

# **ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y COBERTURA DE UNA RED MÓVIL LTE PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN**



## **Anexos**

**Pablo Esteban Díaz Molina**

**Paula Andrea Urbano Molano**

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones**

**Departamento de Telecomunicaciones**

**Grupo de Radio e Inalámbricas-GRIAL**

**Línea de Investigación Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados  
en Radio**

Popayán, 2012

# **ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y COBERTURA DE UNA RED MÓVIL LTE PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN**



## **ANEXOS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título  
de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Pablo Esteban Díaz Molina**

**Paula Andrea Urbano Molano**

Director

MSc. Víctor Manuel Quintero Flórez

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones**

**Departamento de Telecomunicaciones**

**Grupo de Radio e Inalámbricas-GRIAL**

**Línea de Investigación Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados  
en Radio**

Popayán, 2012



## CONTENIDO

<b>ANEXO A. MANUAL PARA EL MANEJO BÁSICO DE ATOLL.....</b>	<b>1</b>
<b>A.2. CREACIÓN DEL ENTORNO .....</b>	<b>1</b>
<b>A.3 CREACIÓN DE ESTACIONES BASE.....</b>	<b>2</b>
<b>A.4 HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN UN PUNTO DE RECEPCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>A.5 PREDICCIONES DE COBERTURA LTE .....</b>	<b>5</b>
<b>A.6 PLANEACIÓN DE FRECUENCIAS.....</b>	<b>6</b>
<b>A.7 ANÁLISIS DE CAPACIDAD .....</b>	<b>8</b>
<b>ANEXO B. RESULTADOS ADICIONALES .....</b>	<b>12</b>
<b>B.1 ESCENARIO 1 DL.....</b>	<b>12</b>
B.1.2 Mejor portadora DL para el canal EVA .....	13
<b>B.2 ESCENARIO1 UL.....</b>	<b>15</b>
B.2.1 Mejor portadora UL para los canales EVA 70HZ y EPA 5HZ .....	15
<b>B.3 PREDICCIÓN POR MEJOR PORTADORA EN DL PARA EL SITIO 3 CRUCES ..</b>	<b>17</b>
<b>B.4 EFECTO DE UN <i>TILT</i> DE 14° PARA LA BANDA DE 925 MHZ EN EL DL .....</b>	<b>17</b>
<b>B.5 EFECTO DE UN LA IMPLEMETACIÓN DE DIVERSIDAD CON MIMO 4X4.....</b>	<b>18</b>
<b>B.6 TRÁFICO DE LA RED MÓVIL LTE SEGÚN EL SERVICIO .....</b>	<b>19</b>



## LISTADO DE FIGURAS

Figura A.1 Plantillas para la creación del proyecto .....	1
Figura A.2 Sistema de Coordenadas .....	2
Figura A.3 Barra de herramientas .....	3
Figura A.4 Propiedades de la plantilla .....	3
Figura A.5 Propiedades de la funcionalidad “análisis en un punto de recepción” ....	5
Figura A.6 Niveles de señal provenientes de los distintos transmisores .....	5
Figura A.7 Tipos de predicciones de cobertura .....	6
Figura A.8 Asignación de Frecuencias Automática .....	7
Figura A.9 Selección de la simulación objetivo .....	10
Figura A.10 Compromiso de los resultados de tráfico .....	11
Figura B.1 RLB para 64QAM 3/4 .....	12
Figura B.2 RLB para 16QAM 1/2 .....	13
Figura B.3 RLB para QPSK 1/3 .....	13
Figura B.4 RLB para 64QAM 3/4 .....	14
Figura B.5 RLB para 16QAM 1/2 .....	14
Figura B.6 RLB para QPSK 1/3 .....	15
Figura B.7 Cobertura UL para el canal EVA 70Hz.....	16
Figura B.8 Cobertura UL para el canal EPA 5Hz.....	16
Figura B.9 Cobertura del sitio 3 cruces.....	17
Figura B.10 Predicción de cobertura DL para un <i>tilt</i> igual a 14°.....	18
Figura B.11 Predicción de cobertura para diversidad en transmisión 4x4.....	18



## ANEXO A. MANUAL PARA EL MANEJO BÁSICO DE ATOLL

Este anexo corresponde a un manual para el manejo del software de planeación y optimización RF Atoll, es importante resaltar que este manual cuenta solamente con los pasos básicos para la creación de una determinada red y su posterior análisis de cobertura y capacidad. Este manual no aborda las múltiples configuraciones avanzadas que es posible realizar en esta herramienta.

### A.1 CREACIÓN DEL PROYECTO

Atoll soporta diversas tecnologías para la planeación de redes entre las cuales se encuentran GSM GPRS, UMTS HSPA, WiMAX, LTE, entre otras. Cuando se inicia un proyecto, Atoll se basa en plantillas que contienen toda la información necesaria de la tecnología que se desea implementar.

Para crear un nuevo proyecto basándose en una plantilla existente se realizan los siguientes pasos:

1. Seleccionar la pestaña *file* -> *new*

Aparece la siguiente ventana en donde se selecciona la plantilla que se desee:

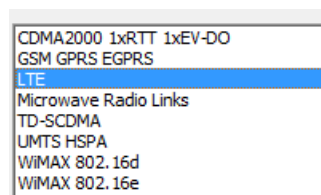


Figura A.1 Plantillas para la creación del proyecto

### A.2. CREACIÓN DEL ENTORNO

Una vez creado el proyecto, se deben importar mapas que contengan información tanto de altitudes como de tipos de terreno (*Clutter Classes*) y si se desea mejorar el entorno es posible importar mapas de la malla vial y/o imágenes satelitales, estos últimos no son considerados por la herramienta para obtener las predicciones. Además, para mejorar las predicciones de la herramienta también se



pueden importar mapas de altura de *clutter*, sin embargo, estos últimos solamente son considerados por el modelo de propagación estándar y el WLL.

Después de importar los mapas requeridos para la creación del entorno de trabajo se debe acoplar las coordenadas geográficas al mismo de la siguiente manera:

1. Clic en la pestaña *tools* → *options*
2. El siguiente recuadro aparece

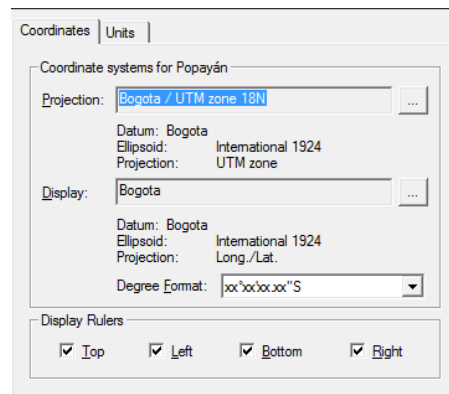


Figura A.2 Sistema de Coordenadas

3. Seleccionar el sistema de coordenadas más acorde al terreno.

### A.3 CREACIÓN DE ESTACIONES BASE


Cuando se crea un sitio, Atoll crea únicamente el punto geográfico, para crear la estación base se debe agregar los transmisores y las celdas después de la creación del sitio.

En Atoll es posible crear una o más estaciones base que compartan las mismas características utilizando las plantillas que la herramienta trae por defecto, de esta manera es posible crear una red rápidamente al ubicar varias estaciones base con parámetros uniformes utilizando una sola plantilla. Para utilizar las plantillas que la herramienta trae por defecto se siguen los siguientes pasos:

1. En la barra de herramientas se selecciona una plantilla de la lista según sus necesidades.



Figura A.3 Barra de herramientas

2. Clic en el ícono “nuevo  transmisor” en la barra de herramientas y ubíquelo en el mapa.

En Atoll es posible modificar las plantillas por defecto si se requiere o también borrar o agregar una plantilla.

1. En la misma barra de herramientas, en la parte inferior, seleccione *Manage Templates* y en la nueva ventana puede elegir crear o modificar una plantilla.

2. Debe ingresar o modificar datos en las propiedades de la plantilla, como se muestra en la figura entre los cuales están: nombre de la plantilla, número de sectores, radio de la celda, el tipo de transmisor, entre otros.

Name: 10 MHz - Urban (3 sectors)

Sectors: 3 Hexagon Radius: 312 m

Transmitter Type: Intra-network (Server and Interferer)

Antennas

Height/Ground: 30 m

Main Antenna

Model: 65deg 18dBi 0Tilt 2100MHz

1st Sector Azimuth: 0° Mechanical Downtilt: 0°

Additional Electrical Downtilt: 0°

Number of Antenna Ports

Transmission: 2 Reception: 2

Propagation

Main Matrix

Propagation Model: Cost-Hata

Radius: 6,000 m

Resolution: 50 m

Extended Matrix

Propagation Model: (none)


Radius: m

Resolution: m

Figura A.4 Propiedades de la plantilla



3. Clic en aceptar.
4. Clic en el ícono “nuevo transmisor” para ubicar la nueva estación base.


Nota: Es importante revisar que todos los transmisores a tener en cuenta en la simulación estén activos, los transmisores en este estado se  representan con un ícono rojo en la carpeta de *transmitters* en la ventana *explorer* (parte izquierda de la pantalla).

#### A.4 HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN UN PUNTO DE RECEPCIÓN

Utilizando Atoll es posible realizar análisis para estudiar la recepción que se da entre un transmisor de referencia y un usuario. Antes de realizar cualquier estudio es necesario asignar al sistema un modelo de propagación ya que este tiene en cuenta el radio de la celda y los datos geográficos del terreno para realizar los cálculos de las pérdidas por trayecto. Utilizando esta herramienta es posible predecir el comportamiento del DL en cualquier punto del mapa.

Esta funcionalidad muestra el valor la fuerza de la señal que llega al receptor desde el transmisor referencia, el modelo de propagación utilizado, la distancia entre el transmisor y el receptor, el cálculo del DL, entre otros. Además, es posible observar si hay línea de vista entre el transmisor y el receptor o si existen obstáculos entre ellos, si esto último sucede la herramienta muestra, representadas por una línea vertical roja, la atenuación con difracción que estos obstáculos causarían.

Para utilizar esta funcionalidad se siguen los siguientes pasos:

1. Seleccione el transmisor desde el que se desea realizar el análisis.
2. En la barra de herramientas seleccione el ícono “análisis en un punto  de recepción”, en donde este último representa al receptor.
3. Ubique el receptor en donde desee.
4. Aparece la siguiente ventana en donde se muestran los resultados descritos anteriormente.



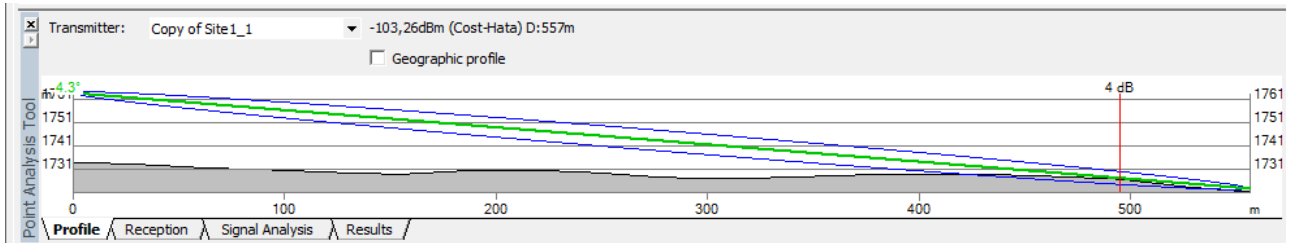


Figura A.5 Propiedades de la funcionalidad “análisis en un punto de recepción”

5. En la pestaña *Reception* se pueden observar los niveles de señal que llegan desde los diferentes transmisores al receptor.

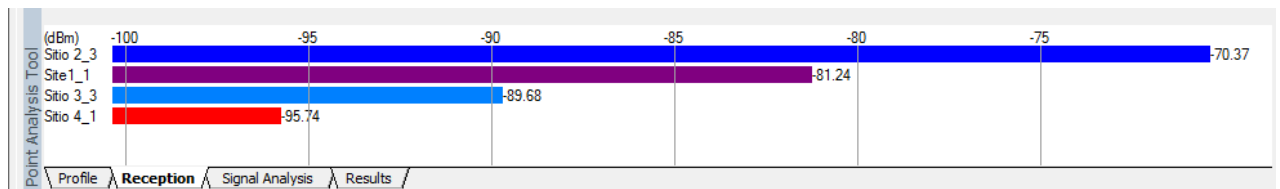


Figura A.6 Niveles de señal provenientes de los distintos transmisores

## A.5 PREDICCIONES DE COBERTURA LTE

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

- ✓ Nivel de la señal de referencia desde las celdas
- ✓ Nivel de la señal de referencia efectiva
- ✓ Portadora radio
- ✓ *Throughput*
- ✓ Valores de C/I+N para los niveles de señal de referencia
- ✓ Nivel de la señal efectiva para los canales PDSCH/PDCCH y PUSCH/PUCCH

Antes de calcular cualquier predicción por cobertura, Atoll primero verifica la validez de las pérdidas por trayecto y si desea puede revisar si estas son válidas, en caso de que no lo sean, Atoll muestra la razón de invalidez de las mismas.



Para calcular estas pérdidas se selecciona el botón antes de seguir con los siguientes pasos.



Para calcular y desplegar las predicciones de cobertura se siguen los siguientes pasos:

1. Clic derecho en la carpeta *predictions*, ubicada en la ventana *explorer* (parte izquierda de la pantalla).
2. Seleccione la opción *new*.
3. La siguiente ventana aparece.

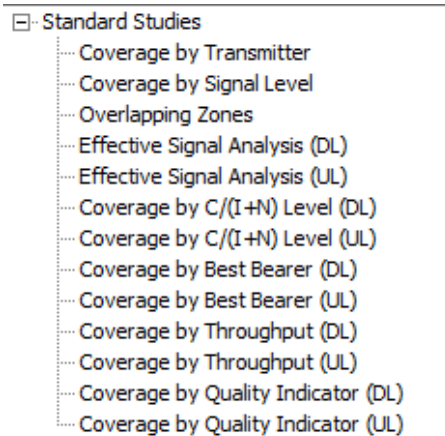


Figura A.7 Tipos de predicciones de cobertura

4. Elegir el tipo de predicción deseado.
5. Clic Ok
6. Dependiendo del tipo de predicción que elija aparecerán distintas opciones de configuración que deberá cambiar según sus necesidades. Entre estos parámetros a tener en cuenta están: tipo de terminal, movilidad, tipo de servicio, nivel de la señal en dBm y resolución (entre menor sea la resolución que se elija mejor será la calidad de los gráficos pero le tomará más tiempo a la herramienta en obtenerlos).

## A.6 PLANEACIÓN DE FRECUENCIAS

Atoll permite asignar bandas de frecuencia y números de canal a cada celda de forma manual o también es posible utilizar la funcionalidad planeación de



frecuencia automática que trae consigo Atoll. Esta funcionalidad permite minimizar la interferencia inter-celdas fácilmente y para utilizarla se realizan lo siguiente:

1. Ubíquese en la pestaña *Data Tab* en la ventana *explorer*.
2. Clic derecho en la carpeta *Transmitters*.
3. Seleccione la opción *cells* -> *frequency plan* -> *Automatic Allocation*
4. La siguiente ventana aparece

Site	Transmitter	Name	Initial Channel Number	CI
Copy of Sitio 4	Copy of Sitio 4_1	Copy of	2	
Copy of Sitio 4	Copy of Sitio 4_2	Copy of	4	
Copy of Sitio 4	Copy of Sitio 4_3	Copy of	0	
Site1	Site1_1	Site1_1 (	2	
Site1	Site1_2	Site1_2 (	0	
Site1	Site1_3	Site1_3 (	0	
Sitio 2	Sitio 2_1	Sitio 2_1	2	
Sitio 2	Sitio 2_2	Sitio 2_2	4	
Sitio 2	Sitio 2_3	Sitio 2_3	0	

Figura A.8 Asignación de Frecuencias Automática

5. La asignación de frecuencias automática en Atoll tiene en cuenta parámetros como: las matrices de interferencia, la mínima distancia de reuso y cualquier limitación que sean impuestas por los eNodeBs vecinos. Para que la herramienta tenga en cuenta las matrices de interferencia se debe ingresar un margen de calidad y seleccionar calcular para que el botón *take into account* se active, el parámetro margen de calidad indica la fuerza que puede llegar a tener el interferente, por ejemplo, si este parámetro es 3 dB implica que el interferente causa el doble de interferencia comparado con un cálculo realizado con 0 dB. En



síntesis, un margen de calidad mayor degrada la relación  $C/(I+N)$  y por ende desmejora el alcance de la señal.

## A.7 ANÁLISIS DE CAPACIDAD

Atoll permite analizar la capacidad de la red mediante la distribución aleatoria de los usuarios en un área determinada. Basándose en la distribución, Atoll calcula diversos parámetros como el *throughput* de los usuarios, de la celda y del canal, el número de usuarios activos en el UL, DL o UL + DL (dependiendo del caso), usuarios sin servicio, entre otros.

Antes de realizar este tipo de simulaciones es necesario modelar los usuarios y los servicios, es decir, importar o crear la información de tráfico en forma de mapas o listas de suscriptores. Existen 3 tipos de mapas de tráfico, los cuales pueden ser creados de la siguiente manera:

1. Seleccione la pestaña *Explorer*.
2. Clic derecho en la carpeta *traffic* -> *New Map*.
3. Seleccione el mapa de tráfico que desee: mapa por sector, mapa por perfil de usuario o mapa por densidad de usuario.


Cada uno de estos tipos de mapas cuenta con 2 o más opciones para crearlos:

- Mapa por sector: Dependiendo de los datos que se tengan, es posible crear este tipo de mapa ingresando, para cada sector, ya sea datos de *throughput* o número de usuarios por servicio para el UL, DL y/o UL + DL.
- Mapa por perfil de usuario: Al igual que el anterior, existen 2 opciones para crear este tipo de mapas: por entornos de perfil de usuario y por densidad de perfil de usuario.
- Mapa por densidad de usuario: Es posible crear este tipo de mapa ingresando el porcentaje de usuarios que utilizarán determinado servicio, determinada movilidad y determinado dispositivo terminal, ya sea para el UL, DL o DL + UL.

Después de crear el mapa por densidad de usuarios es necesario dibujar el área en la cual se distribuirán los mismos.

1. Clic derecho en la sub-carpeta de *traffic*, seleccione editar.



2. En la barra de herramientas seleccione  el ícono
3. Dibuje el área en la que desea distribuir los usuarios.
4. Clic derecho en la carpeta *Density Values* que se encuentra en la carpeta del mapa creado.
5. Clic en la opción *Open Table*.
6. Ingrese el o los valores de la densidad de tráfico para cada mapa que dibujó anteriormente.

Una vez creado el mapa de tráfico deseado, se pueden crear las simulaciones para observar la capacidad de la red. Para este fin se deben seguir los siguientes pasos:

1. Clic derecho en *LTE Simulations -> New*
2. Se muestra la ventana de las simulaciones para observar la capacidad del sistema, en estas ventanas se deben ingresar los datos de simulación, es decir, en la primera pestaña se ingresa el número de simulaciones que se desean realizar, en la segunda se selecciona el mapa con el que se quiere realizar la simulación (si existe más de un mapa de tráfico creado).
3. En la tercera pestaña se encuentran las configuraciones avanzadas de la simulación, las cuales se dividen en:
  - Número de iteraciones y umbrales de convergencia: En este campo se debe ingresar el número máximo de iteraciones que Atoll llevará a cabo. La herramienta no siempre alcanza el máximo número de iteraciones ya que utiliza un criterio de convergencia basado en el umbral de volumen de tráfico por iteración, por ejemplo, si este umbral se establece como el 0.2% los resultados de la simulación convergerán cuando la diferencia del volumen de tráfico entre iteraciones sea del 0.2% y cuando la diferencia del aumento del ruido en UL entre iteraciones sea de 1 dB. En este orden de ideas, en varias ocasiones, el criterio de convergencia mencionado se cumple mucho antes de llegar al máximo número de iteraciones ingresado y la herramienta da por terminada la simulación.
  - Generador de inicialización: En este campo se ingresa el 0 si se quiere que la distribución de los usuarios sean siempre aleatorios, por el contrario, si se desea comparar resultados se ingresa un número entero para identificar los grupos de simulaciones a comparar.



Una vez finalizado el proceso de distribución de usuarios y generada toda la información de tráfico concerniente a esa distribución, es posible realizar predicciones de cobertura basados en dicha información. Esto con el fin de establecer un balance óptimo entre capacidad y cobertura, haciendo que los resultados sean lo más reales posibles. Atoll permite llevar a cabo esta tarea a través de la función “*commit*”.

Cada simulación de tráfico LTE realizada por la herramienta, dentro de sus tablas resumen de tráfico, tienen la posibilidad de “comprometer” dichos resultados para que en base a ellos se realicen las respectivas predicciones de cobertura. A continuación se muestra el proceso de compromiso entre capacidad y cobertura en Atoll 2.8.0

1. Ingrese al grupo de simulaciones de interés y seleccione la simulación que se considera tiene la información de acuerdo a los datos ingresados.

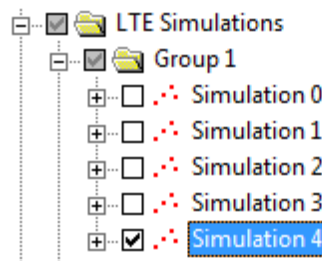


Figura A.9 Selección de la simulación objetivo

2. Ingrese a la simulación objetivo, en donde encontrará el resumen de tráfico propio a esa simulación y seleccione la pestaña “*Cells*”.
3. Una vez ubicado en la información de tráfico por celda, proceda a darle clic en el botón “*Commit Results*” ubicado en la parte inferior izquierda de la ventana.



Site	Transmitter	Name	Traffic Load (DL) (%)	Traffic Load (UL) (%)	UL Noise Rise (dB)
ciudad jardín	ciudad jardín_1	ciudad jar	50	48,35	0,09
ciudad jardín	ciudad jardín_2	ciudad jar	50	50	0,34
ciudad jardín	ciudad jardín_3	ciudad jar	50	50	0,28
Coliseo	Coliseo_1	Coliseo_1	50	49,91	2,51
Coliseo	Coliseo_2	Coliseo_2	50	50	9,73
Coliseo	Coliseo_3	Coliseo_3	50	50	0,37
Empaques	Empaques_1	Empaque	50	50	0,33
Empaques	Empaques_2	Empaque	50	50	0,46
Empaques	Empaques_3	Empaque	20,85	42,55	0,06
Esmeralda	Esmeralda_1	Esmerald	50	50	0,21
Esmeralda	Esmeralda_2	Esmerald	50	26,7	0,12
Esmeralda	Esmeralda_3	Esmerald	39,27	31,73	0

Commit Results

Figura A.10 Compromiso de los resultados de tráfico

- Una vez pulse la opción “Commit Results”, se procede a realizar la predicción de cobertura que se desee, tal como se mostró en la sección A.5
- Seleccionada la predicción de cobertura de interés, ingrese a las propiedades de la misma seleccionando la pestaña “Condition”.
- Una vez ubicado en “Condition”, se procede a seleccionar la simulación de tráfico de interés dentro de la opción “Load Conditions” con el fin de cargar dentro de las celdas de la red, la información de tráfico propia de la simulación elegida.

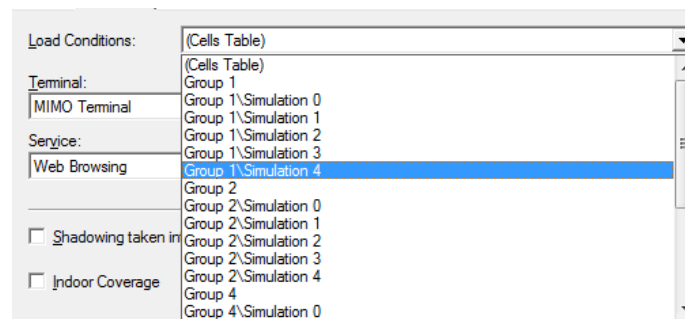


Figura A.11 Predicción de cobertura con base en información de tráfico.

- Pulse “Aceptar” para realizar una predicción de cobertura con base en información de tráfico.



## ANEXO B. RESULTADOS ADICIONALES

Este anexo presenta diferentes procedimientos y pruebas realizados en Atoll que sirven como complemento al trabajo de grado. Las diferentes pruebas realizadas en esta sección tienen como objetivo mostrar, soportar y comprobar la información descrita en distintos apartados del documento principal.

### B.1 ESCENARIO 1 DL

Este apartado muestra los resultados, obtenidos para el DL, del balance del enlace al igual que el nivel de señal en recepción para un UE situado en el borde de los alcances de cada portadora asociada a un determinado MCS. Este procedimiento se realizó para las portadoras 64QAM 3/4, 16QAM 1/2 y QPSK 1/3 utilizando la herramienta “*Point Analysis Tool*”. Vale la pena resaltar que el balance del enlace arroja valiosa información de enlace como: Transmisor asociado al UE, coordenada del receptor, distancia entre transmisor y UE, potencia de transmisión del eNodeB y pérdidas de trayecto, entre otras.

**B.1.1 Mejor portadora DL para el canal AWGN** Los resultados obtenidos para las 3 portadoras tuvieron en cuenta el canal AWGN utilizando la predicción de cobertura por mejor portadora en el DL, tal como se muestra a continuación:

- **64QAM3/4**

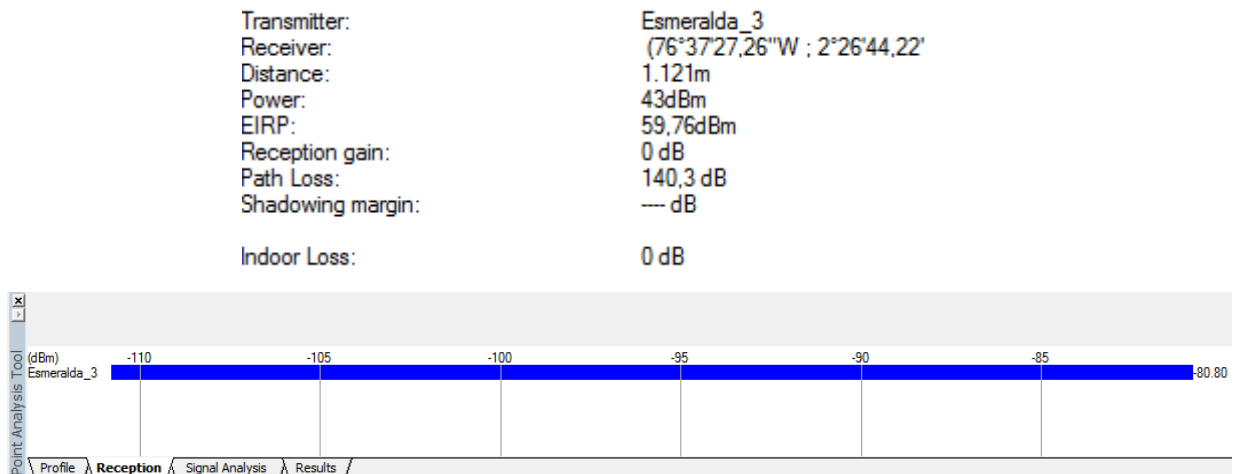


Figura B.1 RLB para 64QAM 3/4





- **16QAM1/2**

Transmitter: Esmeralda\_3  
Receiver: (76°37'48,74"W ; 2°26'57,25'  
Distance: 1.858m  
Power: 43dBm  
EIRP: 59,76dBm  
Reception gain: 0 dB  
Path Loss: 148,67 dB  
Shadowing margin: --- dB  
  
Indoor Loss: 0 dB

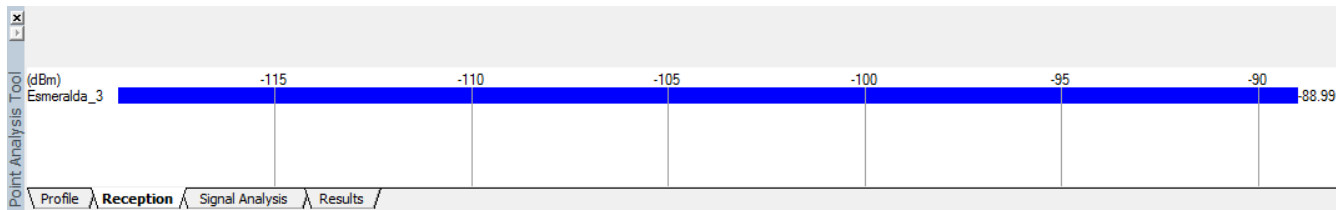


Figura B.2 RLB para 16QAM 1/2

- **QPSK1/3**

Transmitter: Esmeralda\_3  
Receiver: (76°38'30,11"W ; 2°27'6,74"  
Distance: 3.167m  
Power: 43dBm  
EIRP: 59,76dBm  
Reception gain: 0 dB  
Path Loss: 156,88 dB  
Shadowing margin: --- dB  
  
Indoor Loss: 0 dB

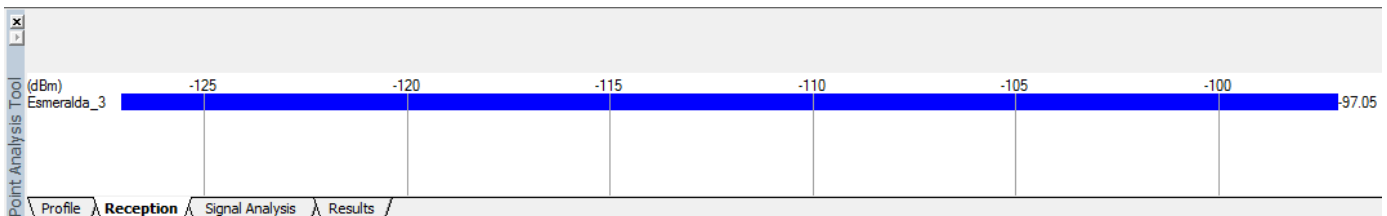


Figura B.3 RLB para QPSK 1/3

**B.1.2 Mejor portadora DL para el canal EVA 70** Los resultados obtenidos para las 3 portadoras tuvieron en cuenta el canal EVA 70 utilizando la predicción de cobertura por mejor portadora en el DL, tal como se muestra a continuación:



- **64QAM3/4**

Transmitter:	Esmeralda_3
Receiver:	(76°37'19,46"W ; 2°26'42,28'
Distance:	875m
Power:	43dBm
EIRP:	59,76dBm
Reception gain:	0 dB
Path Loss:	136,59 dB
Shadowing margin:	--- dB
Indoor Loss:	0 dB

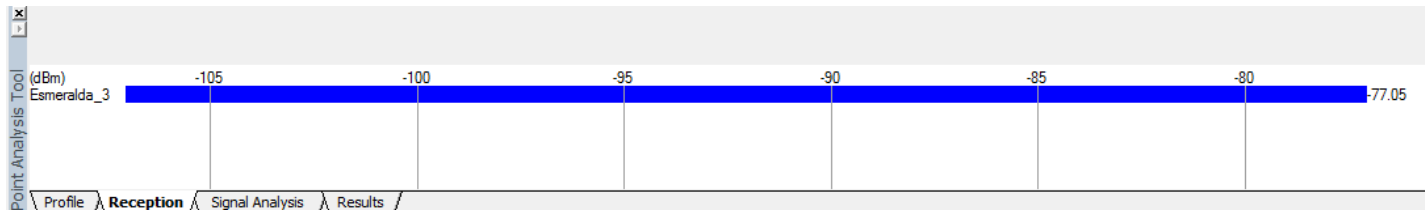


Figura B.4 RLB para 64QAM 3/4

- **16QAM1/2**

Transmitter:	Esmeralda_3
Receiver:	(76°37'44,91"W ; 2°26'55,85'
Distance:	1.733m
Power:	43dBm
EIRP:	59,76dBm
Reception gain:	0 dB
Path Loss:	147,47 dB
Shadowing margin:	--- dB
Indoor Loss:	0 dB

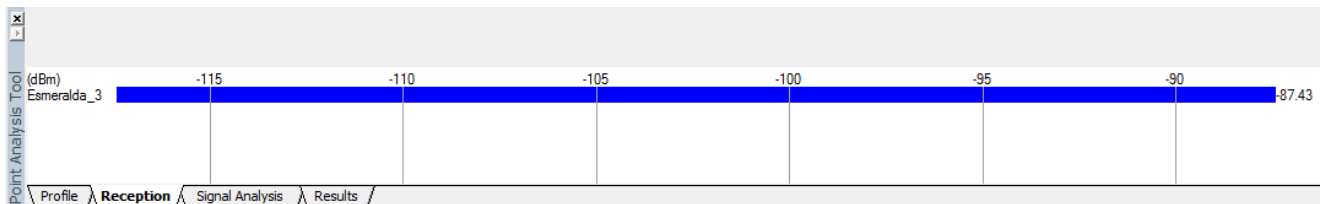


Figura B.5 RLB para 16QAM 1/2



- **QPSK1/3**

Transmitter:	Esmeralda_3
Receiver:	(76°38'15,41"W ; 2°26'57,09'
Distance:	2.655m
Power:	43dBm
EIRP:	59,76dBm
Reception gain:	0 dB
Path Loss:	158,7 dB
Shadowing margin:	--- dB
Indoor Loss:	0 dB

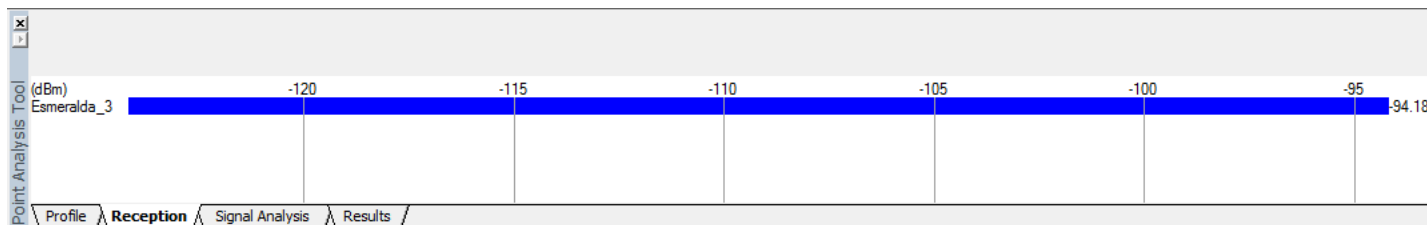


Figura B.6 RLB para QPSK 1/3

## B.2 ESCENARIO1 UL

Este apartado muestra los resultados, obtenidos para el UL, del balance del enlace al igual que el nivel de señal en recepción para un UE situado en el borde de los alcances de cada portadora asociada a un determinado MCS. Este procedimiento se realizó para las portadoras 16QAM 3/4 y QPSK 1/3 utilizando la herramienta “*Point Analysis Tool*”. Vale la pena resaltar que el balance del enlace arroja valiosa información de enlace como: Transmisor asociado al UE, coordenada del receptor, distancia entre transmisor y UE, potencia de transmisión del eNodeB y pérdidas de trayecto, entre otras.

**B.2.1 Mejor portadora UL para los canales EVA 70HZ y EPA 5HZ** Los resultados obtenidos para las 2 portadoras tuvieron en cuenta el canal EVA 70Hz y EPA 5Hz utilizando la predicción de cobertura por mejor portadora en el UL, en donde la portadora 16QAM 3/4 está representada por el color verde y la de QPSK 1/3 por el color azul claro, tal como se muestra a continuación:

- **Mejor portadora UL para el canal EVA 70Hz**

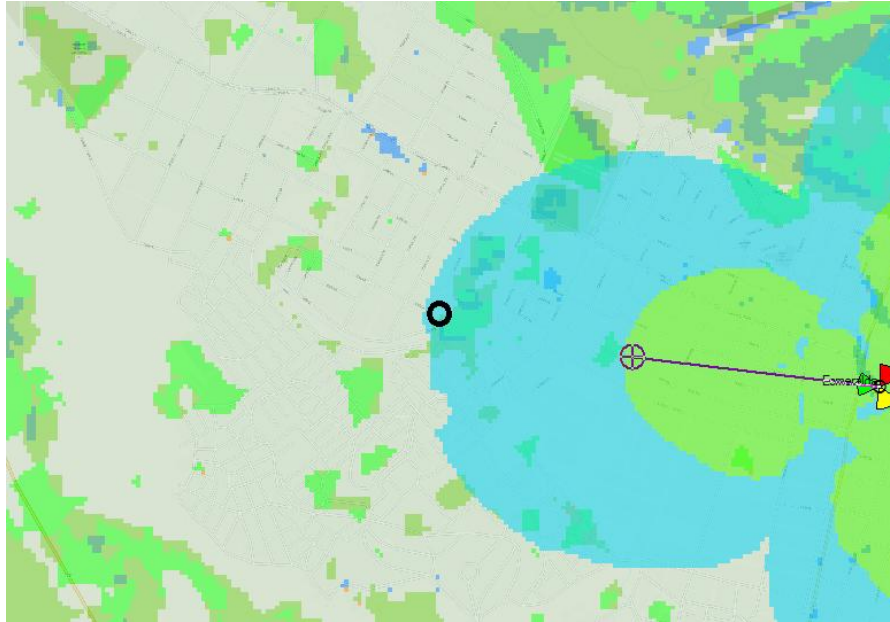


Figura B.7 Cobertura UL para el canal EVA 70Hz

- **Mejor portadora UL para el canal EPA 5Hz**



Figura B.8 Cobertura UL para el canal EPA 5Hz

### B.3 PREDICCIÓN POR MEJOR PORTADORA EN DL PARA EL SITIO 3 CRUCES

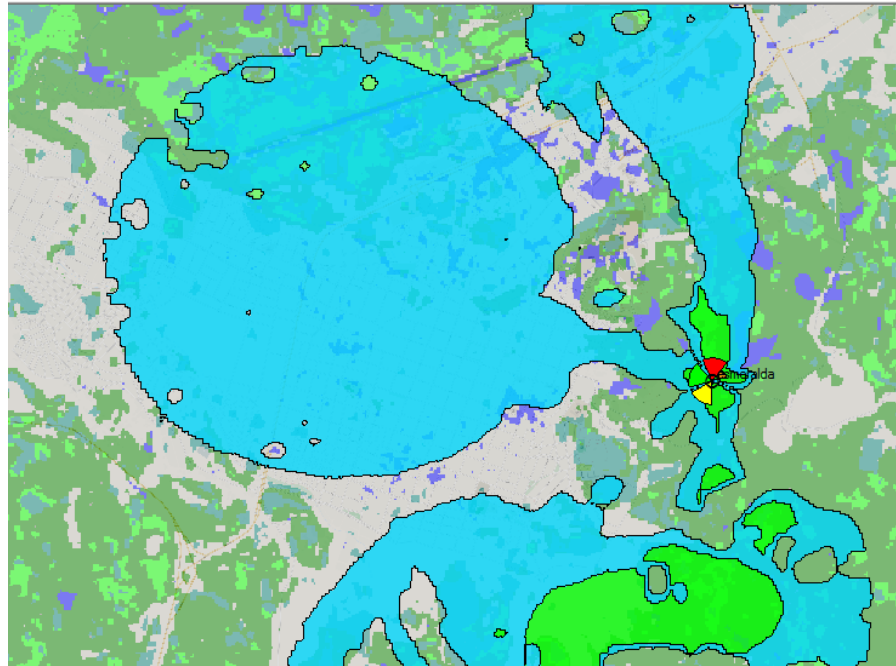


Figura B.9 Cobertura del sitio 3 cruces

### B.4 EFECTO DE UN *TILT* DE 14° PARA LA BANDA DE 925 MHZ EN EL DL

La figura B.9 muestra que aunque la configuración  $tilt=14^\circ$  para un sistema que opera en la banda de 925 MHz no es muy eficiente en cuanto a capacidad ya que los alcances de las portadoras son muy limitados. Sin embargo, al utilizar esta banda de frecuencias es posible observar que la cobertura es mayor que cuando se utilizan frecuencias más altas como la banda AWS.





## B.6 TRÁFICO DE LA RED MÓVIL LTE SEGÚN EL SERVICIO

La tabla B.6.1 muestra el *throughput* por servicio de la red móvil LTE diseñada para Popayán, en la cual se especifica el número de usuarios conectados de acuerdo al servicio requerido. El número total de usuarios intentando conectarse a la red, de acuerdo a la distribución realizada por Atoll, es de 230.

Tabla B.6.1 Tráfico de la red móvil LTE según el servicio

	Red LTE	Navegación Web	VoIP	Videoconferencia
No. Usuarios conectados	185	72	77	36
<i>Throughput</i> UL [Mbps]	102.08	61.06	0.892	40.12
<i>Throughput</i> DL [Mbps]	164.2	104.13	0.878	59.19

Como se puede observar en la tabla B.1 el mayor número de usuarios conectados a la red utiliza el servicio de VoIP, lo cual se debe a que es el servicio configurado con la mayor prioridad con respecto a los demás. Por otro lado, el número de usuarios conectados con el servicio de videoconferencia es menor, debido a que su demanda mínima (necesaria para conectarse a la red) es mayor que para los demás servicios.