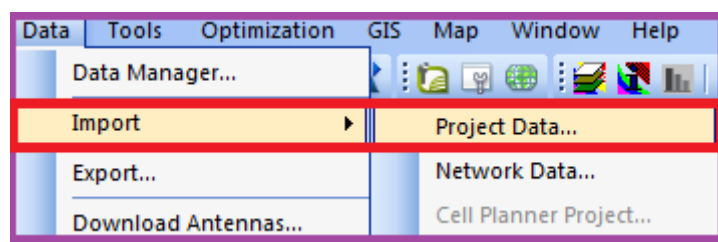
- BSC: Este campo corresponde a la estación controladora a la cual está asociada la estación base en redes 2G.
 - MSC: Este campo corresponde a la central de conmutación a la cual está asociada la estación base mediante la estación controladora.
- Hoja GSM_Sectors: Dentro de esta hoja los campos más relevantes para simulaciones de cobertura son:
 - Site ID
 - Sector ID
 - PA Power (dBm): La potencia depende directamente del transceptor asociado a la antena y se traduce como la intensidad de la señal transmitida.

3.8 Importación de las plantillas a la herramienta de simulación y de los posibles errores que ha de arrojar el software.

Luego de desarrollar las configuraciones básicas del proyecto se procede a la creación de los sitios, para ello es muy práctico el importar una plantilla de Excel que contenga la información de varios sitios para evitar crear manualmente uno a uno.

Para importar una plantilla es necesario seleccionar en el menú “Data” la opción “Import” y hacer click primario en la opción “Project Data” como se ve a continuación.

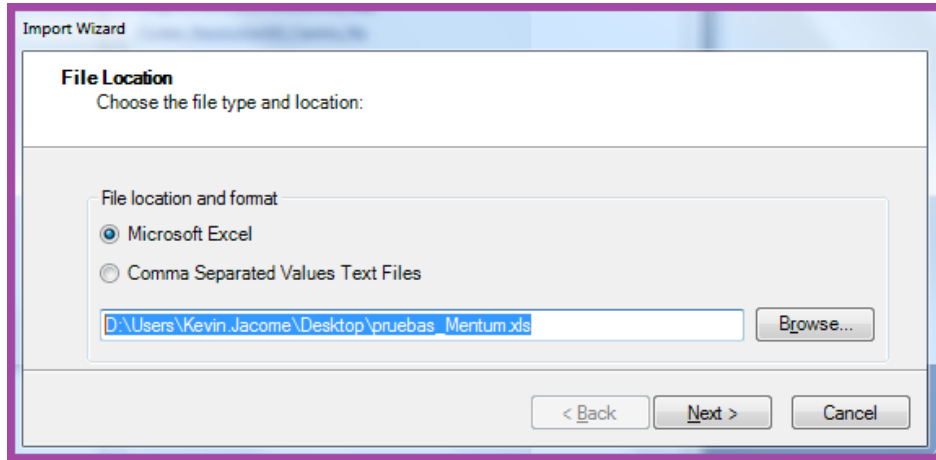
Figura 126. Captura 7.



Fuente: Autor.

Inmediatamente después de hacer click en la opción “Project Data” se desplegará una pestaña solicitando la ubicación en donde se encuentra la plantilla que se ha de importar.

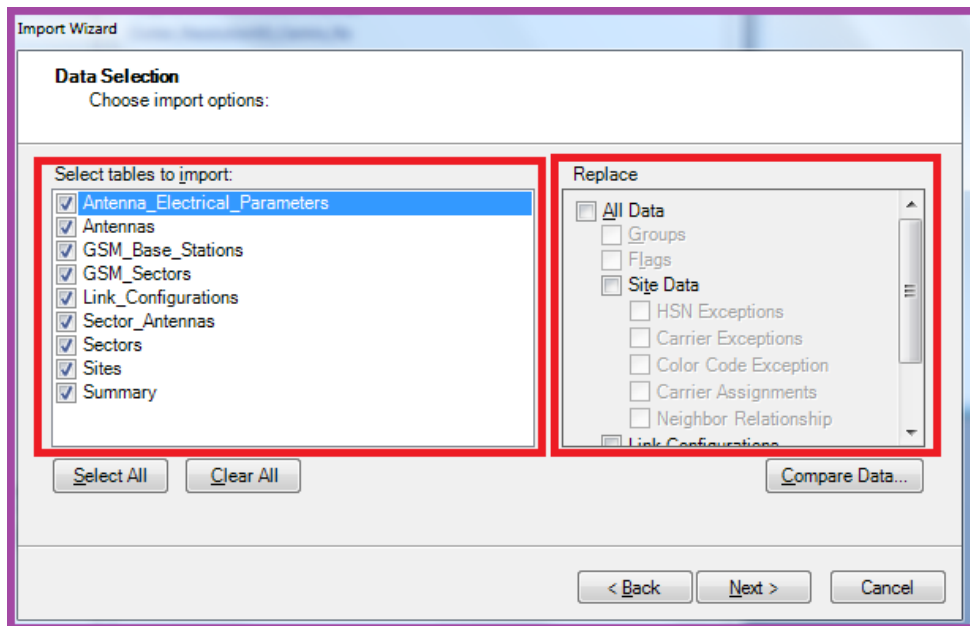
Figura 127. Captura 8.



Fuente: Autor.

Al seleccionar la ruta de la plantilla se hace click primario sobre el botón “Next” y con ello se desplegará una nueva ventana en donde se pueden seleccionar los datos de la plantilla que se desean importar.

Figura 128. Captura 9.



Fuente: Autor.

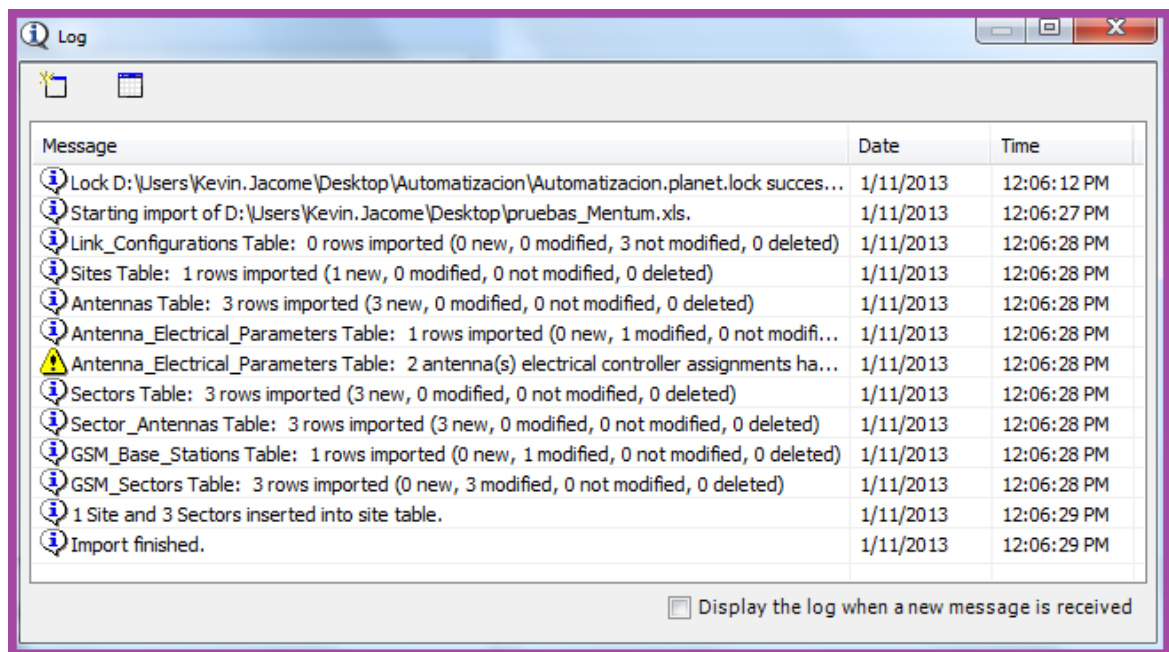
En la imagen recién mostrada se aprecian dos recuadros, el recuadro de la izquierda muestra las diferentes pestañas válidas que componen la plantilla de importación que se seleccionó y en el recuadro de la derecha se encuentran los parámetros que se desean modificar del proyecto. Es muy común habilitar la

modificación de todos los parámetros del proyecto y seleccionar todas las pestañas de la plantilla.

Luego de seleccionar las pestañas y los parámetros a modificar se debe hacer click primario sobre el botón “Next”.

Posterior al paso anterior se desplegará la ventana “Log” que indica el registro de eventos del sistema. En esta ventana se mostrará el resultado de la importación de la plantilla para cada una de las pestañas que la componen.

Figura 129. Captura 10.

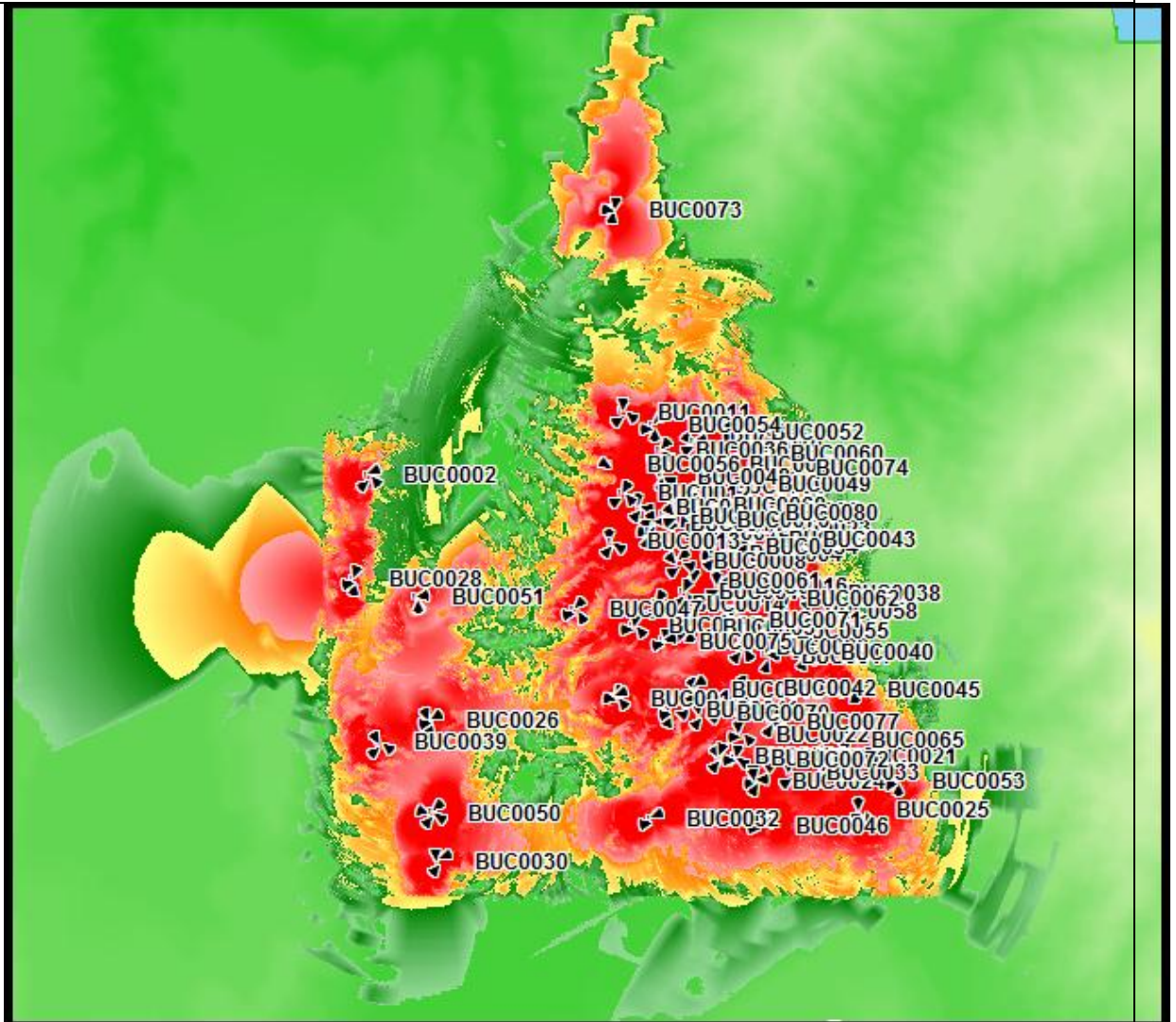


Fuente: Autor.

Para este caso puntual debido a que se trataba de un ejemplo con la plantilla de importación solo se agregó un sitio. En el “Log” se aprecia que el sitio con sus sectores fue agregado correctamente y en cuanto al signo de advertencia este trata de decir que no se le asignaron parámetros eléctricos a 2 de las 3 antenas usadas, esto se debe a que sólo a una de las antenas se le agregó un Tilt diferente y las otras 2 se deseaban dejar por defecto.

Diagrama de simulación del “Best Server Signal Strength”:

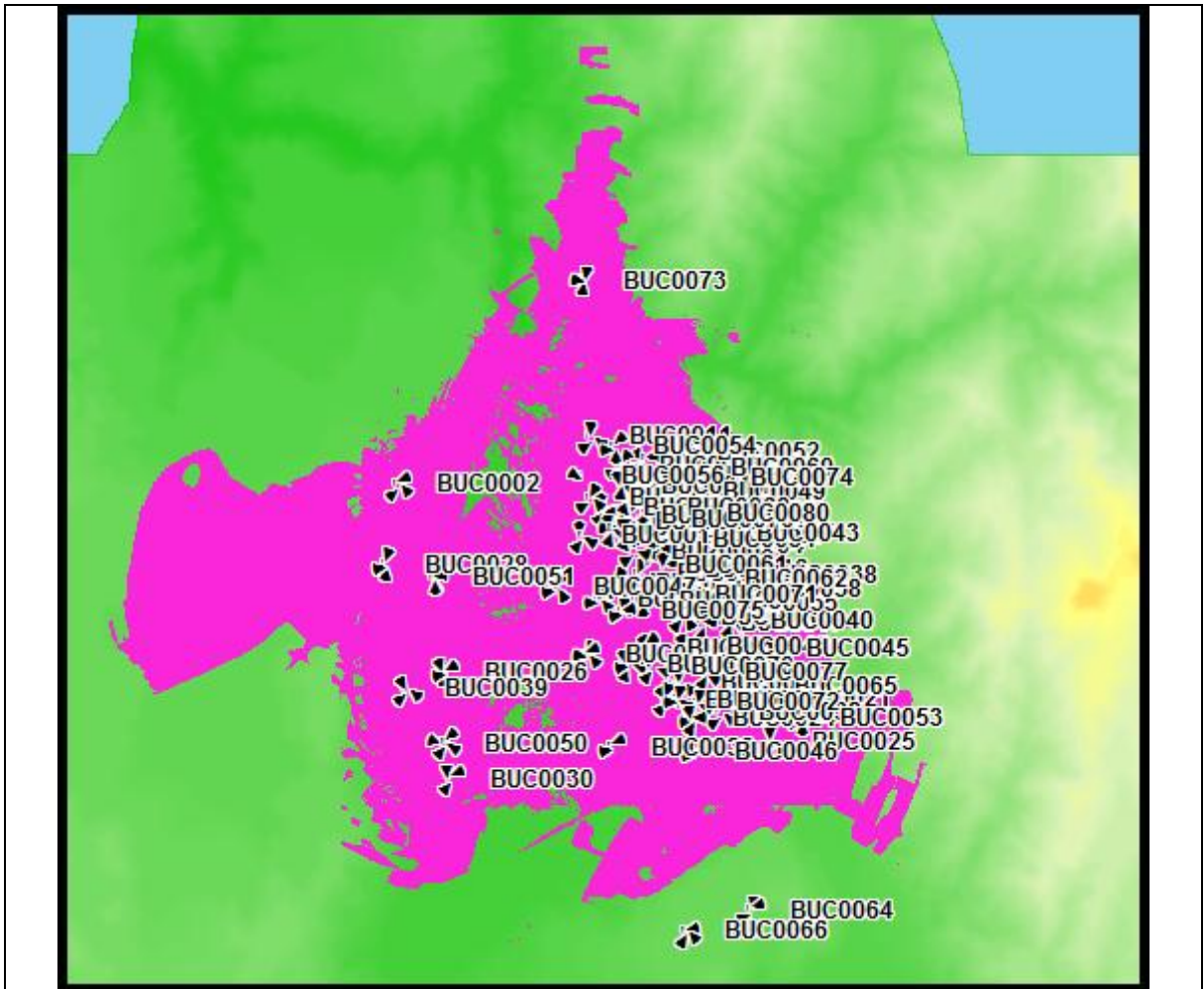
Figura 131. Captura 12.



Fuente: Autor.

Diagrama de simulación del “Composite service coverage”:

Figura 132. Captura 13.

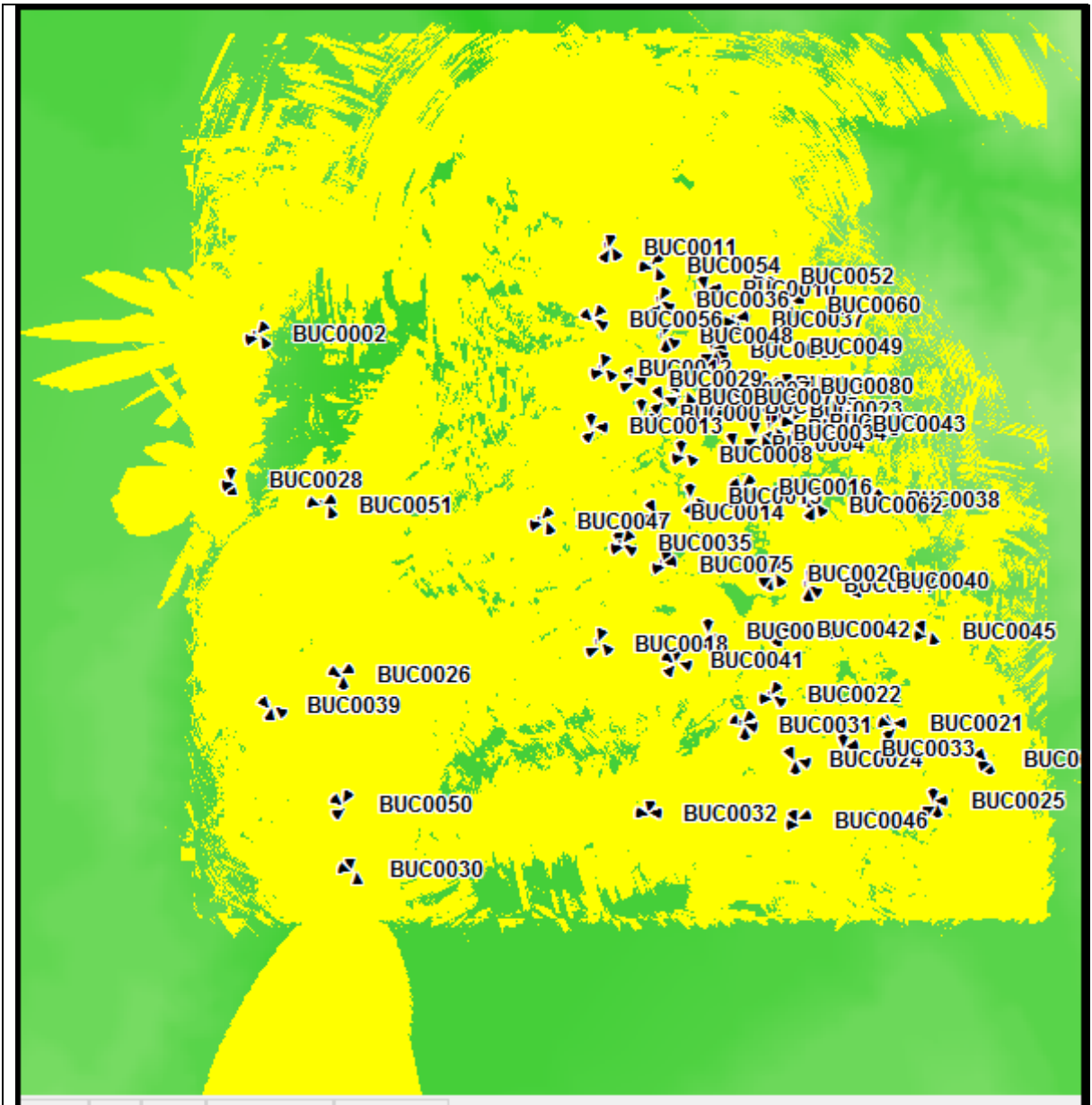


Fuente: Autor.

3.9.2 Resultados simulaciones de cobertura WCDM en Bucaramanga.

Figura 133. Captura 14.

CPICH- Coverage:



Fuente: Autor.

CPICH- Best Ec:

Figura 134. Captura 15.



Fuente: Autor.

CPICH-Best Server:

Figura 135. Captura 16.



Fuente: Autor.

Capítulo 4

Factor Humanista

4. FACTOR HUMANISTA

En la Universidad Santo Tomás, se forma a los estudiantes con una misión institucional, en la que la proyección social, es un aspecto importante en el desarrollo de todos los programas y todos los aspectos que rigen el futuro profesional de los mismos, de manera que sea en beneficio de ellos, siempre y cuando respondan de manera ética al comportamiento y al servicio que se preste a la comunidad.

Con esto presente, al indicar el factor humanista de este trabajo se puede decir que un operador de telefonía móvil utiliza los procesos de simulación de cobertura para dimensionar y planear su red, a su vez, si estas simulaciones no se llevan a cabo de la mejor manera, es posible que el operador sobre dimensione o sub dimensione su red, situaciones que en realidad terminan afectando a la población; pues por una parte, si el operador sobre dimensiona su red deberá asumir mayores gastos que en realidad serán cobrados directamente al usuario, quien para poder acceder a los servicios deberá pagar estos costos adicionales, además; si el operador en sus procesos de simulación sub dimensiona su red, es muy probable que deje áreas específicas del territorio nacional sin cobertura, por lo que los usuarios en estas regiones se verían afectados al no poder acceder al servicio de telefonía móvil.

El enfoque humanista de la Universidad Santo Tomás, brinda a los estudiantes los fundamentos teóricos referentes a las tecnologías existentes, así como su uso, manejo adecuado y aplicación hacia la parte humana; es así que al momento en que el estudiante inicia la etapa final de su formación, es decir, cuando realiza sus prácticas profesionales y realiza su proyecto de grado, evidencia cómo aquellos conocimientos contribuyen a desarrollar un proyecto que beneficia no sólo a un cliente, en este caso, un operador de telefonía celular, sino que va enfocado principalmente a los usuarios de ese cliente, quienes son personas que necesitan del servicio.

En este caso, un estudiante de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás, aplicó sus conocimientos técnicos y aprendió a buscar el beneficio de los demás, pero no sólo en cuanto a la planeación, el diseño, la implementación, la gestión y la optimización del manejo de tecnologías, sino tratando que cada uno de sus clientes sean tratados como personas, no sólo como quien da dinero y exige un servicio sino como alguien que necesita de él y que tiene el mismo derecho de recibir un servicio óptimo como todos los demás tienen ese derecho.

El manual de simulaciones de cobertura, que se desarrolló en este trabajo, evita que el servicio de telefonía móvil de un usuario se vea afectado, pues en el

manual se describe paso a paso como desarrollar simulaciones de cobertura de una manera óptima y a su vez, se dan las recomendaciones pertinentes para evitar posibles errores o resultados no valederos. Si el operador se rige con el manual es muy probable que estos procesos de simulación de cobertura de la red se realicen de la mejor manera, evitándole problemas y gastos adicionales al usuario o consumidor final.

Otro aspecto importante, del enfoque humanista de la Universidad Santo Tomás, se menciona en la visión institucional, en la que se dice que todos los servicios que se presten deben buscar un alcance colectivo; aún más si se influye sobre los procesos que afectan la vida nacional o de las comunidades regionales, por lo tanto, al crear este manual se busca el beneficio de todos los usuarios del servicio de telefonía móvil; ya que éste servicio es de cobertura nacional y es usado por todas las personas sin importar su estrato socioeconómico, su nivel educativo o el tipo de trabajo que tengan.

Es importante aclarar que el presente documento tiene un enfoque ético profesional en donde se vela por la calidad de los procesos de ingeniería. Para este caso puntual se tratan los procesos de simulación de cobertura de la red de un operador móvil y con el documento se pretende que estos procesos se realicen de la manera más idónea y honesta posible con el fin garantizar que los resultados obtenidos sean de calidad y representen la realidad del operador de la telefonía móvil.

Con lo explicado anteriormente, lo que se busca con el manual de simulaciones de cobertura, es que nunca se perjudique al usuario, ya que él paga por un sistema eficiente, eficaz y oportuno; por consiguiente, tiene derecho a recibir un servicio que le permita comunicación constante y en donde lo requiera y es obligación del operador cumplir con este deber. Al brindar este manual que diseñamos, el operador tiene herramientas suficientes para poder satisfacer las necesidades de sus usuarios, sin generar gastos adicionales.

5. CONCLUSIONES

Dependiendo de la finalidad con la que se utilice la herramienta de simulación es necesario que las predicciones sean más o menos exactas, para ello los parámetros más relevantes que se deben tener en cuenta son la resolución de los archivos de alturas y clutter y el grado de exactitud de las respuestas del modelo de propagación con respecto a una zona específica. Se aclara que para el desarrollo de simulaciones dentro del proceso de planificación de red se necesitan predicciones de alta exactitud lo que se traduce en la utilización de una mayor resolución que represente la mayor cantidad de cambios del entorno, y por otro lado es necesaria la utilización de un modelo de propagación que se adecue en gran medida a la zona específica en donde se llevara a cabo la simulación.

En la realización de simulaciones de cobertura para un operador de telefonía móvil los modelos de propagación utilizados se basaban en el modelo OKUMURA-HATA, se apreció que estos modelos de propagación tienen la problemática de generalizar obstáculos, impidiendo la completa caracterización de los medios en que se transmite la señal, por tanto para la generación de predicciones de mayor exactitud es necesaria la utilización de modelos de propagación deterministas que tengan en cuenta cada uno de los objetos presentes en el medio, en cuanto a la herramienta puntual se recomienda utilizar el modelo de propagación UNIVERSAL MODEL.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Universidad Industrial de Santander (Colombia). Contexto Dentro De Los Sistemas De Comunicación Inalámbricos,” 11-01-2012. [Online]. Available: http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca_virtual/radiopropagacion.
- [2] R. Electronics, “Path Loss,” 11-01-2012, 2012. [Online]. Available: <http://www.radio-electronics.com/>.
- [3] F. Belloni, “Physical Layer Methods In Wireless Communication Systems,” Helsinki University of Technology, 2004.
- [4] N. Srivastava, “Diversity Schemes For Wireless Communication- A Short Review,” Institute of Engineering & Technology, 2010.
- [5] H. Hourani, “An Overview of Diversity Techniques in Wireless Communication Systems,” Helsinki University of Technology, 2005.
- [6] M. Flament and M. Unbehaun, “Impact of shadow fading in a mm-wave band wireless network.”
- [7] R. J. Espinoza, “Modelos de Propagación Para Sistema Móviles,” 2009.
- [8] J. C. García, O. A. Rodríguez, and J. L. Castillo, “Desempeño de Modelos de Propagación en Comunicación Móvil para la zona de Caldas Parte 1: Modelos para áreas urbanas,” Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- [9] H. C. Polo, *Redes Móviles Celulares*. 2012, pp. 26–120.
- [10] E. R. Veiga, *Telecomunicaciones Móviles*. .
- [11] “Tipo de Antenas Para Comunicaciones,” 2012. [Online]. Available: <http://es.scribd.com/doc/14821394/Tipos-de-torres-para-Comunicaciones-Microwavwe-and-antennae-towers>.
- [12] E. F. Pérez, *Consideraciones Técnicas y Fundamentos Contra Descargas Electroatmosféricas y Pulsaciones Electrmagnéticas Para una Radio Base*. 2012.
- [13] J. R. Balselles, “Diseño De Una Estructura Para Dar Cobertura De telefonía Móvil 2G y 3G En El Interior De Una Línea de Metro.,” 2012.

[14] O. S. Roig, J. L. V. González, and R. A. Come, *Principios De Comunicaciones Móviles*, vol. 3. 2012.

[15] P. Mentum, *Mentum Planet User Guide*, Versión 5. 2012.

