



**Metodología para el cálculo de la zona de cobertura de estaciones base de telefonía móvil
de la red 4G, basada en la calidad y potencia de señal recibida**

Hanzel Yussef Castro Gómez

Código: 10441826043

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ibagué, Colombia

2023

**Metodología para el cálculo de la zona de cobertura de estaciones base de telefonía móvil
de la red 4G, basada en la calidad y potencia de señal recibida**

Hanzel Yussef Castro Gómez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electrónico

Director (a):

Título (Ph.D., Doctor, Ingeniero, etc.) y nombre del director(a)

Codirector (a):

Título (Ph.D., Doctor, Químico, etc.) y nombre del codirector(a)

Línea de Investigación:

Telecomunicaciones

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ibagué, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____, Cumple con

los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| Lista de Figuras | 6 |
| Lista de tablas | 12 |
| Lista de ecuaciones | 14 |
| Lista de Abreviaturas y símbolos..... | 15 |
| 1. Resumen | 17 |
| 2. Abstract..... | 19 |
| 3. Introducción | 21 |
| 4. Antecedentes | 24 |
| 5. Objetivos | 29 |
| 5.1 General: | 29 |
| 5.2 Específicos: | 29 |
| 6. Justificación | 30 |
| 7. Marco Teórico | 33 |
| 7.1 Generaciones de tecnologías de radiocomunicaciones | 33 |
| 7.2 LTE TDD y FDD | 38 |
| 7.2.1 LTE TDD | 39 |
| 7.2.2 LTE FDD..... | 39 |
| 7.3 Estructura LTE FDD – TDD | 39 |
| 7.4 Arquitectura LTE | 40 |
| 7.5 Aplicaciones móviles para realizar mediciones de cobertura a operadores de telefonía móvil | 44 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 7.6 | Herramientas de medición, procesamiento y diseño | 44 |
| 7.7 | Modelos de propagación | 46 |
| 7.7.1 | Estudio de modelos de propagación..... | 51 |
| 8. | Marco Legal..... | 63 |
| 9. | Diseño metodológico | 67 |
| 9.1 | Zona de cobertura LTE a estudiar | 68 |
| 9.2 | Distribución de torres de Claro | 69 |
| 9.3 | Distribución de torres de WOM..... | 74 |
| 9.4 | Guía de diseño en Xirio Online..... | 77 |
| 9.5 | Pruebas de datos | 91 |
| 9.5.1 | Pruebas de carga y descarga de Claro y WOM..... | 91 |
| 10. | Resultados y análisis de resultados..... | 92 |
| 10.1 | Cobertura..... | 92 |
| 10.2 | Tecnologías en la zona de cobertura | 95 |
| 11. | Conclusiones | 104 |
| 12. | Anexos | 106 |
| 13. | Referencias Bibliográficas..... | 119 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1:</i> FDMA tiene bandas de frecuencias determinadas en cada canal con respecto al tiempo (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019)..... | 34 |
| <i>Figura 2:</i> TDMA divide el tiempo en intervalos para formar tramas (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019) | 34 |
| <i>Figura 3:</i> CDMA permite que varios usuarios ocupen el mismo espectro sin interferencias entre sí (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019)..... | 35 |
| <i>Figura 4:</i> Transmite señales mediante conductos espaciales paralelos dentro de la zona de cobertura, permite la transmisión eficiente de frecuencias mientras los dispositivos están en movimiento (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019) | 35 |
| <i>Figura 5:</i> Frecuencias de los métodos de duplexación. FDD lado izquierdo, separación de tramas en el centro y lado derecho TDD (Yonis, Abdullah, y Ghanim, 2012) | 39 |
| <i>Figura 6:</i> Tramas de enlace ascendente y descendente. FDD tiene dos bandas, una para UL y otra para DL en un espectro específico y en TDD hay una sola banda para UL o DL TDD (Yonis, Abdullah, y Ghanim, 2012) | 40 |
| <i>Figura 7:</i> Vista de página principal de Xirio Online para hacer registro e ingreso (Xirio, 2023) 45 | |
| <i>Figura 8:</i> Situación donde la EB1 está implementada en una azotea y la propagación de EB1 se produce principalmente a esa misma altura y en la EB2 está por debajo de la EB1 (Telecomunicaciones, 2016)..... | 48 |
| <i>Figura 9:</i> Propagación sin visibilidad directa por encima de azoteas a partir de una estación base de tipo torre, donde se representa el alcance a un vehículo en movimiento (Telecomunicaciones, 2016) | 49 |
| <i>Figura 10:</i> Modelo de propagación experimental propio que se puede comparar en funcionalidades con los modelos empíricos y determinísticos conocidos (Fuente: propio)..... | 55 |
| <i>Figura 11:</i> Distribución de células en una zona de cobertura, ocupando el espacio en forma de hexágonos regulares (Vaca, 2015)..... | 60 |
| <i>Figura 12:</i> Descripción del modo de antenas SISO desde la transmisión (TX) hasta la recepción (RX) (fuente: propia) | 61 |
| <i>Figura 13:</i> Descripción del modo de antenas SIMO desde la transmisión (TX) hasta la recepción (RX) (fuente: propia) | 62 |
| <i>Figura 14:</i> Descripción del modo de antenas MISO desde la transmisión (TX) hasta la recepción (RX) (fuente: propia) | 62 |
| <i>Figura 15:</i> Descripción del modo de antenas MIMO desde la transmisión (TX) hasta la recepción (RX) (fuente: propia) | 62 |
| <i>Figura 16:</i> Vista de zona geográfica donde se realizó el estudio de pruebas de cobertura de los operadores de telefonía móvil (fuente: Google Maps) | 69 |
| <i>Figura 17:</i> Distribución de las estaciones base de Claro en la zona de estudio utilizando Google Earth..... | 69 |
| <i>Figura 18:</i> Distribución de las estaciones base de WOM en la zona de estudio utilizando Google Earth..... | 74 |

| | |
|---|----|
| <i>Figura 19:</i> Página principal del software de simulación Xirio Online para el diseño de cobertura (Telecomunicaciones, 2016)..... | 77 |
| <i>Figura 20:</i> Acceso a registro en Xirio Online para realizar simulación de cobertura (Telecomunicaciones, 2016)..... | 77 |
| <i>Figura 21:</i> Ingreso al software de simulación Ingreso a Xirio Online (Telecomunicaciones, 2016)..... | 78 |
| <i>Figura 22:</i> Vista general del software de simulación Xirio Online después de hacer el ingreso (Telecomunicaciones, 2016)..... | 78 |
| <i>Figura 23:</i> Búsqueda de ciudad en Xirio Online (Telecomunicaciones, 2016)..... | 78 |
| <i>Figura 24:</i> Ciudad encontrada en Xirio Online..... | 79 |
| <i>Figura 25:</i> Vista general de creación de nuevo estudio Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 79 |
| <i>Figura 26:</i> Estudio de cobertura, categorías y subcategorías para simulación en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 80 |
| <i>Figura 27:</i> Propiedades del estudio de cobertura en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 80 |
| <i>Figura 28:</i> Bandas de frecuencias para crear o escoger de acuerdo al estudio a realizar en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 80 |
| <i>Figura 29:</i> Propiedades de las bandas de frecuencias Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 81 |
| <i>Figura 30:</i> Propiedades de sectores en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 81 |
| <i>Figura 31:</i> Área de cálculo y modelo de propagación Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 82 |
| <i>Figura 32:</i> Ubicación de primer sector en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 82 |
| <i>Figura 33:</i> Sectorizar estudio en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 83 |
| <i>Figura 34:</i> Sectorizar el estudio de cobertura en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 83 |
| <i>Figura 35:</i> Sectores completos en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 84 |
| <i>Figura 36:</i> Creación de estudio multitransmisor en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 84 |
| <i>Figura 37:</i> Coberturas de red en Xirio Online para escoger la zona donde hay celdas existentes de acuerdo a los estudios previos creados (Xirio, 2023)..... | 85 |
| <i>Figura 38:</i> Propiedades del estudio multitransmisor en Xirio Online (Xirio, 2023)..... | 85 |
| <i>Figura 39:</i> Cálculo de estudio en Xirio Online, este estudio se hace en el multitransmisor para determinar la cobertura (Xirio, 2023)..... | 86 |
| <i>Figura 40:</i> Vista de aplicación de pruebas G-NerTrack Pro como herramienta para tomar muestras en recorridos en interiores y exteriores (Gyokov, 2023)..... | 87 |
| <i>Figura 41:</i> Vista principal de la aplicación G-NetTrack Pro, en ella se visualizan los datos generales del operador de telefonía móvil (Gyokov, 2023)..... | 87 |
| <i>Figura 42:</i> Vista de panel "Drive" donde se ve el resumen de los datos principales del operador de telefonía móvil G-NetTrack Pro (Gyokov, 2023)..... | 88 |
| <i>Figura 43:</i> Vista desde la pestaña "MAP" para visualizar la ubicación en tiempo real en Mapa G-NetTrack Pro (Gyokov, 2023)..... | 88 |
| <i>Figura 44:</i> Vista del "menú" de la aplicación G-NetTrack Pro para revisar otras configuraciones (Gyokov, 2023)..... | 89 |

| | |
|---|----|
| <i>Figura 45:</i> Pestaña con parámetros de configuración detallado para cada referencia en G-NetTrack Pro (Gyokov, 2023) | 89 |
| <i>Figura 46:</i> Vista general de G-NetTrack View, cargada con una prueba donde se muestra el parámetro PCI para determinar las celdas a las que se conectó al realizar el Drive Test (Gyokov, 2023) | 90 |
| <i>Figura 47:</i> Vista procesada de calidad en G-NetTrack View, en ella se determina que el servicio seleccionado haya tenido un buen desempeño de acuerdo a la leyenda (Gyokov, 2023) | 91 |
| <i>Figura 48:</i> Vista de pruebas totales de carga, descarga y latencia realizadas en Claro (prueba izquierda) y WOM (prueba derecha) en diferentes ubicaciones dentro de la zona de cobertura (fuente: App Speedtest Ookla)..... | 91 |
| <i>Figura 49:</i> Pruebas de carga, descarga y latencia en ubicación 1, con prueba de Claro del lado izquierdo, en el centro la ubicación real y del lado derecho la prueba de WOM (tomada con App Speedtest Ookla) | 92 |
| <i>Figura 50:</i> Pruebas de carga, descarga y latencia en ubicación 2, con prueba de Claro del lado izquierdo, en el centro la ubicación real y del lado derecho la prueba de WOM (tomada con App Speedtest Ookla) | 93 |
| <i>Figura 51:</i> Vista general de cada una de las pestañas principales de G-NetTrack Pro como CELL para datos generales del operador, NEI para datos con colores para identificar cada celda, MAP para identificar ubicación, INFO para mirar UL y DL y DRIVE para datos resumidos. | 94 |
| <i>Figura 52:</i> Vista de niveles de RSRP tomada con G-NetTrackView, en ella se identifica mayor potencia de señal recibida en los colores verde, amarillo, naranja y rojo. Los colores azules representan cobertura, pero con una potencia recibida entre -90 dBm y -110 dBm, la cual no es buena para el servicio..... | 94 |
| <i>Figura 53:</i> Vista PCI tomada con G-NetTrackView, ella se identifican por color las celdas a las que durante la prueba de campo detectó el teléfono móvil..... | 95 |
| <i>Figura 54:</i> Zona de cobertura LTE del operador Claro en la ciudad de Ibagué, según plataforma de NPERF, donde el servicio de LTE se ofrece en las zonas de color rojo, amarillo y verde..... | 96 |
| <i>Figura 55:</i> Visualización de el parámetro Serving System del operador Claro, donde se evidencia la tecnología a la que se conectó el dispositivo al realizar la prueba, en este caso de llamadas en UMTS (Simulación de Nemo Outdoor)..... | 96 |
| <i>Figura 56:</i> Visualización de una prueba de WOM en llamada, se identifica la tecnología en la que se realizó la prueba, en este caso UMTS (Simulación de Nemo Outdoor)..... | 97 |
| <i>Figura 57:</i> Prueba de Throughput de Claro en descarga, niveles ≥ 50 Mbps en color verde en pocas zonas, mientras que la mayor parte del recorrido se mantuvo en ≥ 1 y < 10 Mbps (Simulación Nemo Outdoor)..... | 97 |
| <i>Figura 58:</i> Prueba de Throughput de WOM en descarga, niveles ≥ 50 Mbps en color verde en pocas zonas, mientras que la mayor parte del recorrido se mantuvo en ≥ 20 y < 40 Mbps (Simulación Nemo Outdoor)..... | 98 |
| <i>Figura 59:</i> Visualización de celdas identificadas en la zona de cobertura del operador Claro en descarga y carga de datos (Simulación Nemo Outdoor)..... | 99 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 60:</i> Visualización de celdas identificadas en la zona de cobertura del operador WOM en descarga y carga de datos (Simulación Nemo Outdoor)..... | 99 |
| <i>Figura 61:</i> Visualización de zona de cobertura de Claro en la zona centro de Ibagué donde se evidencia en color verde claro valores de potencia recibida de referencia donde alcanza valores máximos cercanos a los -92 dBm y en color azul entre -102 dBm y -112 dBm. Presenta una zona en verde oscuro que no alcanza a ingresar a la zona de cobertura (Simulación con Xirio Online) | 101 |
| <i>Figura 62:</i> Visualización de zona de cobertura de WOM en la zona centro de Ibagué donde evidencia de acuerdo a la leyenda, una zona de niveles entre -92 dBm y 102 dBm que corresponde al color verde oscuro y representa que la potencia recibida de referencia es más débil en esos cuadros, acercándose a la pérdida de señal (Simulación con Xirio Online) | 101 |
| <i>Figura 63:</i> Esta figura representa el solapamiento de las celdas del operador Claro en la zona de cobertura, se aprecia que el color rojo es predominante por la gran cantidad de vecinas en el área que según la leyenda tiene una concentración de 5 servidores (Simulación con Xirio Online). | 102 |
| <i>Figura 64:</i> Esta figura representa el solapamiento de las celdas del operador WOM en la zona de cobertura, se aprecia que el color rojo es predominante por la gran cantidad de vecinas en el área, presenta menor número de servidores solapándose porque tiene menor números de sectores con respecto a Claro (Simulación con Xirio Online)..... | 102 |
| <i>Figura 65:</i> Visualización de las zonas donde que cuentan con mejores servidores en el operador Claro, presenta cinco (5) sectores de los cuáles 3 tienen mejor servicio pero solo dos (2) ocupan la mayor parte de la zona de cobertura (Simulación con Xirio Online) | 103 |
| <i>Figura 66:</i> En esta figura, se observan muchos más servidores para el operador de WOM, esto se debe a que hay menos cantidad de sectores en la zona y ocupan las zonas libres, debido a esto no hay sectores predominantes (Simulación con Xirio Online) | 103 |
| <i>Figura 67:</i> Parámetro de UMTS, representa y distingue las celdas entre sí, identifica las celdas a las que se pueden conectar. El Scrambling Code al que más se conectó la red de Claro fue al número 72 (Simulación Nemo Outdoor) | 106 |
| <i>Figura 68:</i> Solo dos canales se registraron durante las pruebas de llamadas realizadas en el Drive Test de llamada de Claro (Simulación Nemo Outdoor)..... | 106 |
| <i>Figura 69:</i> Parámetro de UMTS, representa y distingue las celdas entre sí, identifica las celdas a las que se pueden conectar. El Scrambling Code al que más se conectó la red de WOM fue al número 486 (Simulación Nemo Outdoor) | 107 |
| <i>Figura 70:</i> Solo se registró un canal durante las pruebas de llamadas realizadas en el Drive Test de llamada de WOM (Simulación Nemo Outdoor) | 107 |
| <i>Figura 71:</i> Serving System identificó a LTE FDD como la tecnología conectada para la prueba y tipo de duplexación FDD para las pruebas de descargas en Claro (Simulación Nemo Outdoor) | 108 |
| <i>Figura 72:</i> Se identificaron cinco (5) canales durante las pruebas de descargas realizadas en el Drive Test de Claro, no se registró desconexión entre canales (Simulación Nemo Outdoor).... | 108 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 73:</i> Visualiza el registro de múltiples celdas en la zona de cobertura, estas representan los sectores disponibles propios de la zona y vecinas (Simulación Nemo Outdoor) | 109 |
| <i>Figura 74:</i> Representa la potencia recibida de señal de referencia en la zona de cobertura, presenta niveles en la mayoría del Drive Test inferiores a los -85 dB (Simulación Nemo Outdoor) | 109 |
| <i>Figura 75:</i> Representa la calidad de referencia de la señal con la que se está transmitiendo. La mayor parte del recorrido presenta niveles menores a -10 dB, por lo que la señal se podrá recibir fácilmente por el usuario (Simulación Nemo Outdoor)..... | 110 |
| <i>Figura 76:</i> Representa la diferencia entre la señal transmitida y el nivel de ruido más la interferencia. Para redes LTE lo ideal es alcanzar niveles de 5 dB, para este parámetro en algunas franjas está por debajo de este valor y no hay un buen balance entre cobertura y calidad (Simulación Nemo Outdoor)..... | 110 |
| <i>Figura 77:</i> Serving System identificó a LTE FDD como la tecnología conectada para la prueba y tipo de duplexación FDD para las pruebas de descargas en WOM (Simulación Nemo Outdoor) | 111 |
| <i>Figura 78:</i> Se identificaron tres (3) canales durante las pruebas de descargas realizadas en el Drive Test de WOM, no se registró desconexión entre canales (Simulación Nemo Outdoor) .. | 111 |
| <i>Figura 79:</i> Visualiza el registro de múltiples celdas en la zona de cobertura, estas representan los sectores disponibles propios de la zona y vecinas (Simulación Nemo Outdoor) | 112 |
| <i>Figura 80:</i> Representa la potencia recibida de señal de referencia en la zona de cobertura, presenta niveles en la mayoría del Drive Test inferiores a los -85 dB (Simulación Nemo Outdoor) | 112 |
| <i>Figura 81:</i> Representa la calidad de referencia de la señal con la que se está transmitiendo. La mayor parte del recorrido presenta niveles menores a -10 dB, por lo que la señal se podrá recibir fácilmente por el usuario (Simulación Nemo Outdoor)..... | 113 |
| <i>Figura 82:</i> Representa la diferencia entre la señal transmitida y el nivel de ruido más la interferencia. Para redes LTE lo ideal es alcanzar niveles de 5 dB, para este parámetro en algunas franjas está por debajo de este valor y no hay un buen balance entre cobertura y calidad (Simulación Nemo Outdoor)..... | 113 |
| <i>Figura 83:</i> Identificada LTE FDD como la tecnología conectada para la prueba y tipo de duplexación FDD para las pruebas de descargas en Claro (Simulación Nemo Outdoor) | 114 |
| <i>Figura 84:</i> Se identificaron cuatro (4) canales durante las pruebas de descargas realizadas en el Drive Test de Claro, no se registró desconexión entre canales (Simulación Nemo Outdoor).... | 114 |
| <i>Figura 85:</i> Visualiza el registro de múltiples celdas en la zona de cobertura, estas representan los sectores disponibles propios de la zona y vecinas (Simulación Nemo Outdoor) | 115 |
| <i>Figura 86:</i> Representa la potencia recibida de señal de referencia en la zona de cobertura, presenta niveles en la mayoría del Drive Test >85 dB (Simulación Nemo Outdoor) | 115 |
| <i>Figura 87:</i> Visualiza la diferencia entre la señal transmitida y el nivel de ruido más la interferencia. Este parámetro es inestable por lo que evidencia zonas de mala calidad y hace que se vayan valores a cero (0) (Simulación Nemo Outdoor)..... | 116 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 88:</i> Serving System identificó a LTE FDD como la tecnología conectada para la prueba y tipo de duplexación FDD para las pruebas de descargas en WOM (Simulación Nemo Outdoor) | 116 |
| <i>Figura 89:</i> Se identificaron tres (3) canales durante las pruebas de descargas realizadas en el Drive Test de WOM, no se registró desconexión entre canales (Simulación Nemo Outdoor) .. | 117 |
| <i>Figura 90:</i> Visualiza el registro de múltiples celdas en la zona de cobertura, estas representan los sectores disponibles propios de la zona y vecinas (Simulación Nemo Outdoor) | 117 |
| <i>Figura 91:</i> Representa la potencia recibida de señal de referencia en la zona de cobertura, presenta niveles en la mayoría del Drive Test < -95 dB por lo que mantiene niveles con buena recepción (Simulación Nemo Outdoor) | 118 |
| <i>Figura 92:</i> Diferencia entre la señal transmitida y el nivel de ruido más la interferencia. Para este parámetro en algunas franjas está por debajo de 5 dB y se mantiene al límite de ≥ 0 y < 5 por lo que no hay un buen balance entre cobertura y calidad (Simulación Nemo Outdoor) | 118 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 1:</i> Descripciones y degradaciones de propagación según el entorno y tipo de construcciones (Telecomunicaciones, 2016) | 47 |
| <i>Tabla 2:</i> Datos de características de los modelos 3GPP y WRAN de acuerdo a los servicios disponibles (Cárdenas, Sáenz, Bedoya, 2015). | 57 |
| <i>Tabla 3:</i> Bandas de operación de operadores de telefonía móvil en Colombia (Cárdenas, Sáenz, Bedoya, 2015). | 58 |
| <i>Tabla 4:</i> Datos de rango de operación de bandas en enlace ascendente y descendente con su tipo de duplexación (Cárdenas, Sáenz, Bedoya, 2015). | 58 |
| <i>Tabla 5:</i> Tipos de células de acuerdo a sus características de rango y su mejor ubicación interior y/o exterior (Telecomunicaciones, 2016) | 61 |
| <i>Tabla 6:</i> Características de Estación Base 1 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 70 |
| <i>Tabla 7:</i> Características de Estación Base 2 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 71 |
| <i>Tabla 8:</i> Características de Estación Base 3 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 71 |
| <i>Tabla 9:</i> Características de Estación Base 4 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 71 |
| <i>Tabla 10:</i> Características de Estación Base 5 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 72 |
| <i>Tabla 11:</i> Características de Estación Base 6 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 72 |
| <i>Tabla 12:</i> Características de Estación Base 7 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 73 |
| <i>Tabla 13:</i> Características de Estación Base 8 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 73 |
| <i>Tabla 14:</i> Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 74 |
| <i>Tabla 15:</i> Características de Estación Base 2 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 74 |
| <i>Tabla 16:</i> Características de Estación Base 3 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 75 |
| <i>Tabla 17:</i> Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 75 |
| <i>Tabla 18:</i> Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 75 |
| <i>Tabla 19:</i> Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 76 |

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 20:</i> Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 76 |
| <i>Tabla 21:</i> Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia) | 76 |

Lista de ecuaciones

| | |
|--|----|
| <i>Ecuación 1:</i> Ecuación de Friss que relaciona la potencia recibida en el espacio libre por una antena receptora, la cual está separada de la antena transmisora una distancia d (Telecomunicaciones, 2016)..... | 51 |
| <i>Ecuación 2:</i> Pérdidas por trayectoria en el espacio libre, donde se describe la pérdida de propagación ideal de una señal dentro de un espacio en el que solo están las dos antenas de transmisión y recepción. (Telecomunicaciones, 2016)..... | 51 |
| <i>Ecuación 3:</i> Modelo utilizado para sistemas móviles para ambientes interiores y exteriores, donde las pérdidas de propagación aumentan con la distancia de referencia (Telecomunicaciones, 2016)..... | 52 |
| <i>Ecuación 4:</i> Ganancia de la altura de la antena de transmisión para longitud de 30 m (Telecomunicaciones, 2016)..... | 52 |
| <i>Ecuación 5:</i> Ganancia de la altura de la antena de transmisión para longitud de 3 m (Telecomunicaciones, 2016)..... | 53 |
| <i>Ecuación 6:</i> Ganancia de la altura de la antena de transmisión para longitud de 10 m (Telecomunicaciones, 2016)..... | 53 |
| <i>Ecuación 7:</i> Modelo de pérdida de propagación en función de frecuencia, distancia y altura de las antenas de la estación base con respecto al móvil (Rubio y Rozo, 2014)..... | 53 |
| <i>Ecuación 8:</i> Factor de corrección de altura dependiendo del ambiente y la altura del móvil para ciudades pequeñas o medianas (Rubio y Rozo, 2014)..... | 53 |
| <i>Ecuación 9:</i> Factor de corrección de altura dependiendo del ambiente y la altura del móvil para ciudades grandes (Rubio y Rozo, 2014)..... | 54 |
| <i>Ecuación 10:</i> Factor de corrección de altura dependiendo del ambiente y la altura del móvil para áreas suburbanas (Rubio y Rozo, 2014)..... | 54 |
| <i>Ecuación 11:</i> Factor de corrección de altura dependiendo del ambiente y la altura del móvil para áreas rurales (Rubio y Rozo, 2014)..... | 54 |
| <i>Ecuación 12:</i> Pérdidas de propagación calculada con la sumatoria de la pérdida de propagación en condiciones de espacio libre, pérdida por difracción en el lugar de ubicación del receptor y pérdida por difracción en techo de edificios (Telecomunicaciones, 2016)..... | 55 |

Lista de Abreviaturas y símbolos

| Símbolo | Término | Definición |
|----------------|-----------------------------------|--|
| <i>dB</i> | Decibelio | Diferencias relativas en la potencia de la señal |
| <i>dBm</i> | Decibelio referido a un milivatio | Diferencias relativas en la potencia de la señal |
| <i>dBw</i> | Decibelio referido a un vatio | Diferencias relativas en la potencia de la señal |
| <i>dBi</i> | Decibelio de ganancia | Ganancia de la antena |

| Abreviatura | Término |
|--------------------|--|
| GSM | Sistema global para las comunicaciones móviles |
| UMTS | Sistema universal de telecomunicaciones móviles |
| LTE | Evolución a largo plazo |
| RSSI | Indicador de intensidad de señal recibida |
| RSRP | Potencia recibida de señal de referencia |
| RSRQ | Calidad de la señal de referencia recibida |
| SNR | Relación señal / ruido |
| EC/NO | Energía por chip dividido por la densidad de potencia de ruido en la banda |
| PCI | Identificación de una celda |
| MIMO | Múltiples entradas múltiples salidas |
| SISO | Sola una entrada - solo una salida |
| FDD | Duplexación por división de frecuencia |
| TDD | Duplexación por división de tiempo |
| UL | Uplink |

| | |
|------|--|
| DL | Downlink |
| SIM | Módulo de identificación de abonado |
| BTS | Estaciones base de telecomunicaciones |
| BSC | Controlador de la Estación Base |
| MSC | Centros de conmutación móvil |
| eNB | Hardware evolucionado y conectado a la red de telefonía móvil directamente de forma inalámbrica con los dispositivos móviles |
| SINR | Relación señal / interferencia más ruido |
| UL | Uplink o enlace ascendente |
| DL | Downlink o enlace descendente |
| CQI | Indicador de Calidad de Canal |

1. Resumen

Es indudable que todo lo que rodea al ser humano actualmente está enfocado en tecnología, en este aspecto la comunicación juega un papel muy importante debido a la necesidad de que las personas, dispositivos móviles, sistemas de inteligencia artificial, sistemas médicos, entre otros, permanezcan conectados permanentemente. Uno de estos casos es el que se refleja en gran parte de la población mundial, se trata de estar conectados a dispositivos móviles con acceso a internet para interactuar remotamente, para realizar una llamada, enviar un mensaje de texto, descargar y cargar archivos, entre otros.

El mundo evoluciona en tecnología, los dispositivos móviles y los servicios que los operadores móviles ofrecen a los usuarios que obligan a los usuarios a adquirir dispositivos móviles cada vez más avanzados para poder tener acceso a nuevos servicios. Sin embargo, los operadores de telefonía móvil no especifican a los usuarios los servicios disponibles y la información brindada hace parecer que todo lo ofrecido por estas compañías, aplican para todo el país. Las redes de telefonía venden un servicio a los usuarios que en gran parte de las zonas de las ciudades en realidad no se cumple, esto genera una falsa percepción al usuario sobre el servicio ofrecido por el operador y los parámetros de calidad son una forma directa de comprobar la cobertura del servicio.

En este trabajo se desarrolla un proceso metodológico como guía de diseño para el cálculo de los parámetros de calidad y cobertura de las estaciones base de telefonía celular. Se obtienen las predicciones reales de la zona de la ciudad para cada operador que en realidad cuentan con conexión tecnología de cuarta generación (4G). Desarrolla una guía para la realización de pruebas que permitan obtener parámetros de calidad sobre la red de los operadores, como una forma directa de comprobar la cobertura de la tecnología a analizar y los servicios que ésta ofrece como potencia

recibida, llamadas, valores de carga y descarga de datos, navegación en internet, entre otros. A medida que el usuario revisa la guía, podrá comprobar con las herramientas licenciadas y no licenciadas aquí mencionadas, todos los datos de servicios y hacer su propio diseño de cobertura si así lo desea.

El diseño está enmarcado bajo la normatividad actual, utilizando dos tipos de software para predecir y post-procesar los resultados del test. Los test realizados son Drive Test y Walk Test, pruebas de campo realizadas con celulares, realizando el desplazamiento en vehículo o caminando. Una vez obtenidos los resultados del test, se validará el método comparándolo con las mediciones realizadas en la zona de cobertura de dos (2) operadores de telefonía móvil. Estas mediciones también se tomarán en lugares críticos de la zona de cobertura, con el objetivo de poder contrastar con los resultados del diseño y simulación. El proceso metodológico no contempla la creación de aplicaciones móviles para su desarrollo, pero sí plantea las indicaciones de uso de software ya desarrollados, tanto licenciados y de uso libre. Los resultados muestran que a pesar de estar en la zona de cobertura 4G ofrecida por los operadores móviles, el servicio no es el adecuado.

Palabras clave: calidad, Channel Number, cobertura, Drive Test, LTE, Physical Cell Identify, potencia, red móvil 4G, RSCP, RSRQ, Serving System, SNR, UMTS.

2. Abstract

There is no doubt that everything that surrounds the human being is currently focused on technology, in this aspect communication plays a very important role due to the need for people, mobile devices, artificial intelligence systems, medical systems, among others, to remain permanently connected. One of these cases is reflected in much of the world's population, and is to be connected to mobile devices with internet access to interact remotely, to make a call, send a text message, download and upload files, among others.

The world is evolving in technology, mobile devices and the services that mobile operators offer to users, forcing users to acquire increasingly advanced mobile devices in order to have access to new services. However, mobile telephone operators do not specify the services available to users and the information provided makes it seem that everything offered by these companies applies to the whole country. The telephone networks sell a service to users that in most areas of the cities is not actually fulfilled, this generates a false perception to the user about the service offered by the operator and the quality parameters are a direct way to check the coverage of the service.

In this work, a methodological process is developed as a design guide for the calculation of quality and coverage parameters of cellular telephony base stations. It obtains the real predictions of the area of the city for each operator that actually have fourth generation technology connection (4G). It develops a guide for conducting tests to obtain quality parameters on the operators' network, as a direct way to check the coverage of the technology to be analyzed and the services it offers such as received power, calls, data upload and download values, Internet browsing, among others. As the user reviews the guide, he/she will be able to check with the

licensed and unlicensed tools mentioned here, all the service data and make his/her own coverage design if desired.

The design is framed under current regulations, using two types of software to predict and post-process the test results. The tests performed are Drive Test and Walk Test, field tests performed with cell phones with vehicle or walking displacement. Once the test results are obtained, the method will be validated by comparing it with measurements taken in the coverage area of two (2) mobile operators. These measurements will also be taken in critical locations of the coverage area, in order to be able to contrast with the results of the design and simulation. The methodological process does not contemplate the creation of mobile applications for its development, but it does propose the use of already developed software, both licensed and free to use. The results show that despite being in the 4G coverage area offered by mobile operators, the service is not adequate.

Keywords: quality, channel number, coverage, Drive Test, LTE, physical cell identification, power, mobile network 4G, RSCP, RSRQ, service system, SNR, UMTS.

3. Introducción

El mundo va evolucionando a gran escala y, si de tecnología se habla, es allí donde la comunicación juega un papel muy importante; al hablar de tecnología se debe asociar la misma a casi todo lo que mueve este mundo desde la naturaleza hasta las cosas más complejas. Las telecomunicaciones están directamente relacionadas y a su vez hacen que cada día el mundo exija un avance significativo desde la interconexión móvil, navegación en portales webs, alta velocidad de descarga y carga de archivos a través de acceso a servicios de voz en esa transición a lo digital, obtener mejores servicios de redes de telefonía móvil, zonas de cobertura eficientes y acordes al pago de una factura y que los operadores de servicios, auditados por el gobierno nacional, puedan ofrecer la mejor experiencia y que los dispositivos que ayudan a este acceso, puedan servir a largo plazo, sin necesidad de ser cambiados regularmente porque carecen de acceso a las plataformas y durabilidad reducida (D'almeida y Margot, 2018).

La tecnología avanza a pasos agigantados y en el mundo de las telecomunicaciones móviles se genera una disyuntiva en ciertas poblaciones, ya que por un lado estos avances son necesarios en el constante cambio pero en otro sentido eso lleva a la actualización de dispositivos que soporten esa nueva tecnología y en otros casos es soportada pero no son lo suficientemente veloces, esto debido al cambio de generación que conlleva esa actualización y que en no toda la población está dispuesta a hacer algún tipo de inversión; este es el caso de la transición que hay en Colombia acerca de la desinstalación de la tecnología de segunda generación, que se usó para los servicios de voz (Inzaurrealde y Garderes, 2014).

Se han desarrollado proyecto con el fin de caracterizar los desarrollos de las tecnologías 2G, 3G, 4G y 5G llamado “Análisis prospectivo de la tecnología 5G en Colombia: Tendencias y desafíos”; donde se identifica el despliegue de la tecnología 5G en Colombia y demostrar las

ventajas y desventajas de la infraestructura y los retos que esto implica (Moreno, 2022). Colombia hace parte de ese gran número de países, en donde el desarrollo tecnológico llega de forma tardía a cada hogar, y más si se trata de redes disponibles que requieran una inversión de alguna empresa extranjera que preste dicho servicio; donde el gobierno debe ofrecer el medio para su difusión. En ese punto, están los servicios ofrecidos por los operadores de telefonía móvil en Colombia y de qué forma afectan al usuario que adquiere dicho servicio, por la complejidad de accesibilidad y mantenerlo en el tiempo de acuerdo con las actualizaciones de redes diarias y cómo se diferencia de lo que se compra y lo que se adquiere al final (Moreno, 2022).

Las nuevas tecnologías tienen una relación que va de la mano con las telecomunicaciones y en este caso con las móviles, por ello, este proyecto se basa en tomar la tecnología superior ofrecida en el mercado que es la cuarta generación (4G) y analizar los servicios ofrecidos por dos operadores, uno con más usuarios que el otro y que a su vez cualquier usuario pueda seguir los pasos que aquí se mencionan para determinar el operador que ofrece un mejor servicio de acuerdo a sus necesidades. La mejor forma de explicar el proceso dispuesto, es realizando un estudio real con herramientas, aplicaciones y software licenciados y no licenciados para que sirva de guía real y no que sea solamente una idea.

Este proceso no solo puede servir para que los usuarios hagan una simple validación, sino que puede ayudar a instituciones como las académicas en el campo de la ingeniería y comunicaciones, a que introduzcan estos procesos a su enseñanza académica; el ciertas instituciones no se cuentan son los suficientes recursos para acceder a licencias costosas para simulaciones en el área de telecomunicaciones o para su post-procesamiento, pero en este trabajo se evidenciará que no es una limitante para ello.

En el proyecto se desarrollarán los temas de la generación de tecnologías de radiocomunicaciones, modos de tecnologías LTE, estructuras LTE, aplicaciones móviles para la realización de mediciones de cobertura con sus herramientas de mediciones, zonas de cobertura de cada operador, distribución de estaciones base de cada operador, guía para el diseño de cobertura y pruebas de carga y descarga de datos.

4. Antecedentes

En el ámbito latinoamericano, especialmente “en Colombia, dichas tecnologías han comenzado a aparecer en las agendas gubernamentales como estrategia de desarrollo y de conectividad. Sin embargo, por ser una tecnología emergente en la región, es insuficiente la información relacionada con la aplicación, los alcances, beneficios, dificultades y retos de la puesta en marcha de la tecnología 5G. En el país se han desarrollado trabajos enfocados en el 5G, especialmente direccionados a la validación de condiciones geográficas para la extensión de las redes actuales y a la generación de políticas públicas para la puesta en marcha de los planes de implementación, pero no se encuentran estudios de peso que señalen requisitos y proyecciones luego de la puesta en marcha” (Moreno, 2022).

Con relación a esta temática, Hank Intven, un reconocido asesor de tecnologías y en especial de telecomunicaciones a nivel mundial, en su libro “Telecommunications Regulation Handbook”, en el capítulo uno (1) llamado “El panorama general: Introducción a la regulación de telecomunicaciones” y en la sección 1.4.1 “Elementos para un regulador efectivo”, indica que si se desea que los servicios sean eficaces se debe reconocer la importancia de mecanismos de regulación para garantizar el proceso de conectividad y acceso a los servicios de información y por ello los primeros pasos son promover eficientemente los servicios de telecomunicaciones en un mercado competitivo y describir una obligación de los operadores a cumplir con normas regulatorias y fomentar mercados competitivos para promover un suministro eficiente de los servicios de telecomunicaciones, con calidad a precios asequibles.

Para ello, se presentan el licenciamiento de los servicios de telecomunicaciones, la interconexión, la regulación de precios, la política de competencia y el servicio universal como marco para la regulación de las telecomunicaciones (Intven, 2000). En este orden de ideas, en

Colombia, el Ministerio de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), en junio de 2020 anunció: “El Plan de Transición a Nuevas Tecnologías, único en Latinoamérica, establece la estrategia mediante la cual el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) liderará la modernización del ecosistema del servicio móvil en Colombia de manera efectiva y acelerada. El documento detalla la estrategia que se implementará para modernizar las tecnologías del servicio móvil en el país, y que se compone de diferentes etapas de análisis con las cuales se busca beneficiar a todos los colombianos con comunicaciones móviles de vanguardia internacional. De esta manera, se podrán masificar los beneficios de las TIC en la sociedad y que incentiven la potencial migración hacia redes de cuarta generación en el mediano plazo” (MinTIC, 2020).

En un principio se pensó que se trataba solo de hacer una limpieza del espectro radioeléctrico debido al uso de muchas redes para las tecnologías de 2G y 2.5G en el país; y que trabajan actualmente bajo las frecuencias de 850 MHz y 1900 MHz, pero esto ha ido cambiando hasta que en el 2020 el gobierno oficializó también la liberación de las redes de 3G, 3.5G y 3.75G para darle paso a la transición total a la red de 4G, que comprende LTE y 4.5G o también conocido como LTE Advance o 4G+; en cualquier caso la idea general es que el país solo tenga redes en 4G y 5G, esta última es en la que los esfuerzos están concentrados porque en otros países ya está funcionando la red y en Colombia ya se realizó el despliegue por parte de los operadores de telefonía móvil en algunas ciudades (MinTIC, 2020).

Sin embargo, podría existir un inconveniente que tiene que ver con las personas de escasos recursos que tienen dificultad de acceso a nuevas tecnologías, ya que en Colombia estos artículos, tales como: dispositivos o celulares inteligentes, hacen parte de la canasta familiar y estos a su vez necesitan el servicio de internet. El Gobierno Nacional desde hace mucho tiempo, sabe de los retos

que la transición de nuevas tecnologías traen consigo, y desde hace unos años ha tratado de ofrecer los medios para ocasionar el menor impacto pero, temas como el control y vigilancia de procesos, son los que en este momento han retrasado estos avances y son los que si no se tienen en cuenta, como lo menciona el Consultor Intven, terminarán marcando la diferencia entre el avance controlado y la desorganización de estos sistemas; esto hace que cada vez más los ciudadanos deban esforzarse un poco más para poder acceder a estos servicios y productos; de allí que todo esto lleva a generar muchos interrogantes a la hora que las personas deben contar con estos nuevos servicios, obtener la mejor calidad y una excelente cobertura (MinTIC, 2020).

El Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) anunciaron en 2019 avances en su propósito de aportar al cierre de la brecha digital con la publicación del Plan 5G definitivo y la apertura de la convocatoria para desarrollar los primeros pilotos en las regiones, desafortunadamente estos pilotos que aún se desarrollan, no han avanzado lo suficiente y desde el anuncio los operadores móviles han estancado sus esfuerzos en su desarrollo porque en este momento no es algo necesario si tomamos en cuenta que aún hay muchas zonas sin 4G, pero que con respecto a otros países, Colombia podría estar rezagada (Quiroga, 2015).

Todos los procesos que se están llevando a cabo en Colombia en cuanto a telecomunicaciones se basan en la actualización de las redes disponibles, el mejoramiento de la infraestructura y el recambio de los dispositivos inteligentes que permiten el acceso a estas tecnologías; sin tener en cuenta los aspectos antes mencionados de calidad, cobertura, accesibilidad por parte de la población y relación de obtención de paquetes recibidos al acceder a un servicio de pago (Quiroga, 2015).

Tal como se ha evidenciado, surge la necesidad de ahondar en que toda esta transición se basa en el paso de generaciones de tecnologías a una más reciente, en este caso las que dominan son 4G y 5G, esto indudablemente lleva consigo unos retos que deben solucionar no solo para los proveedores, sino para hacer que cada ciudadano obtenga los servicios que está pagando, que en una era digital como la actual, se le pueda garantizar el acceso y que nada de esto sea un impedimento para obtener un servicio más eficiente. Este proyecto se basa en la zona que se desea cubrir y el proceso para la predicción de parámetros que luego serán contrastados con los datos obtenidos a través de los recorridos muestrales en campo, el diseño propuesto y los valores obtenidos en dicha zona de cobertura; para brindar un buen servicio no necesariamente se requiere la implementación de más estaciones base, sino que se debe revisar la optimización de los sistemas instalados y el ajuste físico de los elementos en las estaciones base (Cañari, 2018).

Si de oportunidades de mejora se trata, se realizó en Colombia una subasta de espectro para mejorar el alcance a poblaciones más lejanas; pero no solo aplica para esas poblaciones, ya que también se está implementando infraestructura zonas urbanas, así se indica en *“Mejora de la cobertura en Colombia, con la asignación de espectro en 700 MHz y 2500 MHz*, y menciona que en Colombia el mayor alcance de cobertura de internet se concentra en las cabeceras municipales, esto genera una brecha digital geográfica para el país que puede aumentar y que tiene un impacto directo en la calidad de vida de los ciudadanos, es por eso que desde el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia se tomó la decisión de realizar una subasta de espectro en las bandas de 700 MHz, 1900 MHz y 2500 MHz con el objetivo final de conectar a todo el país” (Ávila y Afanador, 2019).

Para López Rubiano, “Las redes móviles a nivel mundial se han visto impactadas por un constante proceso de modernización de las tecnologías y servicios que prestan al usuario. Por lo

tanto, los servicios de voz se encuentran en constante crecimiento y han sido progresivamente acondicionados para ofrecer comunicaciones de alta calidad” (López, 2020). En Colombia la tecnología de cuarta generación (4G), es la de mayor avance y en ella se implementa el servicio de voz en alta definición, denominada como VoLTE o voz sobre LTE; pero este servicio no está desplegado completamente por los operadores en Colombia y esto, sumado a la falta de información brindada a los usuarios de telefonía móvil, aumenta la brecha en la desinformación de los servicios ofrecidos.

5. Objetivos

5.1 General:

Desarrollar una metodología para el cálculo de la zona de cobertura de estaciones base de telefonía móvil de la red 4G, basada en la calidad y potencia de señal recibida.

5.2 Específicos:

- Analizar las tecnologías disponibles en una zona determinada, de acuerdo con los operadores de telefonía móvil.
- Implementar un método basado en las tecnologías disponibles para conocer el estado real del servicio en la zona determinada en franjas horarias distintas.
- Analizar el comportamiento de los parámetros de calidad y potencia en una hora alto tráfico de los operadores de telefonía móvil.
- Seleccionar herramientas de diseño y post procesamiento de datos para obtener predicciones y contrastar resultados.

6. Justificación

Los servicios de telecomunicaciones móviles debido a que dependen de la evolución de nuevas tecnologías, son cruciales en la transformación de dicha comunicación a través de dispositivos y el medio que hace posible ese acercamiento. La Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), encargada de expedir *las reglas y normas para los mercados de los servicios de comunicaciones, postales y de televisión en Colombia. La CRC busca proteger los derechos de los usuarios, y maximizar su bienestar*” (CRC, 2023) indica en el artículo 2.1.1.2 sección 2.1.1.2.2 de la resolución CRC5111 de 2017 que: “*2.1.1.2.2. Libre elección. En todo momento, corresponde exclusivamente al usuario elegir el operador, los planes, los servicios y los equipos utilizados para acceder al servicio. En ningún caso se puede presumir su voluntad o consentimiento*” (Hernández, 2017) y en la sección 2.1.1.2.4 del mismo artículo “*2.1.1.2.4. Información. El usuario tiene derecho a recibir información clara, cierta, completa, oportuna y gratuita, para que pueda tomar decisiones conociendo las condiciones del servicio que le es ofrecido o prestado*” (Hernández, 2017).

De acuerdo a estos artículos, es responsabilidad exclusiva de los operadores de telefonía móvil, brindar información veraz y clara de los servicios que se ofrecen en cada zona del país, pero esto no sucede. De acuerdo con Invent, “si se desea que los servicios sean eficaces se debe reconocer la importancia de mecanismos de regulación para garantizar el proceso de conectividad y acceso a los servicios de información y por ello los primeros pasos son promover eficientemente los servicios de telecomunicaciones en un mercado competitivo y describir una obligación de los operadores a cumplir con normas regulatorias y fomentar mercados competitivos para promover un suministro eficiente de los servicios de telecomunicaciones” (Intven, 2000), esto indica que falta acompañamiento de las instituciones a cargo de este servicio y que los usuarios están

desprotegidos ante la publicidad que se le da a estas tecnologías y que no está totalmente desplegada y las zonas de cobertura no están definidas al público.

Las empresas de telefonía móvil deberían dar información de los parámetros que se miden en cada servicio de telefonía móvil que hace un usuario, como una llamada, el envío de un mensaje de texto o simplemente la navegación en internet y más aún el Ministerio de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) y la CRC (Comisión de regulación de comunicaciones), quienes deberían exigir la difusión de esta información y sancionar cuándo esta se vulnere; esto no se ejecuta en Colombia y es una de las razones de las falencias en el servicio de telefonía móvil. Esta relación es importante efectuarla porque es algo que se basa no en datos sino en percepción, no es algo que los usuarios de un operador puedan verificar de forma fácil y confiable, por ello es necesario tener conocimientos que ayuden a la población a que obtengan lo que en verdad están pagando y no lo que les toque.

Estas afectaciones a veces son imperceptibles y eso hace que la población sea aún más vulnerable. Se plantea que partiendo de una problemática general de casos de la vida cotidiana como elegir un buen operador, personas del área de la Ingeniería o al campo de las telecomunicaciones, puedan realizar este proceso para determinar los parámetros mencionados anteriormente y más aún en la academia; entendiendo la complejidad que esto resulta para personas alejadas de la Ingeniería y del común, este proceso a través de indicaciones con el uso de aplicaciones gratuitas y de fácil uso, también indica los pasos para que puedan descargarlas y obtener datos relacionados con el servicio de telefonía móvil de acuerdo al operador escogido.

A través del trabajo de grado propuesto se desarrolló un proceso metodológico como guía, que tomando como ejemplo la zona centro de la ciudad de Ibagué, Tolima, comprendida entre las calles 6 y 19, y las carreras 2 y 6, permitió el análisis de señales y características en el campo de

telecomunicaciones móviles como throughput, velocidad de carga y descarga de datos, calidad de servicio, cobertura de las estaciones base y en este caso, poder realizar un diseño de cobertura con unas mediciones reales de acuerdo a las especificaciones de cada estación base; asimismo, indicar el proceso de realización y los medios en que otras personas puedan realizar procesos con estas herramientas y hacer este tipo de análisis en otras zonas de importancia y con otras tecnologías estos estudios y hacer investigación partiendo de allí.

7. Marco Teórico

A continuación, se presenta una relación de la evolución de las tecnologías de telefonía móvil en el mundo y descripción de las estructuras según los tipos de transmisión. La arquitectura LTE con cada uno de los términos utilizados en el funcionamiento de la tecnología 4G, hace posible que se puedan entender el funcionamiento de la red, identificando cada uno de los conceptos y describiendo un a uno el proceso de evolución de cada una de las tecnologías. Actualmente se está implementando en muchos países la tecnología 5G, pero en Colombia, aunque se está instalando en algunas poblaciones, no está totalmente desarrollada, por ello la tecnología superior desarrollada, es 4G.

Cada una de estas tecnologías, han aportado en el avance tecnológico mundial, pero no significa que solo sean cuatro (4) generaciones tecnológicas, ya que cada una de ellas ha tenido fases de desarrollo hasta dar un salto que pueda diferenciar ese avance tecnológico y a partir de ahí definir los medios y mecanismos más eficientes para el desarrollo de estas tecnologías.

7.1 Generaciones de tecnologías de radiocomunicaciones

En la transición de la evolución de tecnologías de comunicaciones móviles, se han presentado diversas técnicas de multiacceso, es importante resaltar:

FDMA: por sus siglas en inglés Frequency Division Multiple Access (acceso múltiple por división de frecuencias), principalmente usado en redes móviles de GSM; el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que son distintos rangos de frecuencias asignados sin interferir entre sí (Moya, 2012).

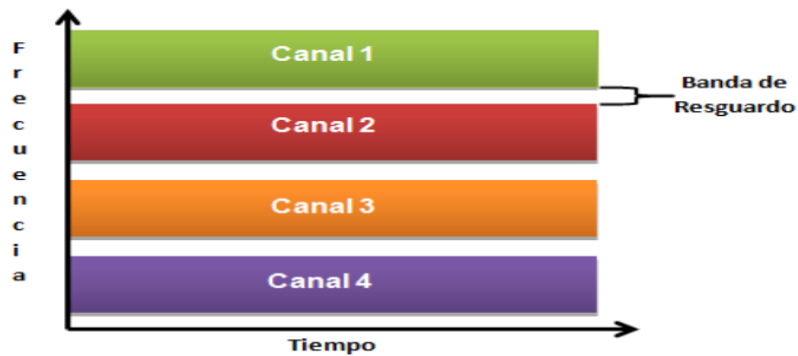


Figura 1: FDMA tiene bandas de frecuencias determinadas en cada canal con respecto al tiempo (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019)

TDMA: por sus siglas en inglés Time Division Multiple Access (acceso múltiple por división de tiempo), tipo de modulación digital que funciona dividiendo el ancho de banda de la frecuencia de las señales en diferentes cajas temporales y luego transmite las señales una a una (Moya, 2012).

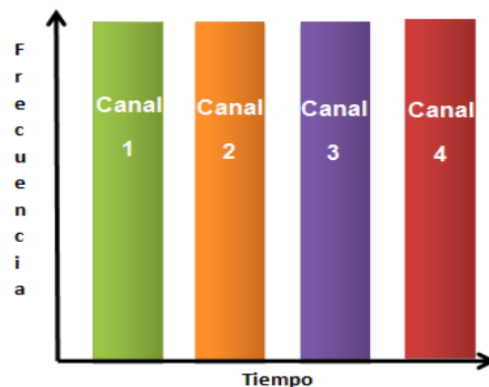


Figura 2: TDMA divide el tiempo en intervalos para formar tramas (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019)

CDMA: por sus siglas en inglés Code Division Multiple Access (acceso múltiple por división de código), en esta técnica permite acceso a solo un canal de transmisión y optimiza el uso del ancho de banda disponible, se usa en tecnologías de 2G y 3G (Moya, 2012).

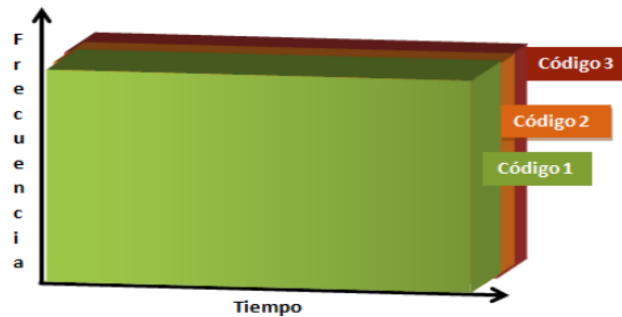


Figura 3: CDMA permite que varios usuarios ocupen el mismo espectro sin interferencias entre sí (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019)

SDMA: por sus siglas en inglés Space Division Multiple Access (acceso múltiple por división de espacio), esta técnica permite la multiplexación de varios usuarios dentro de un mismo espectro (Moya, 2012).

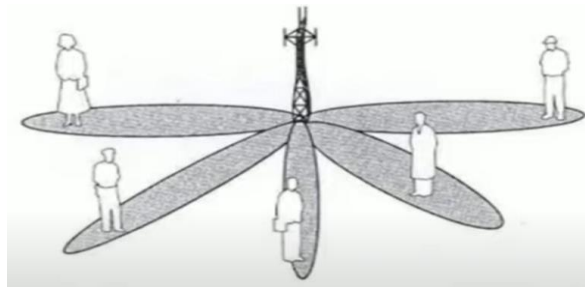


Figura 4: Transmite señales mediante conductos espaciales paralelos dentro de la zona de cobertura, permite la transmisión eficiente de frecuencias mientras los dispositivos están en movimiento (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019)

Transmite señales mediante conductos espaciales paralelos dentro de la zona de cobertura, permite la transmisión eficiente de frecuencias mientras los dispositivos están en movimiento (Cortés, Cerón y Gutiérrez, 2019)

A su vez, cada etapa en la evolución de tecnologías se les ha denominado como *generación* y tienen una gran incidencia en el acceso al *handover* y *roaming* para los usuarios; van identificadas del número de secuencia en que se presenta, aunque en el intermedio de algunas generaciones a otra han tenido modificaciones y también debe considerarse como una nueva generación; las generaciones de estas tecnologías son:

Primera generación: Creado principalmente para transmisión de voz, permite la transferencia de célula o handover con tiempos de conmutación menores a 500 milisegundos; este proceso de transferencia de célula lo lidera el centro de conmutación móvil MSC (Mobile Switching Center) con el esquema de handover controlado por la red NCHO (Network Control HandOver). Las medidas de señal las realiza la estación base (BTS) y se transmite al MSC, donde residen los mecanismos en ellos que se fundamenta el traspaso, lo que ocasiona una gran carga de tráfico.

Adicionalmente, la facilidad de registro, le permite al sistema conocer la ubicación del móvil en todo momento dentro de la zona de cobertura; no es posible la interconexión entre sistemas, por lo que no hay roaming (Acevedo y Díaz, 2019).

Segunda generación (2G): Conocido también como sistemas digitales entre ellos GSM, por sus siglas en inglés Global System for Mobile communications (sistema global para las comunicaciones móviles 2G) son sistemas orientados a soportar, además de la voz, los mensajes cortos o simples por sus siglas en inglés Short Message Service (servicio de mensajes cortos o servicio de mensajes simples) y la transmisión de datos, por lo que se espera que los retardos durante la transferencia de células sean tan cortos que no ocasionen interrupciones en la comunicación (Acevedo y Díaz, 2019).

Generación 2.5G: Esta generación es intermedia en la transición de 2G a 3G, principalmente se basa en GPRS por sus siglas en inglés General Packet Radio Service (servicio general de paquetes vía radio), que se diseñó para transferir paquetes utilizando la interfaz radio de GSM, y EDGE por sus siglas en inglés Enhanced Data Rates for GSM Evolution (tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM), así se superpone al sistema de GSM una red de transporte

IP, que trabaja en paralelo al núcleo clásico de GSM y cuya función es realizar la conmutación de paquetes y las conexiones a internet y otras redes de datos por paquetes (Acevedo y Díaz, 2019).

Tercera generación (3G): En esta generación GSM, TDMA y CDMA evolucionan con GPRS y EDGE hacia UMTS por sus siglas en inglés Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles), HSPA por sus siglas en inglés High-Speed Packet Access (acceso a paquetes de alta velocidad), HSPA+ que también se conoce como Evolved HSPA (HSPA evolucionado) y CDMA2000 (Irving y Ochang, 2016).

Generación 3.5 G: Conocida también como 3G+ o HSDPA por sus siglas en inglés High Speed Downlink Packet Access (acceso descendente de paquetes de datos a alta velocidad) que consiste en canal compartido en el enlace descendente que mejora considerablemente la capacidad máxima de transferencia de información (Irving y Ochang, 2016).

Generación 3.75G: Conocida también como 3.5G Plus, la evolución de HSDPA y es conocido como HSUPA por sus siglas en inglés High-Speed Uplink Packet Access (Acceso ascendente de paquetes a alta velocidad), que es lo inverso a 3.5G, ya que mejora la conexión de subida (Irving y Ochang, 2016).

Cuarta generación: Esta generación es en la se centra este proyecto de grado que comienza con la transición de LTE por sus siglas en inglés (Long Term Evolution) a 4G, donde LTE se basa en carga y descarga de datos y 4G representa la evolución de voz, donde se pueden hacer llamadas conocidas como alta definición o VoLTE (Irving y Ochang, 2016).

Generación 4G: Esta tecnología nació bajo el nombre de LTE, con la premisa de que en el futuro se convertiría en 4G, que a diferencia de la primera, esta se enfoca no solo en datos como la primera, sino que integra el servicio de voz; además de proporcionar alta velocidad, proporciona una disminución en el tiempo exacto que tarda un paquete de datos en ser transmitido de un punto

a otro, mejor conocido como *latencia*, calidad de servicio y optimización de paquetes dentro de un ancho de banda (Irving y Ochang, 2016).

Generación de LTE Advanced: LTE Advanced o también conocida como 4G+, está basado en la norma 3GPP que por sus siglas en inglés 3rd Generation Partnership Project, que trata de una serie de mejoras de los servicios ofrecidos por LTE; esto tiene como base una mejor eficiencia espectral de hasta 30bps/Hz, un ancho de banda variable desde 20 MHz hasta 100 MHz con hasta 5 portadoras de 20 MHz, mejoras en el uso de antenas, utilización de sistema MIMO por sus siglas en inglés Multiple-input Multiple-output (múltiples entradas – múltiples salidas), para esto hay varias configuraciones que se deben contemplar como 2x2, 4x2 y 4x4; esto se diferencian de los sistemas SISO por sus siglas en inglés Single Input-Single Output (una sola entrada – una sola salida) (Irving y Ochang, 2016).

7.2 LTE TDD y FDD

Desde hace aproximadamente 7 años se viene en una transición de tecnologías y liberación del espectro en el Colombia y el mundo, la idea es ir desconectando y desinstalando los servicios y equipos de tecnologías antiguas como GSM y poco a poco usar menos servicios con 3G, la idea es llegar a una transición rápida a 5G, pero mientras esto pasa, se debe instalar completamente en el país la tecnología 4G que es la más avanzada y completa hasta el momento. El tráfico de telefonía móvil se divide en dos líneas, una ascendente y otra descendente; estas líneas a su vez presentan dos modos de duplexación en LTE, los cuáles son LTE TDD por sus siglas en inglés Time Division Duplexing (Duplexación por División del Tiempo) y LTE FDD por sus siglas en inglés Frequency Division Duplexing (Duplexación por División de la Frecuencia).

7.2.1 LTE TDD

Se refiere a los enlaces de comunicación dúplex, donde el enlace ascendente está separado del enlace descendente por asignación de intervalos de tiempo diferentes, en la misma banda de frecuencia. Es un esquema de transmisión que permite el flujo asimétrico para la transmisión de enlace ascendente y descendente de datos (Yeung, 2017). Este sistema es usado por algunos operadores como WOM en Colombia para la tecnología de UMTS; su enfoque se encuentra en la caracterización del tiempo y no de la frecuencia como sucede con otros operadores nacionales.

7.2.2 LTE FDD

En esta característica actúan frecuencias de portadoras diferentes, que se dividen en enlace de subida y otro de bajada. En este esquema, el dispositivo móvil puede transmitir y recibir al mismo tiempo, una de sus principales características es que usa espectro apareado o emparejado, que consiste en utilizar dos diferentes bandas de frecuencia para la comunicación en enlace descendente y ascendente (Yeung, 2017).

7.3 Estructura LTE FDD – TDD

En la figura 1 se muestran los métodos de duplexación propuestos, FDD y TDD. En el primer método las transmisiones de UL y DL utilizan frecuencias distintas y en el segundo método la transmisión de UL y DL tienen franjas o regiones que no se solapan” TDD (Yonis, Abdullah, y Ghanim, 2012)

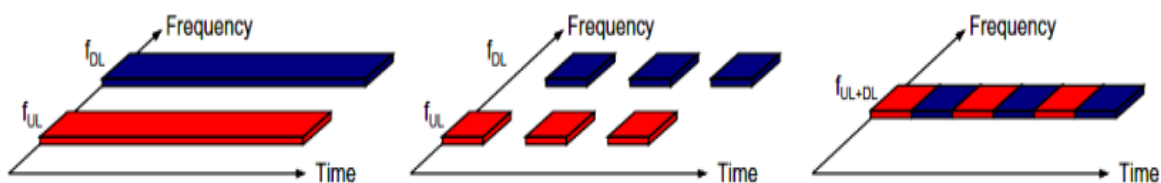


Figura 5: Frecuencias de los métodos de duplexación. FDD lado izquierdo, separación de tramas en el centro y lado derecho TDD (Yonis, Abdullah, y Ghanim, 2012)

En la figura 5 para el caso de FDD presenta de nuevo dos frecuencias que corresponden a UL y DL; durante cada trama hay diez subtramas de enlace ascendente y diez subtramas de enlace descendente. En el caso del TDD solo hay una portadora y las transmisiones de UL y DL se separan en el dominio del tiempo en cada célula (Yeung, 2017).

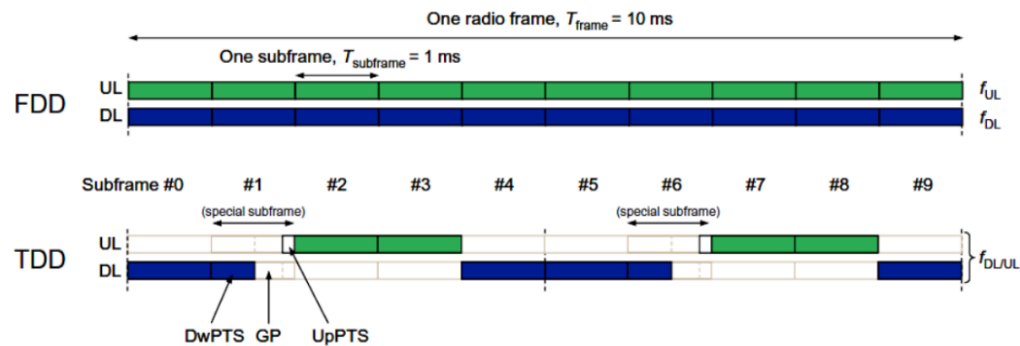


Figura 6: Tramas de enlace ascendente y descendente. FDD tiene dos bandas, una para UL y otra para DL en un espectro específico y en TDD hay una sola banda para UL o DL TDD (Yonis, Abdullah, y Ghanim, 2012)

En el modo FDD uplink y downlink usan frecuencias diferentes y en el modo TDD uplink y downlink usan diferentes ranuras en el tiempo, pero ambos operan en la misma frecuencia. En Colombia se usa el modo de transmisión FDD que alterna los datos de carga.

7.4 Arquitectura LTE

Módulo de identidad del suscriptor SIM (Subscriber Identity Module): la tarjeta SIM contiene los números de identificación del usuario y una lista de redes disponibles. La tarjeta. SIM también contiene las herramientas necesarias para la autenticación y el cifrado (Acevedo y Díaz, 2019).

Estación base (Base Transceiver Station): la estación transceptora base contiene las instalaciones para transmitir y recibir señales de radio. El trayecto de transmisión entre la estación móvil y la estación base se denomina interfaz Um (Irving y Ochang, 2016).

Controlador de Estaciones Bases (Base Station Controller): el BSC lleva a cabo el establecimiento, mantenimiento y liberación de las conexiones que se establecen en una célula. El BSC también gestiona la asignación de canales de radio y controla el traspaso de BTS a BTS (Irving y Ochang, 2016).

Centro de Conmutación (Mobile Switching Center): el MSC es una parte central del NSS que proporciona establecimiento de llamadas, enrutamiento de llamadas, conmutación de llamadas y traspaso de llamadas, conmutación y transferencia de llamadas (Irving y Ochang, 2016).

Puerto de enlace MSC (Gateway MSC): conecta el estándar UTMS a redes de conmutación de circuitos y ayuda en la terminación de la señalización RTPC (Irving y Ochang, 2016).

Registro General de Abonados (Home Location Register): el HLR es una base de datos central o base de datos de abonados de todos los abonados que están autorizados a utilizar la red GSM; también contiene los servicios individuales que están asociados a un abonado (Irving y Ochang, 2016).

Registro de Abonados Visitantes (Visitor Location Register): el VLR es una base de datos de todos los abonados que entran en itinerancia en un área servida por un MSC, pero no residen en ella (Irving y Ochang, 2016).

Centro de Autenticación (Authentication Center): el Centro de Autenticación (AUC) es un elemento que se utiliza para autenticar la tarjeta SIM de un abonado en la red (Irving y Ochang, 2016).

Registro de identidad de equipos (Equipment Identify Register): el EIR contiene una lista de teléfonos móviles controlados, robados o vetados de la red. Los teléfonos móviles se

identifican por su IMEI (identidad internacional de equipo móvil). internacional de equipos móviles) (Irving y Ochang, 2016).

Equipo de Usuario (User Equipment): es el equivalente de la estación móvil utilizada en la arquitectura GSM. La UE también utilizó una nueva tarjeta SIM llamada USIM, a la que se dotó de una función de control de prioridad de acceso por la que los abonados con alta prioridad, como la policía, podían seguir utilizando el sistema, aunque estuviera cerca de su capacidad (Poole, 2006).

Nodo-B evolucionado (Evolved Nodo B): con LTE, el eNodeB está equipado con una función de control de acceso inalámbrico y conectado directamente a una red central. Con un número reducido de capas de equipos que constituyen una red de acceso inalámbrico, este sistema se simplifica en comparación con los actuales sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación. Como resultado, este sistema permite una baja latencia en la transferencia de datos y el traspaso (Watanabe y Machida, 2012).

Entidad de gestión de movilidad (Mobility Management Entity): el MME es el nodo del plano de control responsable de gestionar las claves de seguridad y las transiciones entre la movilidad en estado inactivo y activo (Irving y Ochang, 2016).

Puerto de Enlace de Servicio (Serving Gateway): el S-GW es el nodo del plano de usuario en el EPC que se encarga de conectar la LTE RAN al EPC. El S-GW también funciona como un ancla de movilidad cuando los UEs se mueven de un eNodo B a otro y también gestiona los túneles de datos de usuario entre el eNodo B y la pasarela de red de paquetes de datos (PDet Data Network Gateway, PDG) (Irving y Ochang, 2016).

Puerto de Enlace hacia Red de Paquetes de Datos (PGW): el PDN-GW gestiona la conexión del EPC a Internet y también es responsable de dar direcciones IP a los terminales. de dar direcciones IP a los terminales (Irving y Ochang, 2016).

Servidor de suscriptores abonados (Home Subscriber Server): es el equivalente al HLR en la arquitectura GSM y contiene la base de datos de los abonados de la red. Los abonados de la red y se combina físicamente con el HLR para permitir la itinerancia sin fisuras entre dos redes de radio diferentes, también se conecta a la MME a través de la interfaz S6 (Irving y Ochang, 2016).

Handover: permite la movilidad de un usuario cuando este se encuentra en modo conectado, sin necesidad de interrumpir la llamada en curso (De La Bandera, Muñoz, Barco, R., Toril, M., y Luna-Ramirez, 2011).

CS Fallback Circuit Switch Fallback (CSFB): Consiste en una función para notificar a un terminal móvil una solicitud de llamada desde el dominio CS y funciones combinadas de gestión de la movilidad entre el dominio CS y el EPC a tal efecto". (Tanaka, Koshimizu y Nishida, 2009). Este servicio permite la conexión a redes inferiores a 4G y/o LTE cuándo está una llamada en curso, esto sucede siempre que el servicio esté conectado en primera instancia a 4G y/o LTE, luego si no se puede realizar esta llamada o recibirla, bajará a la tecnología inferior disponible que pueda aceptar la acción. Luego de que se ejecuta esto, al terminar la acción, retornará a la tecnología mayor disponible, en este caso 4G y/o LTE, si al hacer esta operación no lograr subir a la tecnología mayor, se reiniciarán los servicios en redes disponibles en el dispositivo móvil, hasta obtener acceso a la red superior.

7.5 Aplicaciones móviles para realizar mediciones de cobertura a operadores de telefonía móvil

Calidad Celular: aplicaciones que permiten a los usuarios de telefonía móvil, comparar la calidad de los servicios ofrecidos por los operadores. Estas herramientas muestran las zonas con cobertura de red, la calidad de los servicios, tecnologías disponibles y algunas ubicaciones de la infraestructura de cada operador de telefonía.

Speed Test: aplicación que permite el test de velocidad de carga y descarga de datos, pruebas de paquetes y latencia. Los operadores de telefonía móvil, tienen sus propias aplicaciones y páginas web para estas pruebas, pero hay aplicaciones que presentan, además, las zonas con mejor servicio.

Network Cell Info: Network Cell Info es una completa aplicación de monitorización de redes móviles y Wi-Fi que incorpora herramientas de medición y diagnóstico (5G, LTE+, LTE, CDMA, WCDMA, GSM). Network Cell Info puede ayudarle a solucionar sus problemas de recepción y conectividad a la vez que le mantiene informado sobre su cobertura móvil local (M2Catalyst, 2023).

7.6 Herramientas de medición, procesamiento y diseño

Nemo Handy: permite realizar pruebas de calidad de voz en tiempo real, forzar comandos para sistema, banda, bloqueo de portadora, SC, canal y bloqueo de PCI para dispositivos seleccionados, mapa interior con marcadores y coordenadas geodésicas, compatibilidad con pruebas VoLTE y pruebas de agregación de portadoras (KEYSIGHT, 2023).

G – NetTrack Pro: es una herramienta de monitorización de redes inalámbricas y drive test para dispositivos con sistema operativo Android. Permite monitorizar y registrar los parámetros de la red móvil sin necesidad de utilizar equipos especializados. Puede ser utilizado

por profesionales para obtener una mejor visión de la red o por los entusiastas de la radio para aprender más acerca de las redes inalámbricas. Se puede utilizar incluso si sólo quieres hacer una representación sencilla de tu ruta recorrida (Gyokov, 2023).

G – NetView Pro: es una aplicación de Android para el procesamiento posterior y el análisis de los archivos de registro de G-NetTrack y G-NetLog (Gyokov, 2023).

Nemo outdoor: permite medir la calidad real de la experiencia del usuario, admite todas las etapas del ciclo de vida de la red móvil, desde el despliegue, la optimización y la evaluación comparativa, hasta la supervisión y el control de la red, detección de vecino faltante, contaminación piloto, análisis de interferencia de canal cocanal y canal adyacente, escaneo de banda móvil, permite pruebas en LTE y LTE-A (Cat 6-18, VoLTE/ ViLTE, VoWiFi/ViWiFi y pruebas eMBMS), HSPA+ DC, WCDMA, GSM, 1xEVDO, CDMA, iDEN, WiMAX, TD-SCDMA, TETRA (KEYSIGHT, 2023).

Xirio: Es la manera más rápida y económica de realizar simulaciones profesionales de cobertura radioeléctrica en cualquier parte del mundo en entornos rurales y urbanos utilizando cartografía de alta resolución (Xirio, 2023).



Figura 7: Vista de página principal de Xirio Online para hacer registro e ingreso (Xirio, 2023)

Xirio Online ofrece el uso de cartografía urbana y rural de alta resolución de todo el mundo, permite calcular, compartir y publicar resultados de planificación en cobertura radioeléctrica. Esta

versión es ideal para que cualquier persona pueda hacer pruebas, dispone de dos métodos para hacer los estudios, de pago y no pago. Las dos formas de estudios, hacen lo mismo, la diferencia entre el pago y no pago es la resolución a la hora de mostrar los resultados; si se toma la forma paga, solo basta con hacer el estudio y el software mostrará el valor que se debe pagar por los servicios. Existe una versión denominada XirioCorp funcionalidades especializadas para las empresas y que permite obtener otros datos, la versión Online es ideal para todo lo que nos ofrece una estación base.

7.7 Modelos de propagación

Después de determinar las características LTE de las redes de Claro y WOM hasta la banda 2.6 GHz, se verifica la complejidad del análisis de cobertura por el tráfico de datos y todo lo que puede afectar a las redes en estudio. La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), que el organismo de las Naciones Unidas encargado de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) desde la radiodifusión digital a Internet, y de las tecnologías móviles a la televisión 3D, tiene actualmente 193 países asociados y los sectores públicos y privados toman en cuenta las normas de este organismo para el desarrollo de los sistemas mencionados.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT en su recomendación UIT-R P.1238 *“ofrece directrices sobre la propagación en interiores en la gama de frecuencias comprendida entre 900 MHz y 100 GHz y que dicha Recomendación debe consultarse en las situaciones en que se presentan condiciones de propagación en interiores y en exteriores, asimismo determina entornos de funcionamiento físico y degradaciones de la propagación”* (Telecomunicaciones, 2016), como:

| Entorno | Descripción y degradaciones de la propagación significativas |
|---------------------------------------|--|
| Urbano de construcción alta | <ul style="list-style-type: none"> – Valle urbano, caracterizado por avenidas con edificios altos de varios pisos – La altura de los edificios reduce la probabilidad de una contribución significativa de la propagación que pasa por encima de las azoteas – Las hileras de edificios altos hacen posible la existencia de largos retardos de trayecto – El gran número de vehículos en movimiento en la zona actúa como reflector, lo que añade una deriva Doppler a las ondas reflejadas |
| Urbano/suburbano de construcción baja | Urbano/suburbano de construcción baja |
| Zona residencial | <ul style="list-style-type: none"> – Construcciones de uno y dos pisos – Las calles suelen ser de doble dirección con vehículos estacionados a ambos lados – Es posible que haya vegetación densa a ligera – Tráfico motorizado generalmente ligero |
| Rural | <ul style="list-style-type: none"> – Pequeñas casas rodeadas de amplios jardines – Influencia de la altura del terreno (topografía) – Posibilidad de vegetación densa a ligera – Tráfico motorizado ocasionalmente elevado |

Tabla 1: Descripciones y degradaciones de propagación según el entorno y tipo de construcciones (Telecomunicaciones, 2016)

En los sistemas de comunicaciones intervienen múltiples factores y uno de ellos es el modelo de propagación; estos modelos son complicados de realizar por la complejidad de datos para rangos del espectro electromagnético y sistemas numéricos basados en estadísticas en zonas determinadas.

“Los modelos de propagación de la telefonía móvil están dirigidos principalmente a predecir la potencia recibida de una señal emitida a una determinada distancia del transmisor, así como sus variaciones en la cercanía de un punto de interés. Para tal fin, numerosos autores entre los que destacan Okumura y col. (1968), Hata (1980), Delisle y col. (1985), Iskander y Yun (2002), Galvis y col. (2007), Ignea y Mihăiupu (2008), Patel y col. (2010), entre otros, han propuesto y

adaptado modelos de propagación electromagnética a las telecomunicaciones, que varían en su enfoque, complejidad y precisión” [33].

Los modelos mencionados anteriormente varían de acuerdo a la dificultad, precisión, áreas de cobertura, tecnologías a estudiar, frecuencias, tipo de estudios, entre otros.

Según la recomendación UIT-R P.1411-1, indica una situación típica de propagación en zonas urbanas:

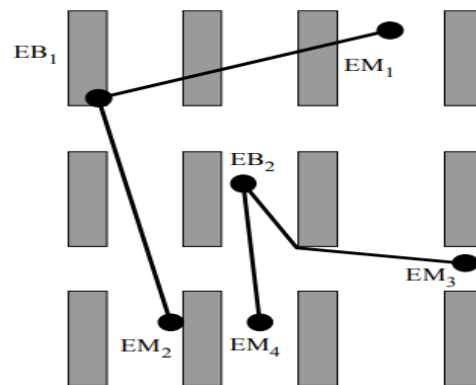


Figura 8: Situación donde la EB1 está implementada en una azotea y la propagación de EB1 se produce principalmente a esa misma altura y en la EB2 está por debajo de la EB1 (Telecomunicaciones, 2016)

La Figura 8 representa cuatro situaciones de geometrías de estación de base (EB) y de estación móvil (EM). La estación de base EB1 va montada por encima del nivel de las azoteas. La célula correspondiente es una pequeña macrocélula. La propagación desde esta estación de base se produce principalmente por encima de las azoteas. La estación de base EB2 va montada por debajo del nivel de las azoteas y define un entorno de micro o picocélula. En estos tipos de célula, la propagación se produce principalmente en el interior de conductos de calles (Telecomunicaciones, 2016).

También describe la propagación por encima de las azoteas sin visibilidad directa. A continuación, se describe un caso típico de este,

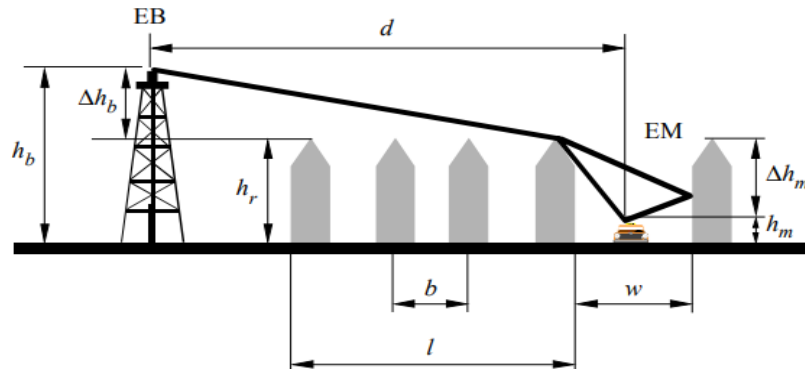


Figura 9: Propagación sin visibilidad directa por encima de azoteas a partir de una estación base de tipo torre, donde se representa el alcance a un vehículo en movimiento (Telecomunicaciones, 2016)

Los parámetros pertinentes de esta situación son:

h_r : altura media de los edificios (m)

w : anchura de la calle (m)

b : separación media entre edificios (m)

ϕ : orientación de la calle respecto al trayecto directo (grados)

h_b : altura de la antena de la EB (m)

h_m : altura de la antena de la EM (m)

l : longitud del trayecto cubierto por edificios (m)

d : distancia desde la EB a la EM.

Para el diseño y predicción de cobertura de exteriores, se deben contemplar los efectos de la vegetación, los árboles por sus características robustas, son los que más afectan estas predicciones en la propagación; en estos casos se debe contemplar la propagación a través de los árboles que no sea alrededor ni por encima y la propagación sobre los mismos.

En la propagación a través de los árboles, predomina para las geometrías en las que ambas antenas están por debajo de la copa de los árboles y la distancia a través de ellas es pequeña

(Telecomunicaciones, 2016) y en la propagación sobre ellos, predomina para aquellas geometrías en las que una antena está por encima de las copas de los árboles. La atenuación resulta muy afectada por la dispersión multitrayecto debida a la difracción de la energía de la señal sobre las estructuras de los árboles y a través de éstas. Para la propagación a través de los árboles, la Recomendación UIT-R P.833 indica la atenuación específica en la vegetación. Para las situaciones en que la propagación se efectúa sobre los árboles, la difracción es el modo principal de propagación sobre los flancos de los árboles que están más próximos a la antena baja (Telecomunicaciones, 2016).

Para determinar un modelo de propagación a usar, se deben estudiar los modelos más reconocidos, tales como: modelo UIT – R, modelo de Lee, modelo Sakagami – Kuboi, modelo de propagación del espacio libre, modelo Longley – Rice, modelo Durkin, modelo Okumura, modelo Ikegami, modelo Okumura – Hata, modelo Walfish – Bertoni y modelo COST – 231. Estos cinco (5) últimos métodos son los más utilizados en el campo de la investigación. Los modelos de propagación se pueden clasificar en dos tipos, modelos outdoor o exteriores y modelos indoor o interiores; es difícil decir si un modelo es mejor que otro ya que depende del tipo de estudio, características geográficas, población, entre otros; las zonas se dividirán por células, macrocélulas y microcélulas. Una célula es cada una de las unidades básicas de cobertura en que se divide un sistema celular (Vaca, 2015).

Al revisar cada uno de los modelos de propagación, es importante tener en cuenta las frecuencias en las que tienen un mejor comportamiento, evaluando su rendimiento, revisión de pérdidas y las variables que hacen más eficiente un modelo que a otro.

La cobertura se representa como la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones base y viceversa. Teóricamente son hexágonos regulares o celdas, pero en la

práctica, toman muy distintas formas, debido a la presencia de obstáculos, a la orografía cambiante de la celda y a las características de propagación de las antenas radiantes (Vaca, 2015).

7.7.1 Estudio de modelos de propagación

7.7.1.1 Modelo de propagación en el espacio libre

Este modelo se utiliza para predecir la potencia de la señal cuando entre el transmisor y el receptor existe una clara línea de vista; afirma que la potencia recibida decae como función de la distancia de separación entre el transmisor y receptor elevada a alguna potencia.

$$Pr(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Ecuación 1: Ecuación de Friss que relaciona la potencia recibida en el espacio libre por una antena receptora, la cual está separada de la antena transmisora una distancia d (Telecomunicaciones, 2016)

Donde:

$Pr(d)$ Potencia recibida; la cual es función de la separación T-R (transmisor-receptor) (dB)

P_t Potencia transmitida (dB)

G_t Ganancia de antena transmisora (dBi)

G_r Ganancia de la antena receptora (dBi)

λ Longitud de onda en metros (m)

d Distancia de separación de T-R (m)

L pérdidas del sistema no atribuibles a la propagación (m)

Las pérdidas en el espacio libre están dadas por:

$$L = 32.44 + \text{Log}_{10}(d) + \text{Log}_{10}(f) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Ecuación 2: Pérdidas por trayectoria en el espacio libre, donde se describe la pérdida de propagación ideal de una señal dentro de un espacio en el que solo están las dos antenas de transmisión y recepción. (Telecomunicaciones, 2016)

Donde:

L Pérdidas por la trayectoria [dB]

f Frecuencia en [Hz]

d Distancia [m]

7.7.1.2 Modelo de Propagación Okumura

Este es uno de los modelos más utilizados para la predicción de señales en ambientes urbanos, caso concreto sistemas móviles. Para frecuencias entre 100 MHz y 3000 MHz y distancias entre 1 km. y 100 km (Vaca, 2015).

$$L[\text{dB}] = L_f + A_{mu} - G(h)_t - G(h)_r - G_{area} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Ecuación 3: Modelo utilizado para sistemas móviles para ambientes interiores y exteriores, donde las pérdidas de propagación aumentan con la distancia de referencia (Telecomunicaciones, 2016)

Donde:

$L[\text{dB}]$ Atenuación por trayectoria (dB)

L_f Atenuación en espacio libre (dB)

A_{mu} Atenuación relativa promedio (dB)

$G(h)_t$ Ganancia de la antena de transmisión con altura h_t (dBi)

$G(h)_r$ Ganancia de la antena de recepción con altura h_r (dBi)

G_{area} Ganancia debido al tipo de ambiente (dBi)

Las pruebas realizadas por Okumura demostraron que la ganancia de la altura de la antena de transmisión varía a un índice de 20 dB por década y la ganancia de la antena receptora varía a un índice de 10 dB por década para alturas menores a 3 m, por lo que llegó a comprobar lo siguiente:

$$\text{Para } 30 \text{ m} < h_{tx} < 1000 \text{ m } G(h_{tx}) = 20 \text{Log}_{10} (h_{tx}/200) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Ecuación 4: Ganancia de la altura de la antena de transmisión para longitud de 30 m (Telecomunicaciones, 2016)

$$\text{Para } h_{rx} < 3 \text{ m } G(h_{rx}) = 10 \text{Log}_{10} (h_{tx}/3) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Ecuación 5: Ganancia de la altura de la antena de transmisión para longitud de 3 m
(Telecomunicaciones, 2016)

$$\text{Para } 3 \text{ m} < h_{rx} < 10 \text{ m } G(h)_{rx} = 20 \text{Log}_{10} (h_{tx}/3) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Ecuación 6: Ganancia de la altura de la antena de transmisión para longitud de 10 m
(Telecomunicaciones, 2016)

7.7.1.3 Modelo de Propagación Okumura – Hata

Modelo empírico, limitado en frecuencias, es efectivo hasta 1500 MHz. Las pérdidas consideradas por este modelo están dadas por la siguiente ecuación, de acuerdo a [36]:

$$L(\text{urb})[\text{dB}] = 69.55 + 22.16 \text{Log}_{10}(f_c) - 13.16 \text{Log}_{10}(h_{tx}) \dots \\ - a(h_{rx}) + (44.9 - 6.55 \text{Log}(h_{tx})) \text{Log}(d) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Ecuación 7: Modelo de pérdida de propagación en función de frecuencia, distancia y altura de las antenas de la estación base con respecto al móvil (Rubio y Rozo, 2014)

Donde:

f_c Frecuencia de la portadora en Hz

h_{tx} Altura de la antena transmisora en metros, válido para $30 \text{ m} < h_{rx} < 200 \text{ (m)}$

h_{rx} Altura antena receptora en metros, válido para $1 \text{ m} < h_{rx} < 10 \text{ (m)}$

$a(h_{rx})$ Factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil, depende del tipo de ciudad.

d Distancia entre transmisor y receptor (m)

El factor de corrección de altura puede tomar distintos valores dependiendo del ambiente en el cual se desarrolle el estudio de propagación, entonces $a(h_{rx})$ se define según la ciudad.

$$a(h_{rx})[\text{dB}] = [1.1 \log \log (f_c) - 0.7] h_{rx} - (1.56 \log_{10}(f_c) - 0.8) \quad \text{Ecuación (8)}$$

Ecuación 8: Factor de corrección de altura dependiendo del ambiente y la altura del móvil para ciudades pequeñas o medianas (Rubio y Rozo, 2014)

$$a(h_{rx}) [dB] = 3.2[\log[11.75 h_{rx}]]^2 - 4.79 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Ecuación 9: Factor de corrección de altura dependiendo del ambiente y la altura del móvil para ciudades grandes (Rubio y Rozo, 2014)

Aunque el modelo está definido para ambientes urbanos, también existen correcciones para el cálculo de las pérdidas en ambientes suburbanos y rurales, se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$L[dB] = L(urb) - 2 \left(\log_{10} \left(\frac{f_c}{28} \right) \right)^2 - 5.4 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Ecuación 10: Factor de corrección de altura dependiendo del ambiente y la altura del móvil para áreas suburbanas (Rubio y Rozo, 2014)

$$L[dB] = L(urb) - 4.78 \log_{10}(f_c)^2 + 18.33 \log_{10}(f_c) - 40.94 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Ecuación 11: Factor de corrección de altura dependiendo del ambiente y la altura del móvil para áreas rurales (Rubio y Rozo, 2014)

Debido al creciente uso de frecuencias mayores para las comunicaciones móviles, el modelo Okumura - Hata se amplió para estas frecuencias, de donde nació el modelo COST 231 (Vaca, 2015).

7.7.1.4 Modelo de Propagación COST 231

Modelo desarrollado por la Cooperativa Europea para Investigación Científica y Técnica. Este modelo es una extensión en frecuencia del modelo de Okumura-Hata. Modelo generalmente utilizado para frecuencias menores a 2000 MHz, también es usado en predicciones para 2.5 GHz. El modelo puede ser extrapolable a 3.5 GHz asumiendo una menor precisión de los resultados, de acuerdo a lo mencionado. (COST,1999).

$$L(urb)[dB] = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_{tx}) \dots \\ - a(h_{rx}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{tx})) \log(d) + C_m \quad (\text{Ecuación 12})$$

Ecuación 12: Pérdidas de propagación calculada con la sumatoria de la pérdida de propagación en condiciones de espacio libre, pérdida por difracción en el lugar de ubicación del receptor y pérdida por difracción en techo de edificios (Telecomunicaciones, 2016)

Donde:

C_m es un factor de corrección para adecuar el modelo, extendiendo el rango de la frecuencia.

El factor de corrección se basa en pruebas semi empíricas, demostrando que para grandes ciudades es mayor que para áreas suburbanas. Puede tomar los siguientes valores:

$C_m = 0 \text{ dB}$ para ciudades medianas y áreas suburbanas

$C_m = 3 \text{ dB}$ para centros metropolitanos

EL valor de la ganancia $a(h_{rx})$ corresponde al resultado de las mismas ecuaciones descritas para el modelo Okumura-Hata

7.7.1.5 Esquema de clasificación de modelos de propagación que se pueden proponer:

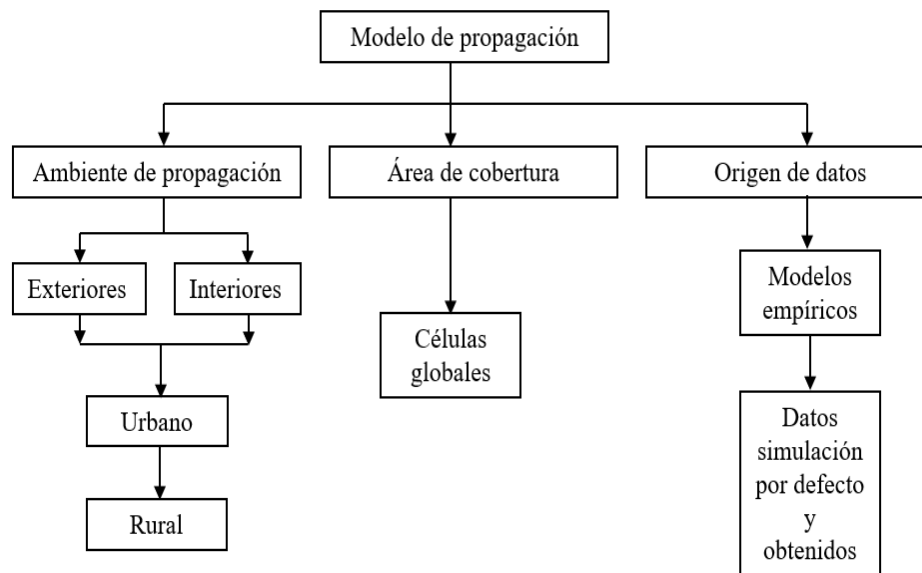


Figura 10: Modelo de propagación experimental propio que se puede comparar en funcionalidades con los modelos empíricos y determinísticos conocidos (Fuente: propio)

7.7 Modelo de propagación usado en la herramienta Xirio Online

Procedimiento que se empleó para estimar la propagación de las ondas electromagnéticas por el espacio. Se decidió utilizar un modelo de simulación que se emplea en cada caso en función del entorno en el cual se realiza el despliegue de red, la tecnología empleada, las bandas de frecuencias de trabajo y la calidad de la información cartográfica disponible para modelar el terreno. Al crear un estudio nuevo, Xirio propone por defecto el método más adecuado para el cálculo que se quiera realizar. Alternativamente, el método de cálculo se puede crear desde cero o mediante el catálogo.

Un método de cálculo se caracteriza por diferentes parámetros. Algunos de ellos son comunes a todos los métodos de propagación, otros parámetros básicos son comunes para la mayoría de métodos de cálculo y otros son más específicos dependiendo del método de propagación seleccionado.

7.8 Recomendación UIT-R P.1411

Métodos determinísticos válidos en la gama de frecuencias de 800 MHz a 5 GHz. Recomendados para entornos urbanos en servicios móviles y acceso de banda ancha. Requieren cartografía urbana con información de edificios.

Tipo de terreno: ciudades de tamaño medio o centros metropolitanos.

7.9 Frecuencias de operación de LTE

En el mundo hay dos estándares acerca de las tecnologías de telefonía móvil y su rango de operación en frecuencias, estas son 3GPP por sus siglas en inglés 3rd Generation Partnership Project (Proyecto de Sociedad de Generación) que cubre las tecnologías de telecomunicaciones celulares, incluido el acceso por radio, la red central y las capacidades de servicio, que brindan una

descripción completa del sistema para las telecomunicaciones móviles. Esta asociación desarrolló especificaciones de redes móviles de tercera generación y superiores con el fin de ayudar en el mundo de conexiones más rápidas, estables y al alcance de las poblaciones más lejanas.

El segundo estándar es WRAN por sus siglas en inglés Wireless Regional Area Network (Red de área regional inalámbrica) o IEEE 802.11 por sus siglas en inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), también busca la mayor cobertura, velocidad, ampliación de capacidad y emplea técnicas en la que, tanto las redes como los nodos inalámbricos de transmisión o de recepción cambian parámetros sin interferir con los usuarios, este último proceso denominado radio cognitiva (Cárdenas, Sáenz, Bedoya, 2015).

7.9 Características de 3Gpp y WRAN

| Servicios | 3GPP | WRAN |
|---------------------|---|--------------------------------|
| | Fijos y móviles en datos y voz | Fijos de voz y datos |
| Bandas de operación | 700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2.1 GHz, 2.5 GHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz | 54 MHz a 862 MHz |
| Ancho de banda | 1.25, 1.24, 2.5, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz | 6. 7 y 8 MHz |
| Duplexación | FDD o TDD | FDD o TDD |
| Tasa de transmisión | 100 Mbps (DL) y 50 Mbps (UP) | Desde 4,5 Mbps hasta 22,7 Mbps |
| Cobertura típica | 0.3 a 5 Km | 33 km |

Tabla 2: Datos de características de los modelos 3GPP y WRAN de acuerdo a los servicios disponibles (Cárdenas, Sáenz, Bedoya, 2015).

7.9.1 Bandas de operación globales

| Banda | UL (Enlace ascendente) | DL (Enlace descendente) | Duplexación |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 1920 - 1980 MHz | 2110 - 2170 MHz | FDD |
| 2 | 1850 - 1910 MHz | 1930 - 1990 MHz | FDD |
| 3 | 1710 - 1785 MHz | 1805 - 1880 MHz | FDD |
| 5 | 824 - 849 MHz | 869 - 894 MHz | FDD |
| 7 | 2500 - 2570 MHz | 2620 - 2690 MHz | FDD |

Tabla 3: Bandas de operación de operadores de telefonía móvil en Colombia (Cárdenas, Sáenz, Bedoya, 2015).

7.9.2 Banda de operación por operadores en Colombia

| Operador | Banda (MHz) 3G | Banda (MHz) 4G |
|-----------------|--|--|
| Claro | B2 (1900), B5 (850) | B2 (1900), B5 (850), B7 (2600), B28a (700) |
| Movistar | B2 (1900), B5 (850) | B2 (1900), B4 (1700/2100 AWS 1), B5 (850) |
| Tigo | B2 (1900) | B2 (1900), B4 (1700/2100 AWS 1), B28a (700) |
| ETB | B2 (1900) | B4 (1700/2100 AWS 1), B28a (700) |
| WOM | B2 (1900), B4 (1700/2100 AWS A-F), B5 (850) | B4 (1700/2100 AWS 1), B7 (2600), B28a (700) |

Tabla 4: Datos de rango de operación de bandas en enlace ascendente y descendente con su tipo de duplexación (Cárdenas, Sáenz, Bedoya, 2015).

7.10 Parámetros de calidad LTE

RSSI (Received Signal Strength Indicator): es la potencia total obtenida por el UE en toda la banda de frecuencia, incluida la potencia de las señales principales, las señales no de servicio cocanal, la interferencia de canal adyacente e incluso el ruido térmico en la banda de frecuencia especificada.

RSRP (Reference Signal Received Power): es un promedio lineal de la potencia de la señal de referencia en un ancho de banda específico.

RSRQ (Reference Signal Received Quality): proporciona información sobre la interferencia y la intensidad de la señal deseada.

SINR (Signal to Interference & Noise Ratio): mide la calidad de la señal: la fuerza de la señal deseada en comparación con la interferencia y el ruido no deseados.

SNR (Signal to Noise Ratio): relación entre el cuadrado de la amplitud o la varianza de una señal en relación con la varianza del ruido.

PCI (Physical Cell ID): identificador de celda en la capa física que se puede usar para crear señales de sincronización, incluidas señales de sincronización primarias (PSS) y señales de sincronización secundarias (SSS).

CQI (Channel Quality Indicator): indicador de calidad de un canal

TAC (Tracking Area Code): identificador para seguimiento y es único dentro de una red móvil terrestre.

Serving System: parámetro que identifica la tecnología en la que se hace la prueba.

Channel Number: identifica el canal correspondiente del operador

Throughput: tasa de transferencia efectiva

Scrambling code: identifica celdas entre sí en redes WCDMA

7.11 Áreas de cobertura

La cobertura se representa como la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones base y viceversa. Teóricamente son hexágonos regulares o celdas, pero en la práctica, toman muy distintas formas, debido a la presencia de obstáculos, a la orografía cambiante de la celda y a las características de propagación de las antenas radiantes (Vaca, 2015).

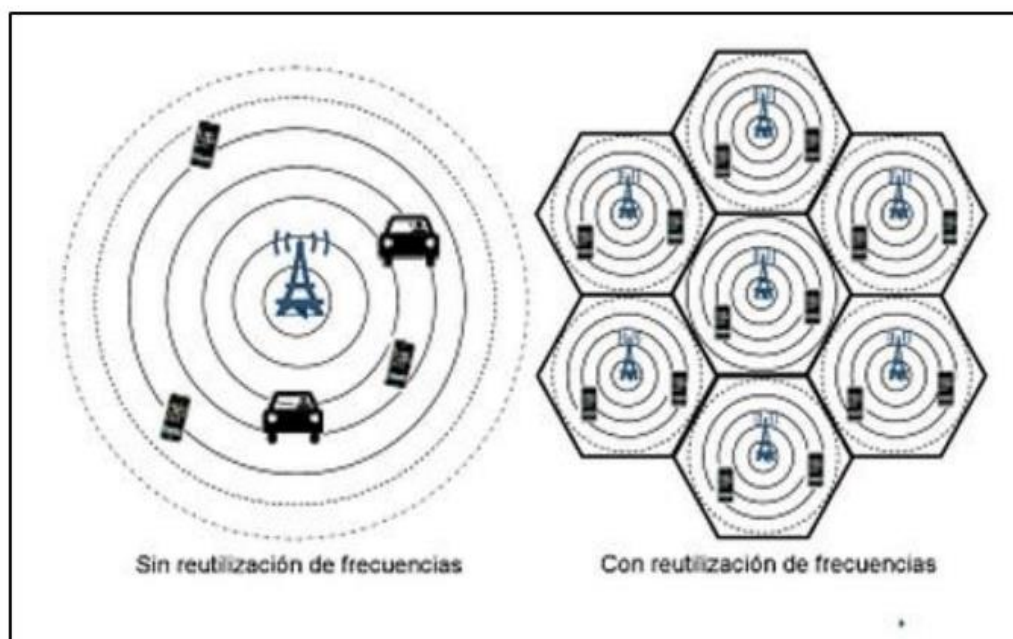


Figura 11: Distribución de células en una zona de cobertura, ocupando el espacio en forma de hexágonos regulares (Vaca, 2015)

Según la Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT, define los tipos de células como:

| Tipo de célula | Radio de la célula | Posición típica de la antena de la estación de base |
|-----------------------|---------------------------|---|
| Pequeña macrocélula | 0,5 a 3 km | Exteriores; montada por encima del nivel medio de las azoteas; las alturas de algunos edificios circundantes pueden ser superiores a la de la antena de la estación de base |
| Microcélula | 100 a 500 m | Exteriores; montada por debajo del nivel medio de las azoteas |
| Picocélula | Hasta 100 m | Interiores o exteriores (montada por debajo del nivel máximo de las azoteas) |

Tabla 5: Tipos de células de acuerdo a sus características de rango y su mejor ubicación interior y/o exterior (Telecomunicaciones, 2016)

El emplazamiento consiste en la ubicación para instalación de infraestructura de telecomunicaciones, en este caso para el servicio móvil utilizando sus distintas presentaciones de instalación, como torres autosoportadas, mampostería, azoteas, entre otras. Esto implica las simulaciones para el diseño de cobertura y desarrollar todo lo necesario para soportar las tecnologías que se desean implementar (Vaca, 2015).

7.12 Antenas

En la actualidad hay una gran variedad de antenas que son elementos pasivos que están diseñadas para transmitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. En el campo de telecomunicaciones móviles hay una gran variedad disponible como las de polaridad dual, dipolo, monopolo, arreglo de dipolos, logarítmicas, Helicoidal, Piramidal, entre otras (Huidobro, 2013).

No importa el tipo de antena que se use, siempre y cuando esté dentro de lo que se quiere implementar, lo importante de las antenas son sus características y en gran medida su patrón de radiación, ganancia, directividad y polarización. Las antenas se pueden clasificar en SISO (solo una entrada - solo una salida, MIMO (múltiples entradas - múltiples salidas). SIMO (solo una entrada - múltiples salidas) y MISO (múltiples entradas - solo una salida), de acuerdo a esto:

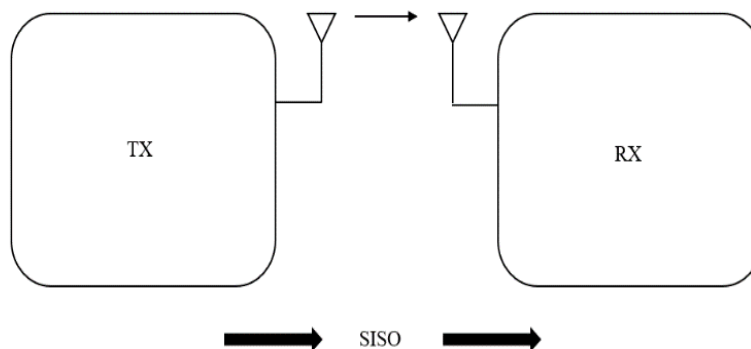


Figura 12: Descripción del modo de antenas SISO desde la transmisión (TX) hasta la recepción (RX) (fuente: propia)

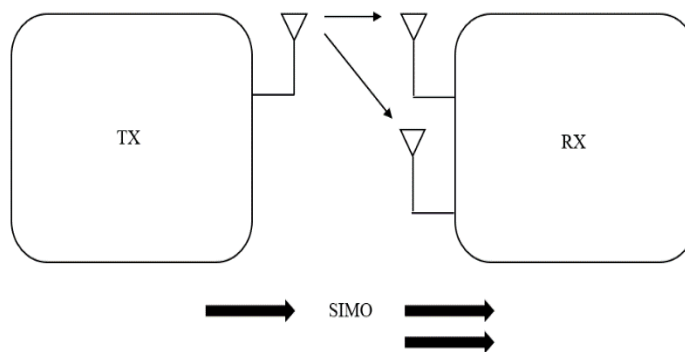


Figura 13: Descripción del modo de antenas SIMO desde la transmisión (TX) hasta la recepción (RX) (fuente: propia)

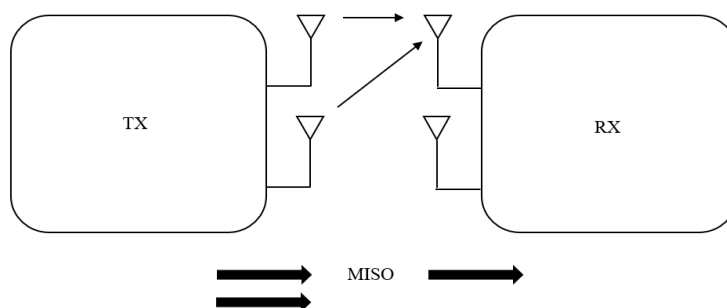


Figura 14: Descripción del modo de antenas MISO desde la transmisión (TX) hasta la recepción (RX) (fuente: propia)

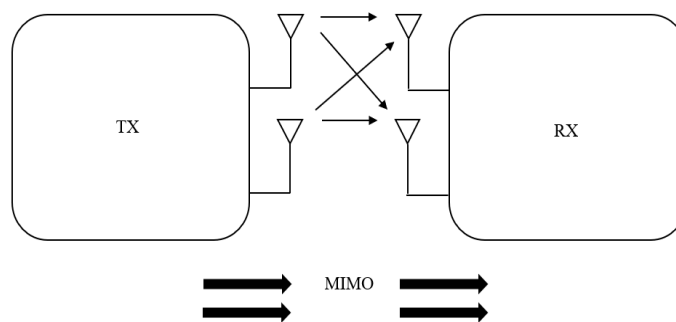


Figura 15: Descripción del modo de antenas MIMO desde la transmisión (TX) hasta la recepción (RX) (fuente: propia)

8. Marco Legal

En esta sección se tienen en cuenta consideraciones técnicas y legales de los entes regulatorios nacionales e internacionales, referentes a sistemas de comunicaciones móviles, que permiten la implementación, seguimiento y regulación de dichos sistemas. Más allá de ser temas legales, se refiere a recomendaciones en la instalación de estos sistemas que a la vez brindan la normativa internacional a seguir como base de estandarización, definiendo también, los deberes y derechos del operador de telefonía móvil y el consumidor, así como también el papel de las entidades nacionales encargadas de la regulación de estos servicios.

Ley 1341 de 2009 y sus consideraciones en materia de despliegue de infraestructura

La presente ley determina el marco general para la formulación de las políticas públicas que regirán el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, su ordenamiento general, el régimen de competencia, la protección al usuario, así como lo concerniente a la cobertura, la calidad del servicio, la promoción de la inversión en el sector y el desarrollo de estas tecnologías, el uso eficiente de las redes y del espectro radioeléctrico, así como las potestades del Estado en relación con la planeación, la gestión, la administración adecuada y eficiente de los recursos, regulación, control y vigilancia del mismo y facilitando el libre acceso y sin discriminación de los habitantes del territorio nacional a la Sociedad de la Información (de Bogotá, 2010).

Ley 1978 de 2019 de despliegue de redes

La presente Ley tiene por objeto alinear los incentivos de los agentes y autoridades del sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), aumentar su certidumbre jurídica, simplificar y modernizar el marco institucional del sector, focalizar las inversiones para el cierre efectivo de la brecha digital y potenciar la vinculación del sector privado en el desarrollo

de los proyectos asociados, así como aumentar la eficiencia en el pago de las contraprestaciones y cargas económicas de los agentes del sector (Falla, 2021).

Resolución 5050 de 2016

2.7.3.8.9.1. A más tardar el 1° de diciembre de 2016, entregar la relación de todos los sectores de estaciones base de servicios 2G, 3G y 4G que operen en el país, indicando para cada sector la ubicación (coordenadas de latitud y longitud) y los códigos que permitan identificar unívocamente el sector en la información de los CDR. Si ocurre algún cambio en dicha información antes del 1 de julio de 2017, la misma deberá ser actualizada ante la CRC dentro de los tres (3) días siguientes.

4.14.2.6.2.2. Capacidad de operar en redes con tecnologías 2G, 3G y 4G, para servicios basados en localización, utilizando interfaces estándares 3GPP (Echeverry, Escobar, y González, 2016).

Resolución 3067 de 2011

Artículo compilado en el artículo 5.1.1.2 de la Resolución CRC 5050 de 2016. Debe tenerse en cuenta lo dispuesto por el artículo 2.2.13.3.5 del Decreto 1078 de 2015> La presente resolución establece el régimen de calidad que deben cumplir todos los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones en la prestación de los servicios a sus usuarios.

Artículo compilado en el artículo 5.1.1.2 de la Resolución CRC 5050 de 2016, 'por la cual se compilan las Resoluciones de Carácter General vigentes expedidas por la Comisión de Regulación de Comunicaciones', publicada en el Diario Oficial No. 50.064 de 21 de noviembre de 2016. Debe tenerse en cuenta lo dispuesto por el artículo 2.2.13.3.5 del Decreto 1078 de 2015, 'por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

ARTÍCULO 1.3. OBLIGACIONES DE LOS PROVEEDORES. <Artículo compilado en el artículo 5.1.1.3 de la Resolución CRC 5050 de 2016. Debe tenerse en cuenta lo dispuesto por el artículo 2.2.13.3.5 del Decreto 1078 de 2015> Todos los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones deben:

a) Suministrar los servicios con base en los principios de trato igualitario, no discriminatorio y transparencia, a toda persona natural o jurídica que lo solicite, dentro del área de cobertura de su red.

b) Informar a través de su página web las condiciones de prestación del servicio en lo relativo a la calidad del servicio, de acuerdo con lo dispuesto en la presente resolución, y en consonancia con la Recomendación UIT-T G.1000, así:

-- Nivel ofrecido de calidad del servicio: En la oferta de servicio al público se incluirán los valores de parámetros técnicos e indicadores de atención al cliente que se planean ofrecer en un determinado período de tiempo, con datos diferenciados por paquetes comerciales en caso de existir diferencias entre los mismos.

-- Nivel medido de calidad del servicio: Valores de parámetros técnicos e indicadores de atención al cliente medidos por el proveedor al menos para el lapso del último año. Cuando aplique, se incluirá la información de los indicadores técnicos que se definen en la presente resolución.

c) <Literal adicionado por el artículo 7 de la Resolución 4807 de 2015. El nuevo texto es el siguiente:> Cuando el proveedor de redes y servicios de telecomunicaciones tenga acuerdos comerciales con Operadores Móviles Virtuales con el objeto de usar su red para la prestación de servicios de comunicaciones móviles al público, deberá suministrar a los usuarios de tales Operadores Móviles.

Virtuales al menos los mismos niveles de calidad del servicio que ofrece y suministra a sus propios usuarios. Igualmente, deberá suministrar a los Operadores Móviles Virtuales los servicios objeto del acuerdo cumpliendo con los indicadores de calidad establecidos en la presente resolución.

ARTÍCULO 1.3-A. OBLIGACIONES PARA PROVEEDORES DE REDES Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES. <Artículo compilado en el artículo 5.1.1.4 de la Resolución CRC 5050 de 2016. Debe tenerse en cuenta lo dispuesto por el artículo 2.2.13.3.5 del Decreto 1078 de 2015> <Artículo adicionado por el artículo 1 de la Resolución 4734 de 2015. El nuevo texto es el siguiente:> Los Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones Móviles deberán entregar trimestralmente, los planes que adelantarán en el trimestre inmediatamente siguiente para garantizar la calidad de los servicios de telecomunicaciones prestados a través de sus redes; dichos planes deberán ser remitidos dentro de los siguientes treinta (30) días calendario posteriores a la finalización de cada trimestre (abril, julio, octubre y enero), al Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, a través de los correos electrónicos colombiatic@mintic.gov.co y vigilanciaycontrol@mintic.gov.co para lo de su competencia (MinTIC, 201).

9. Diseño metodológico

Partiendo de las características técnicas de las estaciones base de dos operadores de telefonía móvil, se realizó todo el proceso de diseño y cálculo de las predicciones de zona de cobertura, utilizando el levantamiento de mapas de la zona, haciendo la medición de RSSI (indicador de intensidad de señal recibida), SINR (relación señal / interferencia más ruido), RSRP (potencia recibida de la señal de referencia) y RSRQ (calidad de la señal de referencia recibida), determinando el rango de cobertura de las estaciones base y utilizando los softwares para ellos, tales como el software de medición outdoor con el que se tomaron las mediciones, software de diseño donde se plantearon los datos que se querían medir y cubrir, y software de procesamiento y post - procesamiento donde se analizaron los datos obtenidos y mostrados en leyendas de medición, que a través de scripts, hicieron mediciones de llamadas de larga, corta y media duración, descarga continua de datos en plataformas, navegación en la red y envío de mensajes; esta información se utilizó en el diseño del área con los mapas de la zona y se cargaron estos datos de las estaciones base.

El diseño está basado en la información real de la zona y de las tecnologías a verificar, en este caso la tecnología de 4G, sectores definidos y parámetros de diseño como orientación, inclinación de antenas, capacidad de usuarios, ubicación de estaciones base, rango de cobertura, tipo de configuraciones, entre otros. A su vez, se revisaron las variantes de equipos no licenciados que se pueden usar debido al alto costo en el mercado; con el fin de ejecutar cada una de ellas de forma rápida y eficaz, debido al poco lapso de tiempo con que se cuenta, dividiendo el proyecto en fases de corta duración, asimismo al completar las fases, estas dieron las funcionalidades que se querían demostrar en la entrega de resultados, estas fases son, fase uno (1) de reconocimiento, fase dos (2) de estudio y estrategia y fase tres (3) de procesamiento y resultados.

En la primera fase se centró el reconocimiento de la zona de estudio con las estaciones base detectadas de cada operador y sus características, en esta fase se obtuvo la información inicial que llevó a la revisión de la segunda fase, que se centró en dos procesos que son el estudio y la estrategia, en el estudio se revisó el comportamiento a detalle del operador en dicha zona, revisión de tráfico según la franja horario y las prioridades de cada uno de los operadores de acuerdo a la frecuencia. En la estrategia se realizó un Drive Test en un vehículo con los equipos para obtener las muestras mediante un script programado y utilizando los servicios disponibles de cada operador. En la tercera fase fue el procesamiento de las muestras y superposición del mapa de la zona para determinar el alcance de cada operador y determinar los parámetros de medición.

Los datos obtenidos a través de las herramientas de medición y post-procesamientos, se analizaron con base en la escala de leyendas utilizadas por cada operador para determinar si estos valores están en el rango que ellos manejan. Cada imagen de datos obtenidos, presenta una ilustración mediante colores que identifica el servicio o parámetro procesado, así como el Throughput de cada una de las pruebas realizadas en carga y descarga. Este análisis empleado en el apartado de “resultados y análisis de resultados”, describe la cantidad de celdas a las que un dispositivo móvil puede conectarse y los mejores servidores en la zona, así como los niveles de potencia de señal recibida de referencia y la calidad de la señal obtenida en la zona de cobertura.

9.1 Zona de cobertura LTE a estudiar

Las pruebas de campo se realizaron entre las calles 6 y 19, y las carreras 2 y 6 en la ciudad de Ibagué, Tolima:

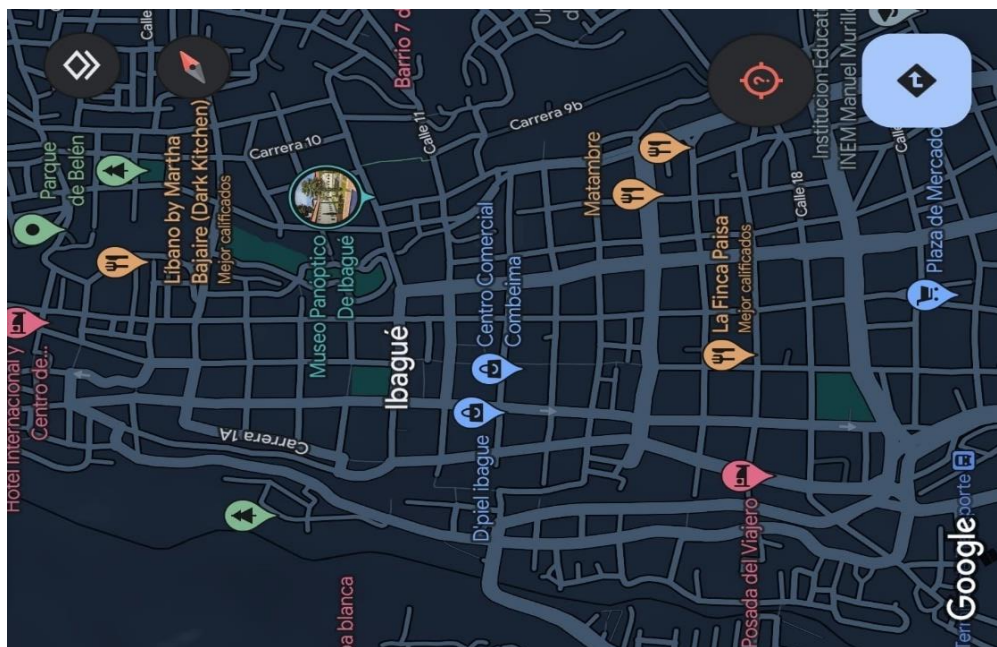


Figura 16: Vista de zona geográfica donde se realizó el estudio de pruebas de cobertura de los operadores de telefonía móvil (fuente: Google Maps)

9.2 Distribución de torres de Claro

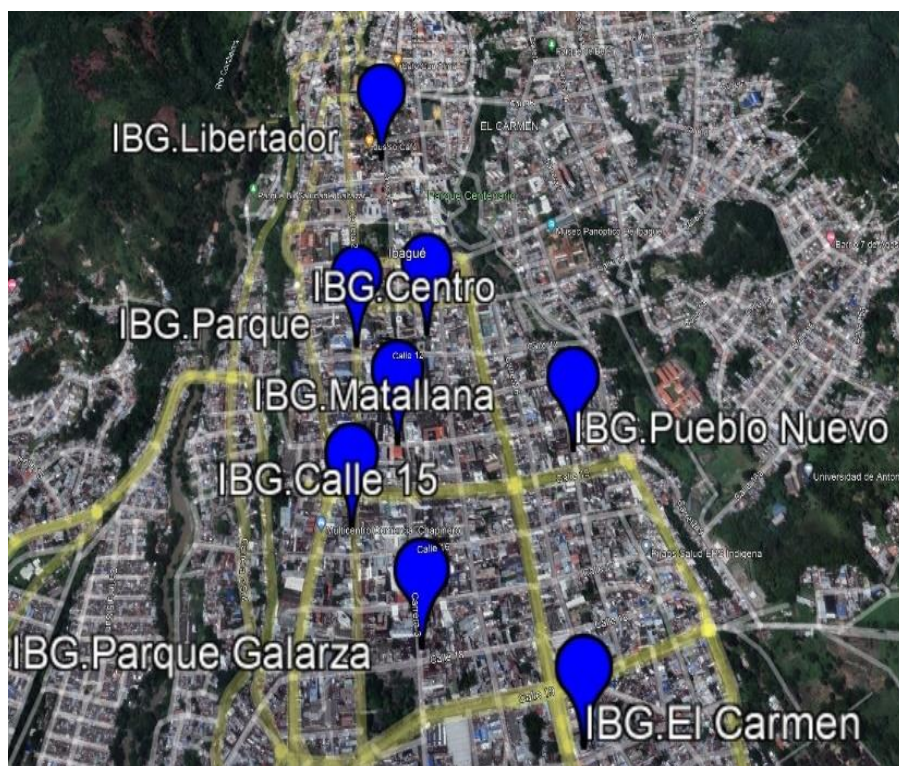


Figura 17: Distribución de las estaciones base de Claro en la zona de estudio utilizando Google Earth

9.2.1 Datos básicos de las estaciones base Claro

| Claro EB 1 | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Sitio | IBG.Libertador |
| Región | SurOccidente |
| Departamento | Tolima |
| Municipio | Ibagué |
| Techs | GSM/UMTS/LTE |
| Salida Tx | Terrestre |
| Ubicación | Cra 3 # 6- 86. Edificio Adriana |
| Latitud | 4.4465 |
| Longitud | -75.2451 |
| Detalle Estructura | Terraza |
| Altura Estructura | 35 |
| Propietario Estructura | Claro |
| Sectores | 3 |

Tabla 6: Características de Estación Base 1 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| Claro EB 2 | |
|-------------------------------|--|
| Sitio | IBG.Parque |
| Región | SurOccidente |
| Departamento | Tolima |
| Municipio | Ibagué |
| Techs | GSM/UMTS/LTE |
| Salida Tx | Terrestre |
| Ubicación | Cra 2 N° 11 - 29 Edificio CC la once Piso 11 |
| Latitud | 4.44342 |
| Longitud | -75.242 |
| Detalle Estructura | Terraza 40m |
| Altura Estructura | 46 |
| Propietario Estructura | Claro |
| Sectores | 3 |

Tabla 7: Características de Estación Base 2 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| Claro EB 3 | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Sitio | IBG.Centro |
| Región | SurOccidente |
| Departamento | Tolima |
| Municipio | Ibagué |
| Techs | GSM/UMTS/LTE |
| Salida Tx | Terrestre |
| Ubicación | Calle 11 # 3a-20 Edificio B.C.H |
| Latitud | 4.44485 |
| Longitud | -75.2412 |
| Detalle Estructura | Terraza |
| Altura Estructura | 50 |
| Propietario Estructura | Claro |
| Sectores | 3 |

Tabla 8: Características de Estación Base 3 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| Claro EB 4 | |
|-------------------------------|--|
| Sitio | IBG.Matallana |
| Región | SurOccidente |
| Departamento | Tolima |
| Municipio | Ibagué |
| Techs | GSM/UMTS/LTE |
| Salida Tx | Terrestre |
| Ubicación | Calle 13 No. 2 - 94/Kr 3 No. 13 - 02 Hotel Nelson |
| Latitud | 4.4429 |
| Longitud | -75.2398 |
| Detalle Estructura | Terraza |
| Altura Estructura | 32 |
| Propietario Estructura | Claro |
| Sectores | 3 |

Tabla 9: Características de Estación Base 4 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| Claro EB 5 | |
|-------------------------------|----------------------|
| Sitio | IBG.Pueblo Nuevo |
| Región | SurOccidente |
| Departamento | Tolima |
| Municipio | Ibagué |
| Techs | GSM/UMTS/LTE |
| Salida Tx | Terrestre |
| Ubicación | Carrera 7 No. 14-07 |
| Latitud | 4.44592 |
| Longitud | -75.2372 |
| Detalle Estructura | Mastil Autosoportado |
| Altura Estructura | 19 |
| Propietario Estructura | Claro |
| Sectores | 3 |

Tabla 10: Características de Estación Base 5 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| Claro EB 6 | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Sitio | IBG.Calle 15 |
| Región | SurOccidente |
| Departamento | Tolima |
| Municipio | Ibagué |
| Techs | UMTS/LTE |
| Salida Tx | Terrestre |
| Ubicación | Calle 15 # 1-28. Terraza Piso 6 |
| Latitud | 4.44107 |
| Longitud | -75.2391 |
| Detalle Estructura | Terraza 6 piso |
| Altura Estructura | 18 |
| Propietario Estructura | Claro |
| Sectores | 3 |

Tabla 11: Características de Estación Base 6 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| Claro EB 7 | |
|-------------------------------|--------------------|
| Sitio | IBG.Parque Galarza |
| Región | SurOccidente |
| Departamento | Tolima |
| Municipio | Ibagué |
| Techs | GSM/UMTS/LTE |
| Salida Tx | Terrestre |
| Ubicación | Calle 17 No. 3 -10 |
| Latitud | 4.44089 |
| Longitud | -75.2364 |
| Detalle Estructura | Terraza |
| Altura Estructura | 35 |
| Propietario Estructura | Claro |
| Sectores | 3 |

Tabla 12: Características de Estación Base 7 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| Claro EB 8 | |
|-------------------------------|-----------------------|
| Sitio | IBG.El Carmen |
| Región | SurOccidente |
| Departamento | Tolima |
| Municipio | Ibagué |
| Techs | GSM/UMTS/LTE |
| Salida Tx | Terrestre |
| Ubicación | Carrera 5 No. 19 - 59 |
| Latitud | 4.44243 |
| Longitud | -75.2328 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Altura Estructura | 40 |
| Propietario Estructura | Claro |
| Sectores | 3 |

Tabla 13: Características de Estación Base 8 de Claro, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

9.3 Distribución de torres de WOM

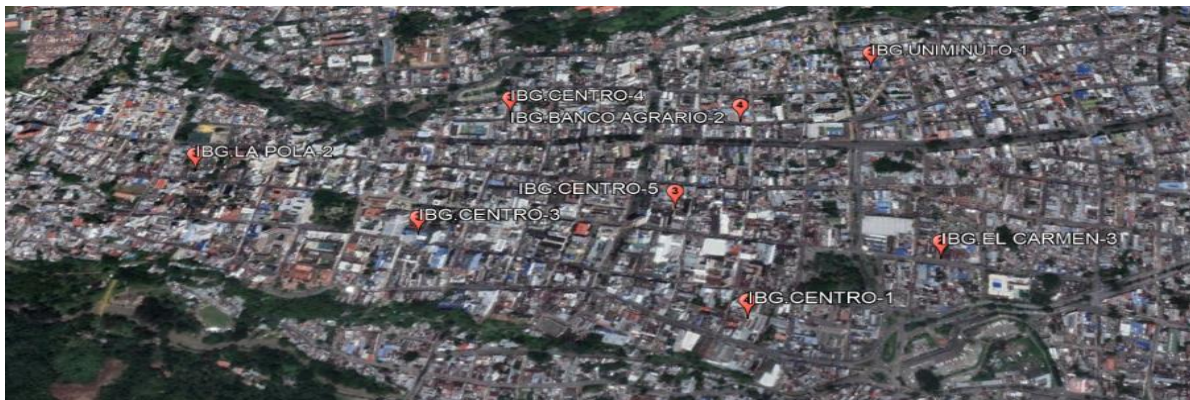


Figura 18: Distribución de las estaciones base de WOM en la zona de estudio utilizando Google Earth

9.3.1 Datos básicos de las estaciones base WOM

| WOM EB 1 | |
|---------------------------|----------------|
| Nombre: | IBG. LA POLA 2 |
| Ciudad: | Ibagué |
| Tecnología: | LTE |
| TX: | Terrestre |
| Latitud | 4,44556 |
| Longitud | -75,24333 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Cosite | NO |
| Sectores | 3 |

Tabla 14: Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| WOM EB 2 | |
|---------------------------|---------------|
| Nombre: | IBG. CENTRO 3 |
| Ciudad: | Ibagué |
| Tecnología: | LTE |
| TX: | MW |
| Latitud | 4,44250 |
| Longitud | -75,24111 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Cosite | NO |
| Sectores | 3 |

Tabla 15: Características de Estación Base 2 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| WOM EB 3 | |
|---------------------------|--------------|
| Nombre: | IBG.CENTRO 4 |
| Ciudad: | Ibagué |
| Tecnología: | LTE |
| TX: | Terrestre |
| Latitud | 4,44528 |
| Longitud | -75,23889 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Cosite | NO |
| Sectores | 3 |

Tabla 16: Características de Estación Base 3 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| WOM EB 4 | |
|---------------------------|--------------|
| Nombre: | IBG.CENTRO 5 |
| Ciudad: | Ibagué |
| Tecnología: | LTE |
| TX: | Terrestre |
| Latitud | 4,44194 |
| Longitud | -75,23778 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Cosite | NO |
| Sectores | 2 |

Tabla 17: Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| WOM EB 5 | |
|---------------------------|---------------------|
| Nombre: | IBG.BANCO AGRARIO-2 |
| Ciudad: | Ibagué |
| Tecnología: | LTE |
| TX: | MW |
| Latitud | 4,44417 |
| Longitud | -75,23611 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Cosite | TIGO |
| Sectores | 3 |

Tabla 18: Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| WOM EB 6 | |
|---------------------------|--------------|
| Nombre: | IBG.CENTRO 1 |
| Ciudad: | Ibagué |
| Tecnología: | LTE |
| TX: | Terrestre |
| Latitud | 4,43861 |
| Longitud | -75,23583 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Cosite | CLARO |
| Sectores | 2 |

Tabla 19: Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| WOM EB 7 | |
|---------------------------|-----------------|
| Nombre: | IBG.EL CARMEN-3 |
| Ciudad: | Ibagué |
| Tecnología: | LTE |
| TX: | MW |
| Latitud | 4,44139 |
| Longitud | -75,23323 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Cosite | TIGO |
| Sectores | 1 |

Tabla 20: Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

| WOM EB 8 | |
|---------------------------|-----------------|
| Nombre: | IBG.UNIMINUTO-1 |
| Ciudad: | Ibagué |
| Tecnología: | LTE |
| TX: | MW |
| Latitud | 4,44389 |
| Longitud | -75,24987 |
| Detalle Estructura | Torre |
| Cosite | CLARO |
| Sectores | 1 |

Tabla 21: Características de Estación Base 1 de WOM, se describen datos básicos de la ubicación, tecnologías disponibles y detalles de la infraestructura (fuente: propia)

9.4 Guía de diseño en Xirio Online

Para hacer diseño de cobertura solo se debe: ingresar a la página web oficial de Xirio Online <https://www.xirio-online.com/web/home/welcome.aspx>, luego explorar todo lo que la herramienta ofrece. Al ingresar aparecerá lo siguiente:

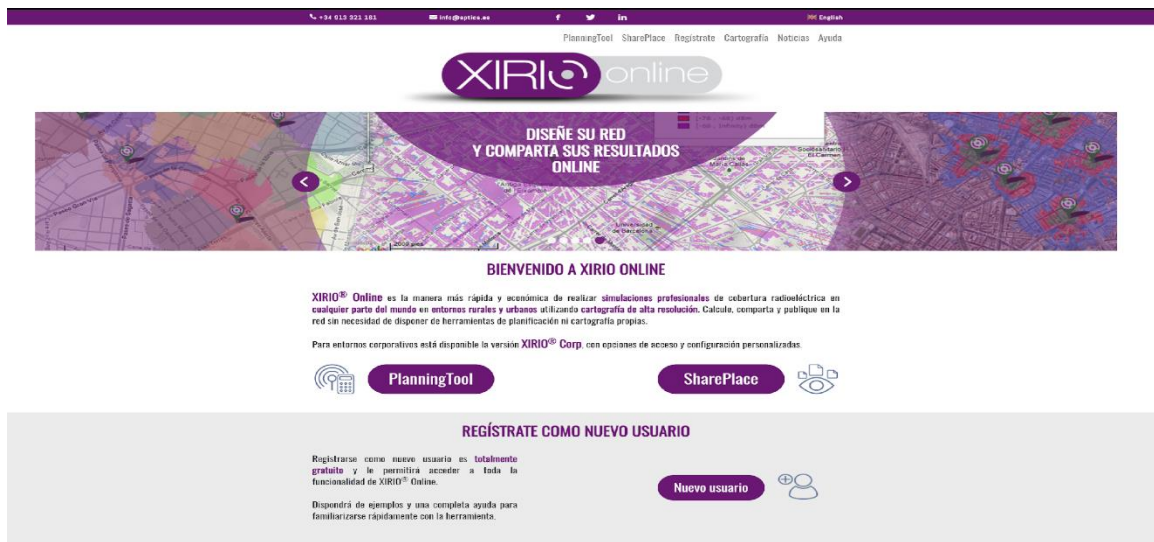


Figura 19: Página principal del software de simulación Xirio Online para el diseño de cobertura (Telecomunicaciones, 2016)

Se debe crear un usuario con los datos, como nombres apellidos y contraseña dando clic en nuevo usuario:



Figura 20: Acceso a registro en Xirio Online para realizar simulación de cobertura (Telecomunicaciones, 2016)

Luego de crear el usuario y contraseña, se puede ingresar al programa en “*entrar*”:



Figura 21: Ingreso al software de simulación Ingreso a Xirio Online (Telecomunicaciones, 2016)

Luego mostrará toda la interfaz con las funcionalidades



Figura 22: Vista general del software de simulación Xirio Online después de hacer el ingreso (Telecomunicaciones, 2016)

Se debe ingresar la ciudad donde se quiere hacer el estudio, en este caso Ibagué, Tolima:



Figura 23: Búsqueda de ciudad en Xirio Online (Telecomunicaciones, 2016)

Luego saldrá la ciudad y se presiona el hipervínculo o también se puede buscar manualmente:

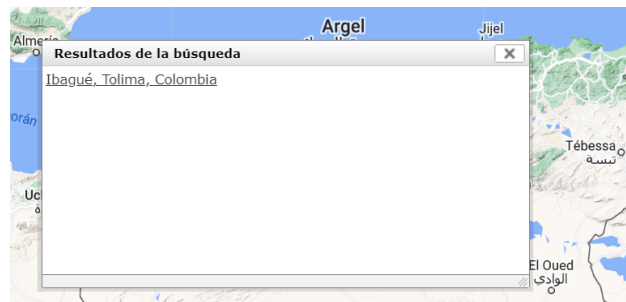


Figura 24: Ciudad encontrada en Xirio Online

(Xirio, 2023)

Una vez encontrada la ciudad pretendida, se puede iniciar con el estudio. Lo primero es presionar en crear un nuevo estudio:

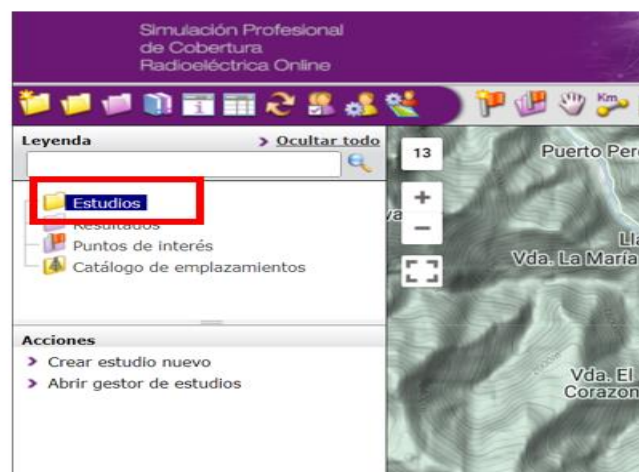


Figura 25: Vista general de creación de nuevo estudio Xirio Online (Xirio, 2023)

Y aparecerá un nuevo cuadro de diálogo, donde se debe especificar el tipo de estudio a realizar, en este caso es cobertura y luego en el servicio, se debe escoger de la siguiente forma:

Figura 26: Estudio de cobertura, categorías y subcategorías para simulación en Xirio Online (Xirio, 2023)

Luego, se le asigna un nombre al estudio, se hace una breve descripción (opcional) y se agrega la banda de frecuencias:

Propiedades del estudio de Cobertura

Figura 27: Propiedades del estudio de cobertura en Xirio Online (Xirio, 2023)

En la figura está la lista de frecuencias que se utilizó, en este caso la banda 7 2600 MHz

Bandas de frecuencias disponibles

| Bandas de frecuencias disponibles | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|----------------------|----------|--------------|----------------|--------------------------|
| | Fav. | Nombre | Servicio | Subcategoría | Categoría | Reserv. |
| | <input type="checkbox"/> | Band LTE B7 2600 MHz | LTE | LTE | Servicio Móvil | <input type="checkbox"/> |

Figura 28: Bandas de frecuencias para crear o escoger de acuerdo al estudio a realizar en Xirio Online (Xirio, 2023)

Con los datos a continuación,

Propiedades de la Banda de Frecuencias

Banda ☆

Nombre:

Descripción 1:

Descripción 2:

Color:

Parámetros de la banda

Ancho de canal / Separación entre portadoras: MHz

Ordinal del primer canal:

Tramo inferior:

Frecuencia inicial: MHz

Frecuencia final: MHz

Frecuencia primera portadora: MHz

Tramo superior:

Frecuencia inicial: MHz

Frecuencia final: MHz

Frecuencia primera portadora: MHz

Canales prohibidos:

Canales prioritarios:

Introduzca una lista de canales separados por comas y/o intervalos de canales (Ejemplo: 2, 2', 5-7, 12'-21').

Figura 29: Propiedades de las bandas de frecuencias Xirio Online (Xirio, 2023)

Se presiona aceptar y luego en la sección extremos, se escoge la opción sector con valores por defecto

Propiedades del sector

Sector

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:

Coordenadas

Latitud:

Longitud:

Figura 30: Propiedades de sectores en Xirio Online (Xirio, 2023)

Se ingresan los datos de las coordenadas de la estación base o en el primer ícono para encontrar la ubicación manualmente y se completan los datos de esa sección como tipo de polarización, altura, orientación, inclinación, si es FDD o TDD, SISO o MIMO, entre otros. Luego

se presiona aplicar y aceptar. Se debe escoger un área de cálculo y escoger el método de propagación deseado:

The screenshot shows the Xirio Online software interface with the following sections:

- Extremos:** Sector: Nuevo sector; Parámetros del terminal: (empty)
- Parámetros de cálculo:** Método de cálculo: Nuevo Met526_15. Below it, a text box states: "Método determinístico basado en difracción. Válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Empleado en todos los servicios radioeléctricos en entornos rurales y mixtos siempre que se disponga de cartografía de media o alta resolución." Capas de cartografía: (empty)
- Tabla de Capas de cartografía:**

| Tipo | Nombre | Año | Res. (m) |
|------|--------------------|------|----------|
| MDT | Altimetría mundial | 2006 | 100 |
- Área del cálculo:** Esquina NorOeste: Latitud 00°00'00.00"N, Longitud 000°00'00.00"E; Esquina SurEste: Latitud 00°00'00.00"N, Longitud 000°00'00.00"E.
- Rangos:** (empty)

Buttons at the bottom: Aceptar, Aplicar, Recargar, Cancelar.

Figura 31: Área de cálculo y modelo de propagación Xirio Online (Xirio, 2023)

Luego presionar, aplicar y aceptar. Así aparecerá la primera estación base dibujada:

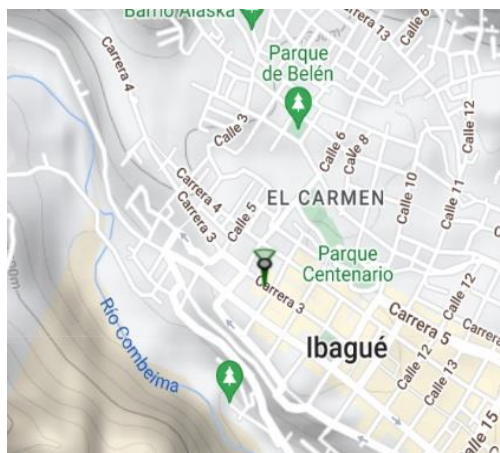


Figura 32: Ubicación de primer sector en Xirio Online (Xirio, 2023)

De ese modo, se hace para todas las estaciones base que se deseen estudiar. En este caso solo tiene un solo sector, para agregar más sectores se debe seleccionar el nombre del estudio en “Estudios” y seleccionar sectorizar estudio:

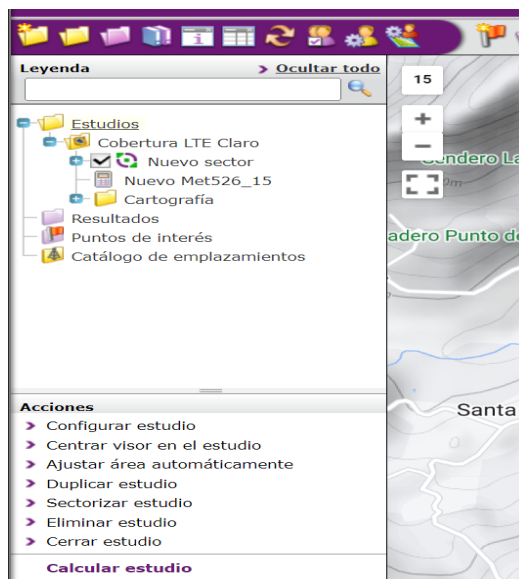


Figura 33: Sectorizar estudio en Xirio Online (Xirio, 2023)

Aparecerá un nuevo cuadro de diálogo con opciones para seleccionar el número de sectores, azimut de cada sector y datos de inclinación, luego de esto se presiona aceptar:

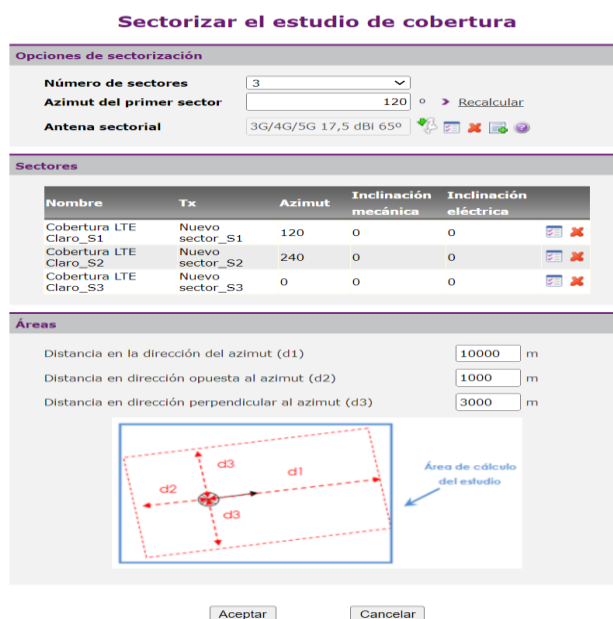


Figura 34: Sectorizar el estudio de cobertura en Xirio Online (Xirio, 2023)

Automáticamente la estación base tendrá los sectores asignados:

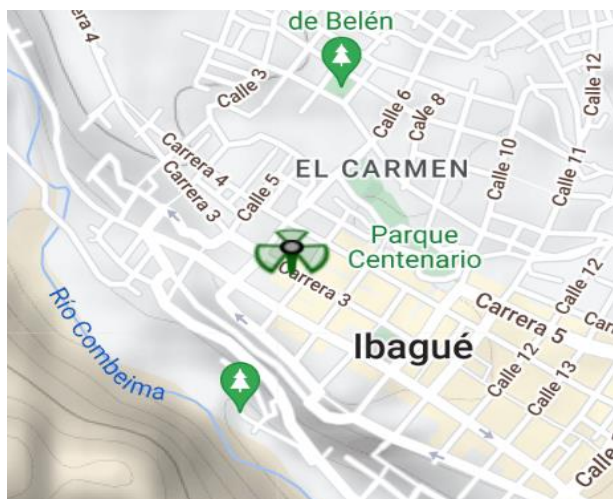


Figura 35: Sectores completos en Xirio Online (Xirio, 2023)

Después de esto, si hay varios sectores y/o estaciones base, se debe crear un nuevo estudio porque hay multitransmisores, para ello se repiten los mismos pasos, pero se escoge Cobertura Multitransmisor

Crear nuevo estudio

Seleccione un tipo de estudio

- Enlace
- Cobertura
- Cobertura de interior
- Cobertura multitransmisor**
- Red de transporte

Estudio de cobertura multitransmisor:
Este estudio permite determinar la cobertura radioeléctrica que alcanza una red de estaciones. Consiste en una combinación de estudios de coberturas simples.
[Leer más](#)

Seleccione un servicio o tecnología

Categoría: Servicio Móvil

Subcategoría: LTE

Servicio: LTE

Figura 36: Creación de estudio multitransmisor en Xirio Online (Xirio, 2023)

Se presiona aceptar y se asigna un nombre, luego se deben asignar las coberturas que existan y/o las que ya se han creado, como en este caso ya se creó un estudio previo, se presiona el ícono verde para buscar en el apa, las coberturas creadas

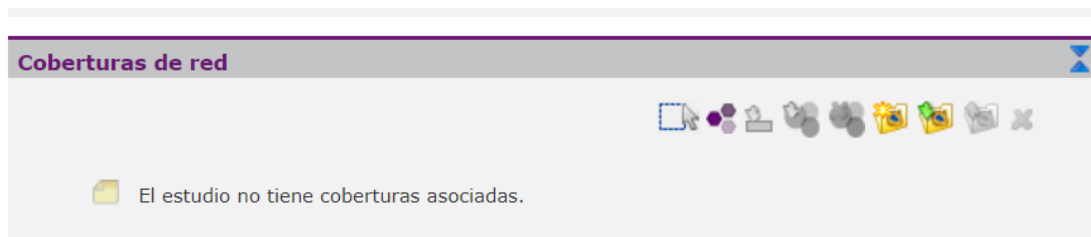


Figura 37: Coberturas de red en Xirio Online para escoger la zona donde hay celdas existentes de acuerdo a los estudios previos creados (Xirio, 2023)

Luego de que se seleccione el área, llenará unos datos de localización y se presiona buscar, luego encontrará las coberturas anteriores, ahí cargará los datos, esperar unos segundos. Aparecerá un nuevo cuadro de diálogo y se deben completar los datos como grupos si hay de usuarios móviles y fijos, escoger de nuevo área de cálculo, cartografía y demás parámetros que se deseen ingresar y presionar aceptar.

 A screenshot of the 'Propiedades del estudio de Cobertura Multitransmisor' (Multitransmitter Coverage Study Properties) dialog box in Xirio Online. The dialog has a purple header bar with the title 'Propiedades del estudio de Cobertura Multitransmisor'. Below the header is a section titled 'Estudio' with the following fields:

- Nombre:** Multitransmisor LTE Claro
- Grupo:** (empty dropdown menu)
- Servicio:** LTE
- Descripción:** Estudio de cobertura multitransmisor... (text area)

 Below the 'Estudio' section are several expandable sections, each with a blue double-headed arrow icon on the right:

- Coberturas de red**
- Parámetros de capacidad**
- Parámetros de cálculo de señal**
- Parámetros de movilidad**
- Área del cálculo**
- Cartografía**
- Parametros de interferencia**
- Rangos**

 At the bottom of the dialog are four buttons: 'Aceptar', 'Aplicar', 'Recargar', and 'Cancelar'.

Figura 38: Propiedades del estudio multitransmisor en Xirio Online (Xirio, 2023)

Luego de esto, se puede presionar en calcular el estudio y mostrará la resolución en la que estará disponible o de alta resolución si se cuenta con una licencia.

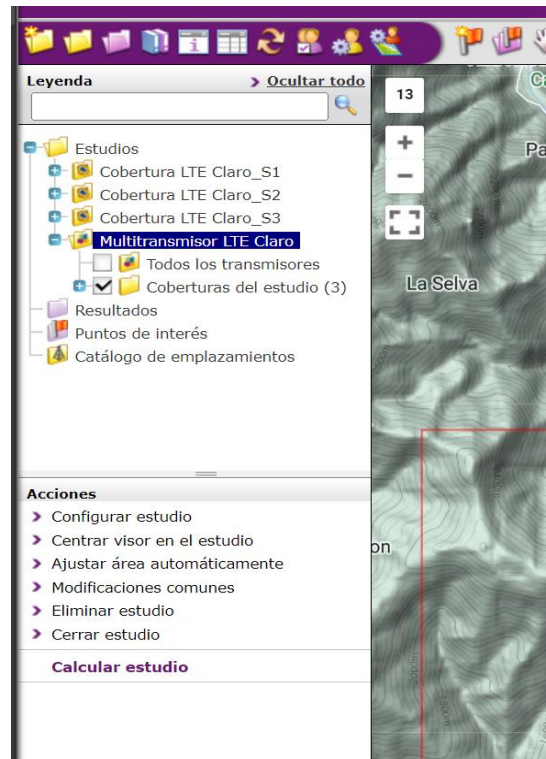


Figura 39: Cálculo de estudio en Xirio Online, este estudio se hace en el multitransmisor para determinar la cobertura (Xirio, 2023)

Se puede validar el costo del estudio y presionar calcular. Terminará de hacer el estudio.

9.5 Uso de aplicaciones para cualquier dispositivo móvil

G-NetTrack es una app para móviles que permite realizar pruebas de llamadas, descarga y carga de datos, toma de niveles de infraestructura GSM, UMTS y LTE. Esta app tiene varias versiones, G-NetTrack Lite es de uso gratuito y funciona igual que G-NetTrack Pro, la diferencia es que la segunda permite configuración de parámetros como llamadas y además permite guardar archivos y scripts.

En este caso, para pruebas sencillas y que no requieran archivos para luego procesarlos, se puede hacer solo con G-NetTrack Lite, pero si se desea guardar datos, se debe adquirir G-NetTrack Pro de uso pago. La segunda aplicación que se debe adquirir si se compra G-NetTrack Pro, es G-NetView Pro; en esta app se hace el procesamiento de las pruebas de G-NetTrack Pro, ya que, al usar app licenciada, guarda archivos y este es el único visor disponible para guardar datos.

Estas herramientas tienen sus versiones Lite donde hacen lo mismo que las licenciadas, a excepción de guardar datos para entregas formales; en G-NetView Proa al igual que en software licenciado, se muestra el recorrido grabado en tiempo real para las pruebas.

9.6 Guía de pruebas en G – NettrackPro

Pasos de uso de la herramienta G-NetTrack Pro

Primero se debe descargar la aplicación, para estas aplicaciones no se requiere creación de usuario para el ingreso, ya que la aplicación queda instalada en el dispositivo móvil, si se restaura de fábrica el dispositivo o se desinstala la aplicación, se debe volver a hacer la compra:

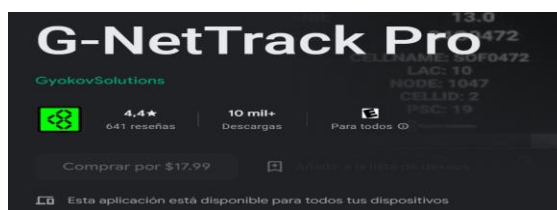


Figura 40: Vista de aplicación de pruebas G-NetTrack Pro como herramienta para tomar muestras en recorridos en interiores y exteriores (Gyokov, 2023)

Una vez instalada la app, se debe tener en el dispositivo móvil ya insertada la tarjeta SIM Card del operador a analizar. Se abre la aplicación y de inmediato mostrará una pantalla principal con datos como las celdas vecinas, PCI, tipo de red, coordenadas, velocidad, el modo en el que se encuentra el equipo, así:

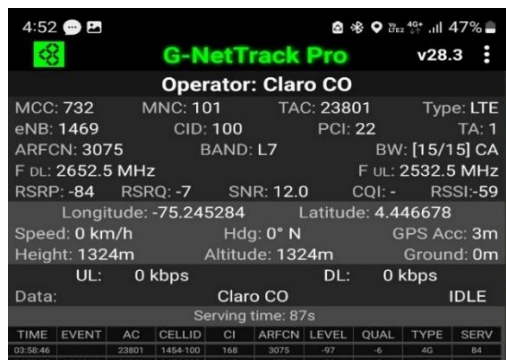


Figura 41: Vista principal de la aplicación G-NetTrack Pro, en ella se visualizan los datos generales del operador de telefonía móvil (Gyokov, 2023)

En la pestaña Drive se puede observar el modo más detallado de medición:



Figura 42: Vista de panel "Drive" donde se ve el resumen de los datos principales del operador de telefonía móvil G-NetTrack Pro (Gyokov, 2023)

En la pestaña MAP se evidencia el mapa de la ciudad y en punto azul, la ubicación en tiempo real:

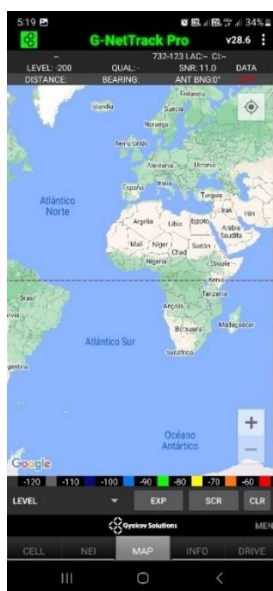


Figura 43: Vista desde la pestaña "MAP" para visualizar la ubicación en tiempo real en Mapa G-NetTrack Pro (Gyokov, 2023)

A medida que se avanza en los recorridos de Drive Test, va mostrando unos puntos en colores que son la leyenda de los niveles en dB en la zona, en esa pantalla, se puede cambiar el modo en el que muestra resultados, a medida que cambia de estado a otro parámetro, cambia también la leyenda.

Después de revisar la aplicación en sus pestañas más importantes, se debe desplazar al menú principal en la parte superior derecha:

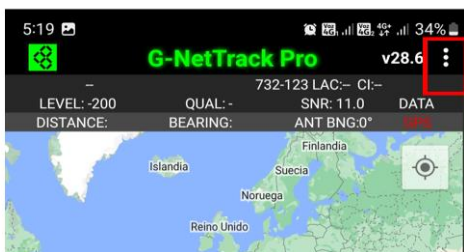


Figura 44: Vista del "menú" de la aplicación G-NetTrack Pro para revisar otras configuraciones (Gyokov, 2023)

Allí se pueden revisar los parámetros de configuración de la aplicación como “*start log*” para iniciar la prueba o “*end log*” para finalizarla; configuración de voz como “*voice sequence*” o para datos como “*data sequence*”.

Se debe ingresar a “*Setting*”, allí se configura la secuencia de voz y datos:

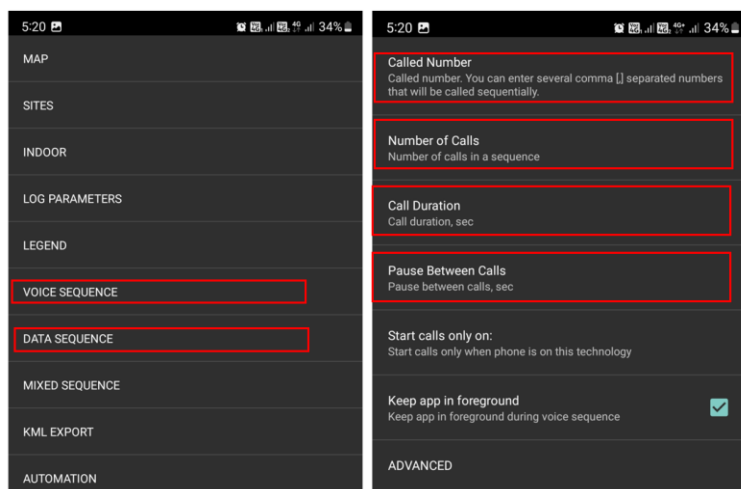


Figura 45: Pestaña con parámetros de configuración detallado para cada referencia en G-NetTrack Pro (Gyokov, 2023)

En secuencia de voz, se ingresa el número de teléfono al que la aplicación estará haciendo llamadas, el número de llamadas que hará la aplicación, duración de llamadas y el tiempo de espera para hacer una llamada luego de que finalice la anterior. En “*start calls only on*”, se debe escoger la tecnología en que se quiere que se hagan las pruebas. En secuencia de datos se debe ingresar el link desde donde estará a la aplicación haciendo carga y descarga de datos, intervalos en que no hará ninguna acción.

Después de realizar esto, solo se debe presionar en “Start voice sequence” para iniciar las llamadas, “start data sequence” para que comience la descarga de datos y en “Star log” para que comience a guardar la prueba; al finalizar solo se debe preisonar en “End log” para terminar la prueba.

9.7 Guía de uso en G – NettrackView

Una vez terminada las pruebas de G-NetTrack Pro, estas pruebas quedan guardadas en la carpeta local del dispositivo; al abrir G-NetView Pro se muestra así:

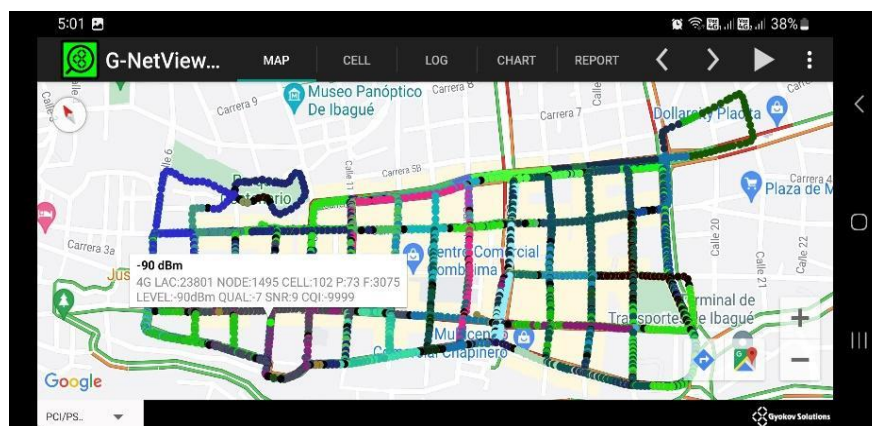


Figura 46: Vista general de G-NetTrack View, cargada con una prueba donde se muestra el parámetro PCI para determinar las celdas a las que se conectó al realizar el Drive Test (Gyokov, 2023)

Se debe ingresar al menú, en los puntos, para presionar en “Load Site Data”, allí se encontrarán las pruebas guardadas por fecha y hora; luego de eso solo se debe presionar en

“Play” y se mostrará la prueba corriendo como video, allí se pueden analizar datos como si fuera en tiempo real, eso representa la prueba realizada.

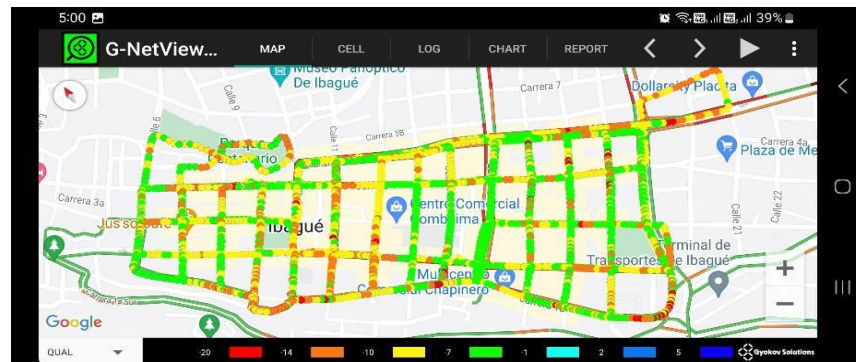


Figura 47: Vista procesada de calidad en G-NetTrack View, en ella se determina que el servicio seleccionado haya tenido un buen desempeño de acuerdo a la leyenda (Gyokov, 2023)

9.8 Pruebas de datos

9.8.1 Pruebas de carga y descarga de Claro y WOM

En esta sección se encuentra un resumen de las pruebas de carga y descarga de datos de los operadores Claro y WOM respectivamente; se realizaron varias pruebas para comparar la velocidad de carga y descarga de datos.

| Operador | Tipo | Fecha | Mbps (Upload) | Mbps (Download) |
|----------|------|---------------------|---------------|-----------------|
| Claro | LTE | 26/02/23 6:29 a. m. | 45.3 | 20.0 |
| | LTE | 26/02/23 6:21 a. m. | 30.2 | 37.3 |
| | LTE | 26/02/23 6:15 a. m. | 84.0 | 25.6 |
| | LTE | 26/02/23 6:11 a. m. | 145 | 54.3 |
| | LTE | 26/02/23 6:07 a. m. | 58.9 | 32.9 |
| | LTE | 26/02/23 6:03 a. m. | 44.0 | 29.2 |
| | LTE | 26/02/23 6:00 a. m. | 56.9 | 51.6 |
| | LTE | 26/02/23 5:55 a. m. | 30.6 | 39.5 |
| | LTE | 26/02/23 5:51 a. m. | 59.0 | 4.77 |
| | LTE | 26/02/23 5:47 a. m. | 114 | 48.2 |
| WOM | LTE | 26/02/23 5:38 a. m. | 135 | 47.5 |
| | LTE | 25/02/23 7:00 a. m. | 10.8 | 0.93 |
| | LTE | 25/02/23 6:59 a. m. | 22.3 | 0.84 |
| | LTE | 25/02/23 6:58 a. m. | 135 | 47.5 |

Figura 48: Vista de pruebas totales de carga, descarga y latencia realizadas en Claro (prueba izquierda) y WOM (prueba derecha) en diferentes ubicaciones dentro de la zona de cobertura (fuente: App Speedtest Ookla)

10. Resultados y análisis de resultados

10.1.1 Cobertura

A continuación, se detallan las pruebas de Uplink y Downlink realizadas con cada operador en distintas ubicaciones:

Pruebas de UL, DL y latencia en Claro y WOM

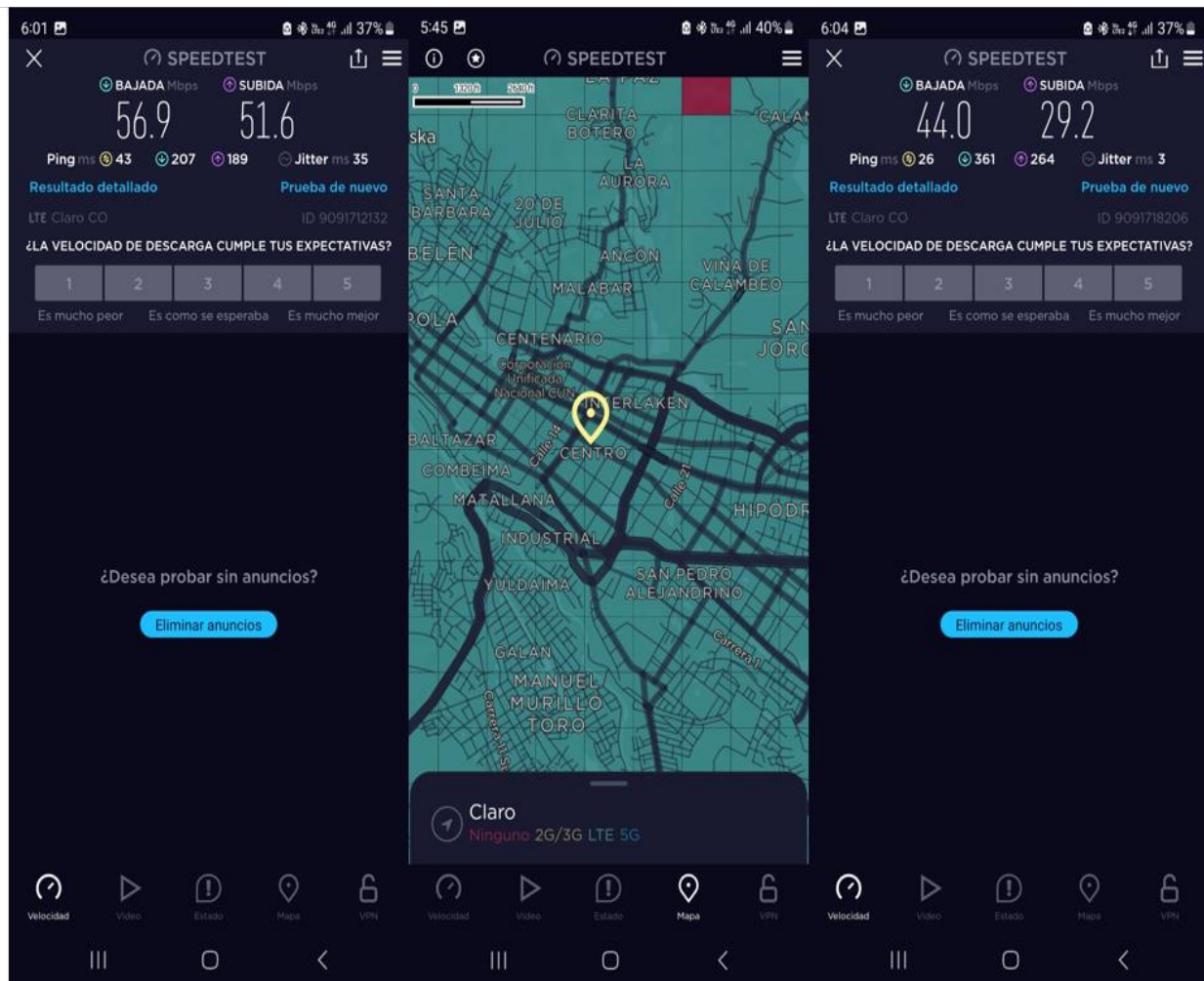


Figura 49: Pruebas de carga, descarga y latencia en ubicación 1, con prueba de Claro del lado izquierdo, en el centro la ubicación real y del lado derecho la prueba de WOM (tomada con App Speedtest Ookla)

En la figura 45 se identifica que la prueba de Claro en descarga presentó mayor velocidad, en este caso 56.9 Mbps mientras que WOM 44 Mbps; en carga, Claro alcanzó una velocidad de 51.6 Mbps y WOM tan solo de 29.2 Mbps. Asimismo, el ping de descarga en Claro fue de 207 ms y en WOM 361 ms, mientras que en carga para Claro fue de 189 ms y para WOM 264 ms.

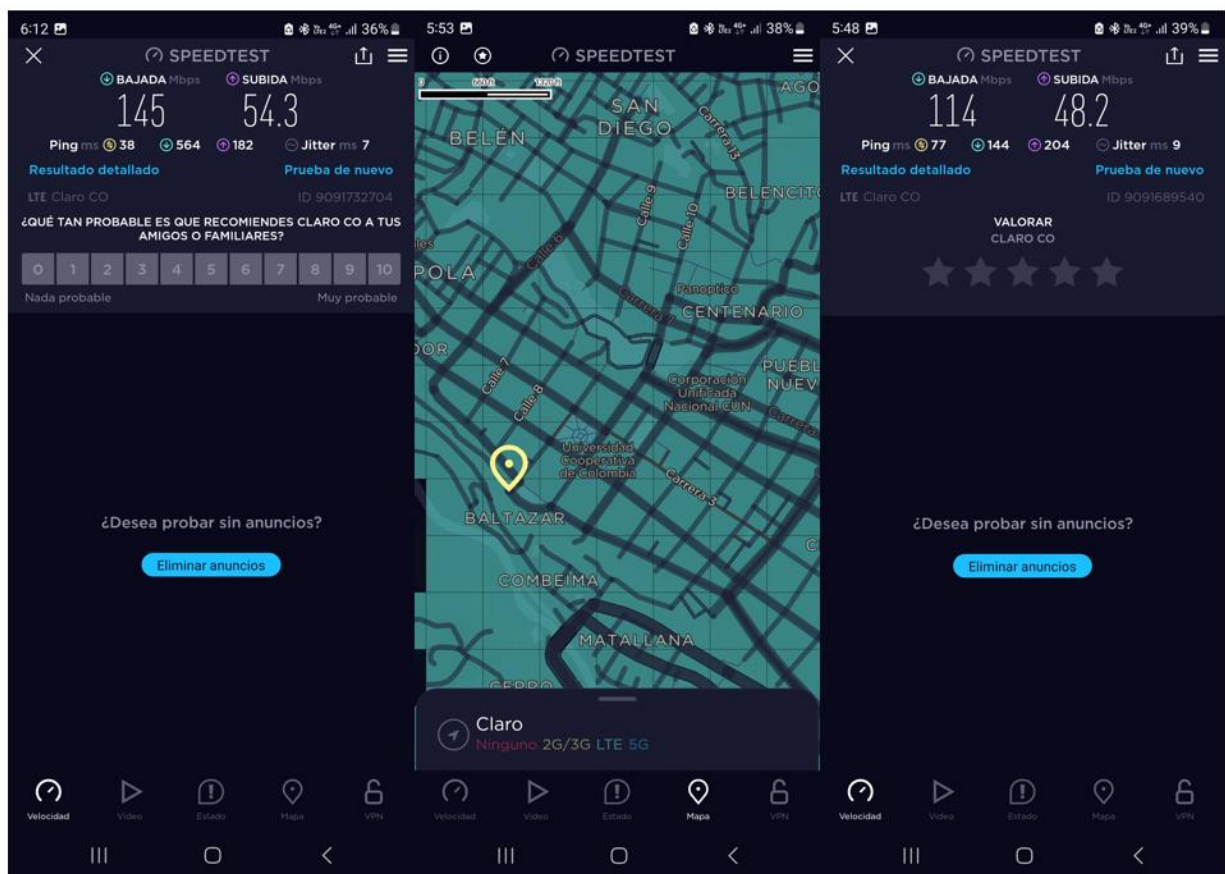


Figura 50: Pruebas de carga, descarga y latencia en ubicación 2, con prueba de Claro del lado izquierdo, en el centro la ubicación real y del lado derecho la prueba de WOM (tomada con App Speedtest Ookla)

En la figura 46 se identifica que la prueba de Claro en descarga presentó mayor velocidad, en este caso 145 Mbps mientras que WOM 114 Mbps; en carga, Claro alcanzó una velocidad de 54.3 Mbps y WOM tan solo de 48.2 Mbps. Asimismo, el ping de descarga en Claro fue de 564 ms y en WOM 144 ms, mientras que en carga para Claro fue de 182 ms y para WOM 204 ms.

Pruebas de UL, DL y latencia WOM

Pruebas G-Netrack pro

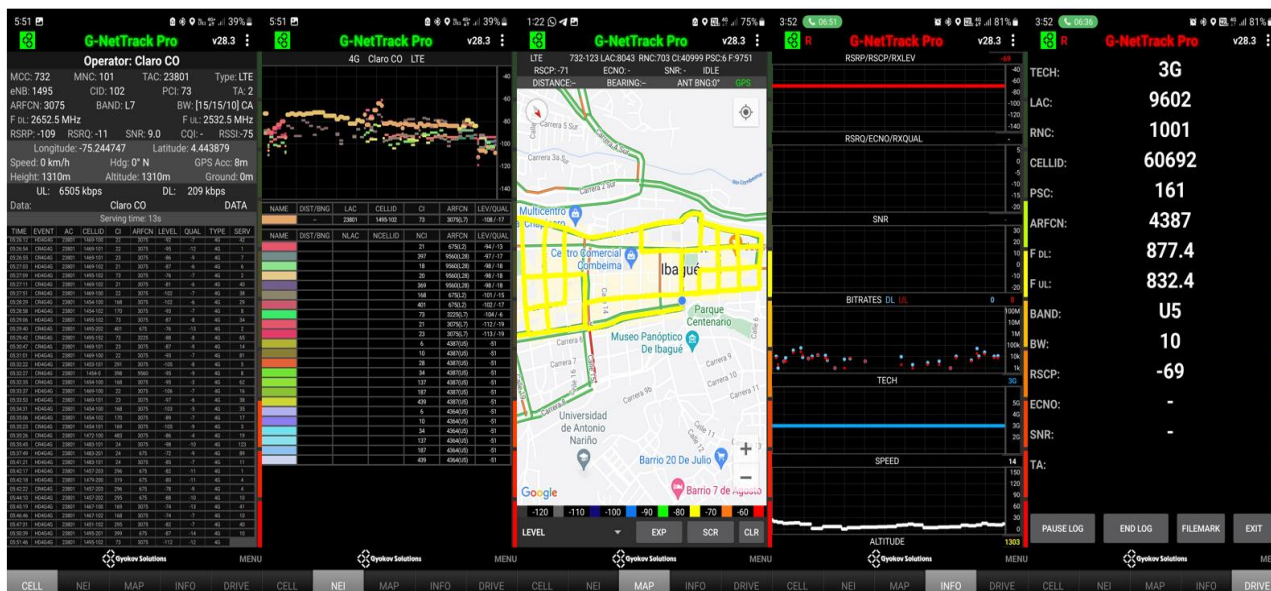


Figura 51: Vista general de cada una de las pestañas principales de G-NetTrack Pro como CELL para datos generales del operador, NEI para datos con colores para identificar cada celda, MAP para identificar ubicación, INFO para mirar UL y DL y DRIVE para datos resumidos.

Procesamiento de pruebas G-NetrackView Pro

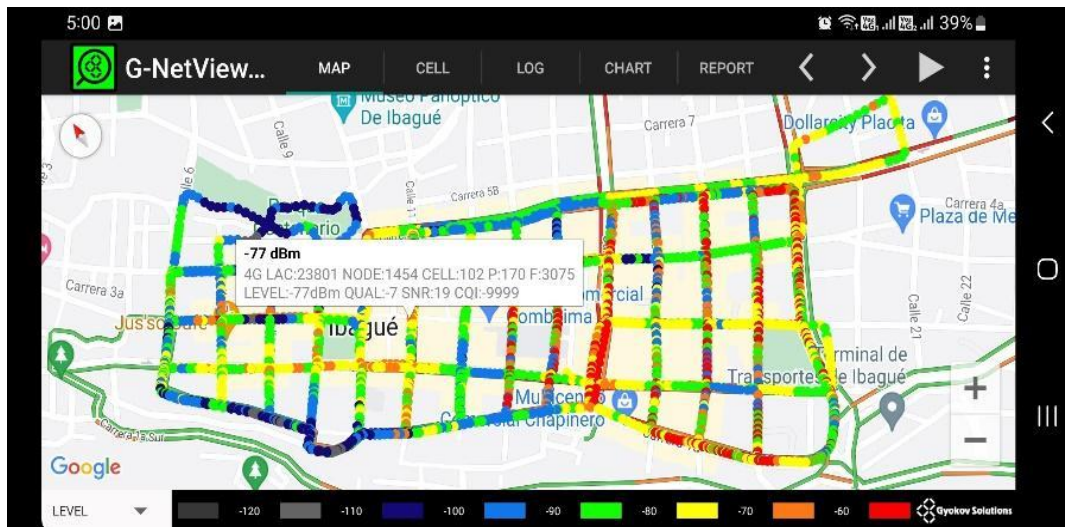


Figura 52: Vista de niveles de RSRP tomada con G-NetTrackView, en ella se identifica mayor potencia de señal recibida en los colores verde, amarillo, naranja y rojo. Los colores azules representan cobertura, pero con una potencia recibida entre -90 dBm y -110 dBm, la cual no es buena para el servicio

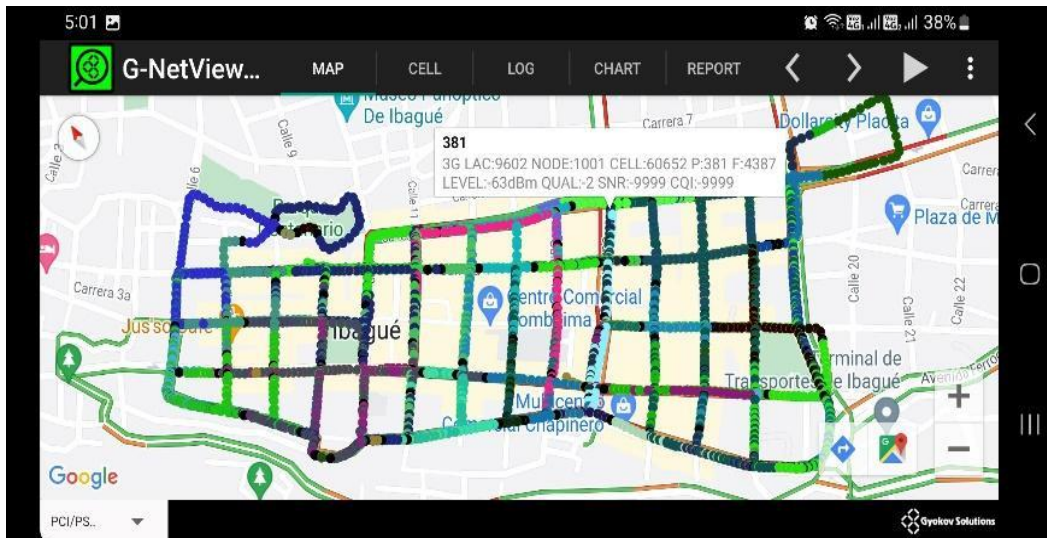


Figura 53: Vista PCI tomada con G-NetTrackView, ella se identifican por color las celdas a las que durante la prueba de campo detectó el teléfono móvil

10.2.1 Tecnologías en la zona de cobertura

Al analizar las tecnologías disponibles en la zona relacionada de la ciudad de Ibagué, se encontraron tecnologías como 2G, 3G y LTE. Este trabajo no se centra en investigación de voz sobre LTE, aunque hace parte de la tecnología de 4G. Con esta información, el operador con más usuarios en Colombia es Claro, y en su página web indica: “Revoluciona tus llamadas con voz 4G” [49], esto se refiere a VoLTE por sus siglas en inglés Voice over Long-Term Evolution (Voz en evolución a largo plazo) y según HUAWEI, una empresa China ampliamente reconocida, enfocada en tecnología, define VoLTE como: “una tecnología IP de transferencia de datos que permite transferir el servicio de voz mediante la transmisión de datos en redes operadoras de datos LTE. La tecnología VoLTE se basa en la red 4G y permite unificar los servicios de datos y voz en la misma red”.

Claro, en el enlace <https://www.claro.com.co/personas/servicios/servicios-moviles/volte/> promociona su servicio de voz 4G e indica cobertura de este servicio, así:

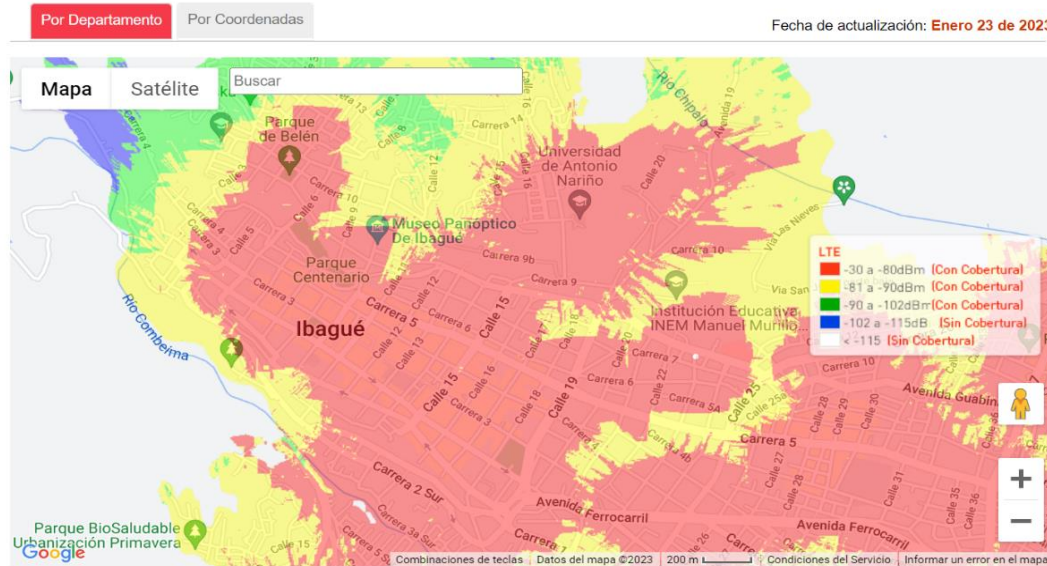


Figura 54: Zona de cobertura LTE del operador Claro en la ciudad de Ibagué, según plataforma de NPERF, donde el servicio de LTE se ofrece en las zonas de color rojo, amarillo y verde.

Toda la zona de estudio de este proyecto, según la figura 66, cuenta con VoLTE (Huawei, 2023) que corresponde a los colores rojo, amarillo y verde.



Figura 55: Visualización de el parámetro Serving System del operador Claro, donde se evidencia la tecnología a la que se conectó el dispositivo al realizar la prueba, en este caso de llamadas en UMTS (Simulación de Nemo Outdoor)

En la figura 51 se muestra una prueba post-procesada para llamadas de Claro, en ella hay una leyenda que indica las tecnologías en la zona que realizaron dicha prueba y el color azul representa a UMTS FDD por lo que indica que el servicio de VoLTE no estaba disponible en esta zona.

Para el operador WOM, indica que las llamadas realizadas en las pruebas corresponden a UMTS FDD como se muestra en la Figura 52:

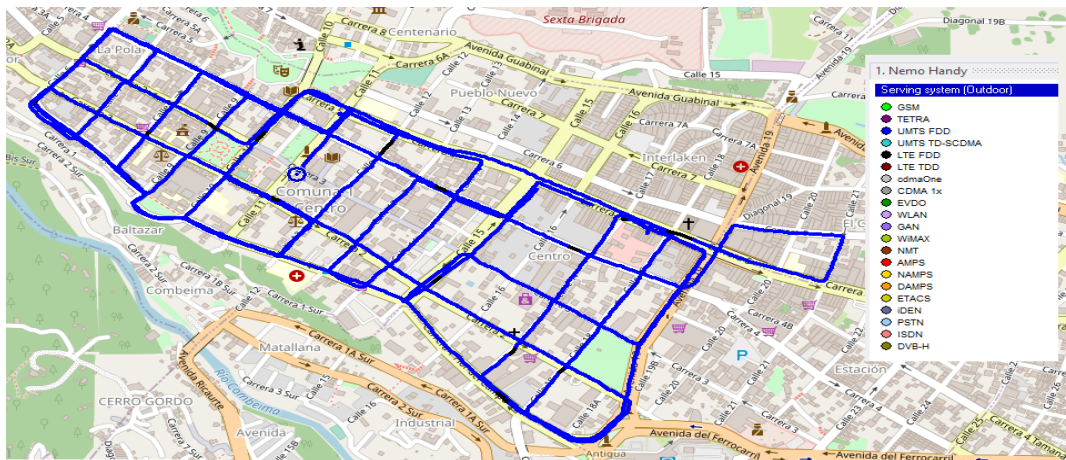


Figura 56: Visualización de una prueba de WOM en llamada, se identifica la tecnología en la que se realizó la prueba, en este caso UMTS (Simulación de Nemo Outdoor)

Los servicios de carga y descarga de datos funcionaron bajo la tecnología LTE, llegando como se muestra en la figura 53 para Claro, a niveles por encima de los 50 Mbps y superando en algunos de color verde los 100 Mbps.

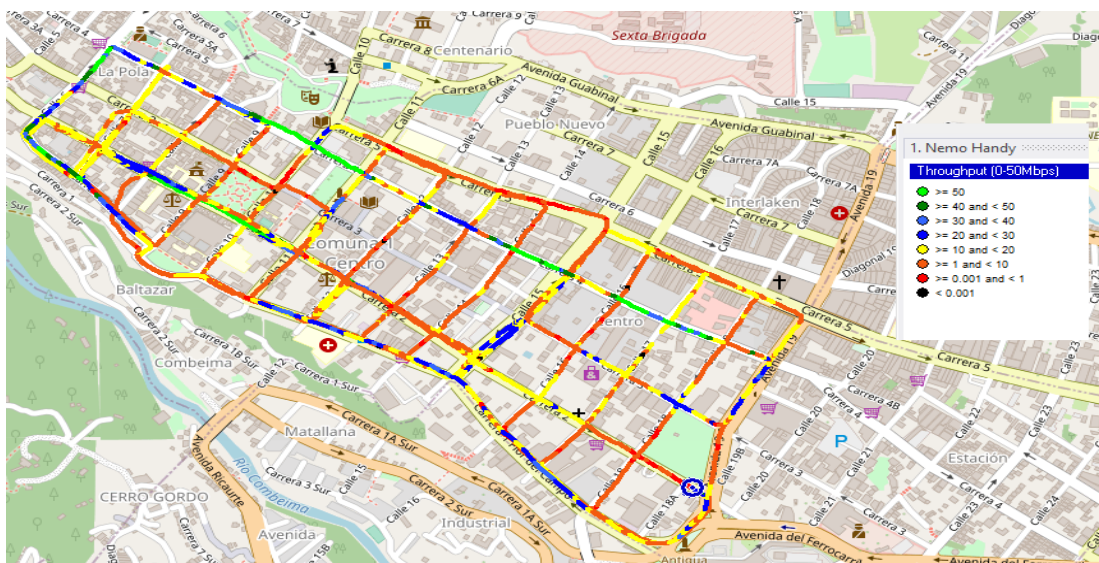


Figura 57: Prueba de Throughput de Claro en descarga, niveles ≥ 50 Mbps en color verde en pocas zonas, mientras que la mayor parte del recorrido se mantuvo en ≥ 1 y < 10 Mbps (Simulación Nemo Outdoor)

WOM tuvo mejor promedio de velocidad de navegación según las leyendas de los dos operadores, ya que según los colores se mantuvo en promedio entre 20 y 40 Mbps según la figura 54, mientras que Claro se mantuvo en promedio por debajo de los 20 Mbps.

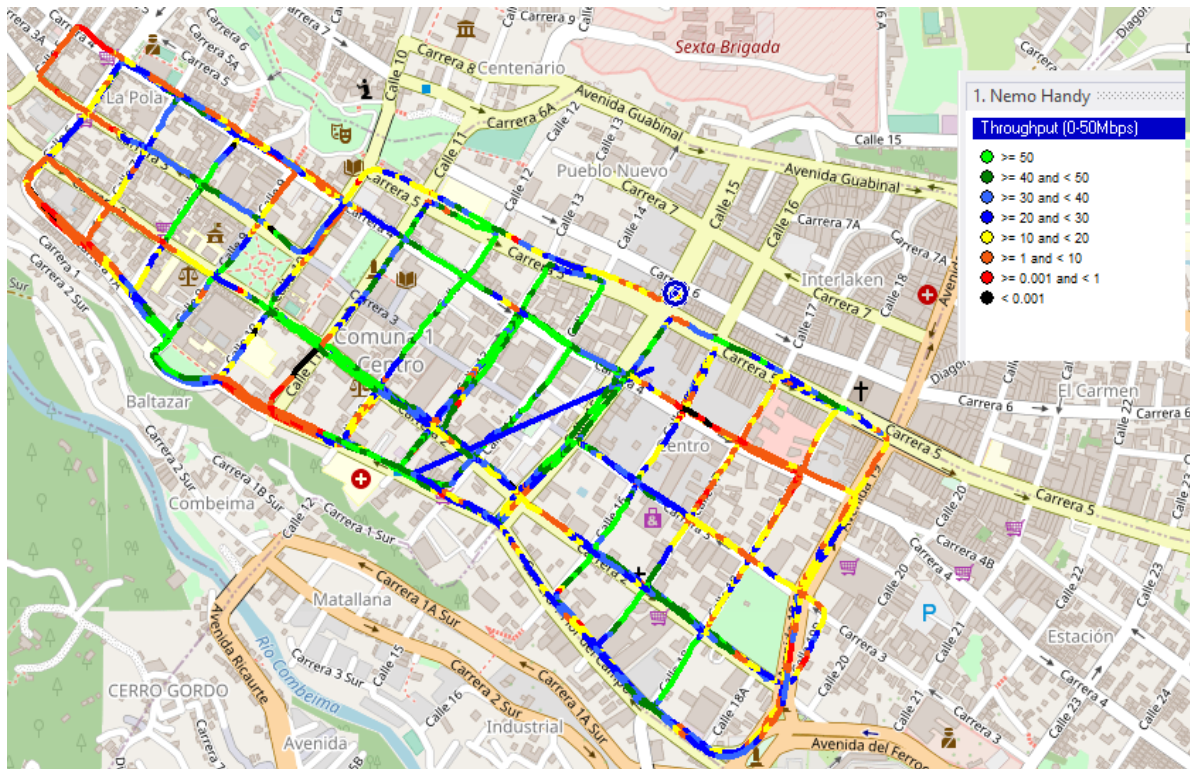


Figura 58: Prueba de Throughput de WOM en descarga, niveles ≥ 50 Mbps en color verde en pocas zonas, mientras que la mayor parte del recorrido se mantuvo en ≥ 20 y < 40 Mbps (Simulación Nemo Outdoor)

Según las imágenes anteriores, los dos operadores tuvieron un promedio por debajo de la velocidad que ofrece LTE en carga y descarga según la figura 44, donde hay valores por encima de los 100 Mbps debido a que las pruebas de la figura 44, fueron en puntos estáticos y otros en movimiento por un breve espacio de tiempo.

En las siguientes figuras 55 para Claro y 56 para WOM, se evidencia una lista de colores en las leyendas de los dos operadores y esto representa las celdas que se registraron durante el recorrido de cada operador.

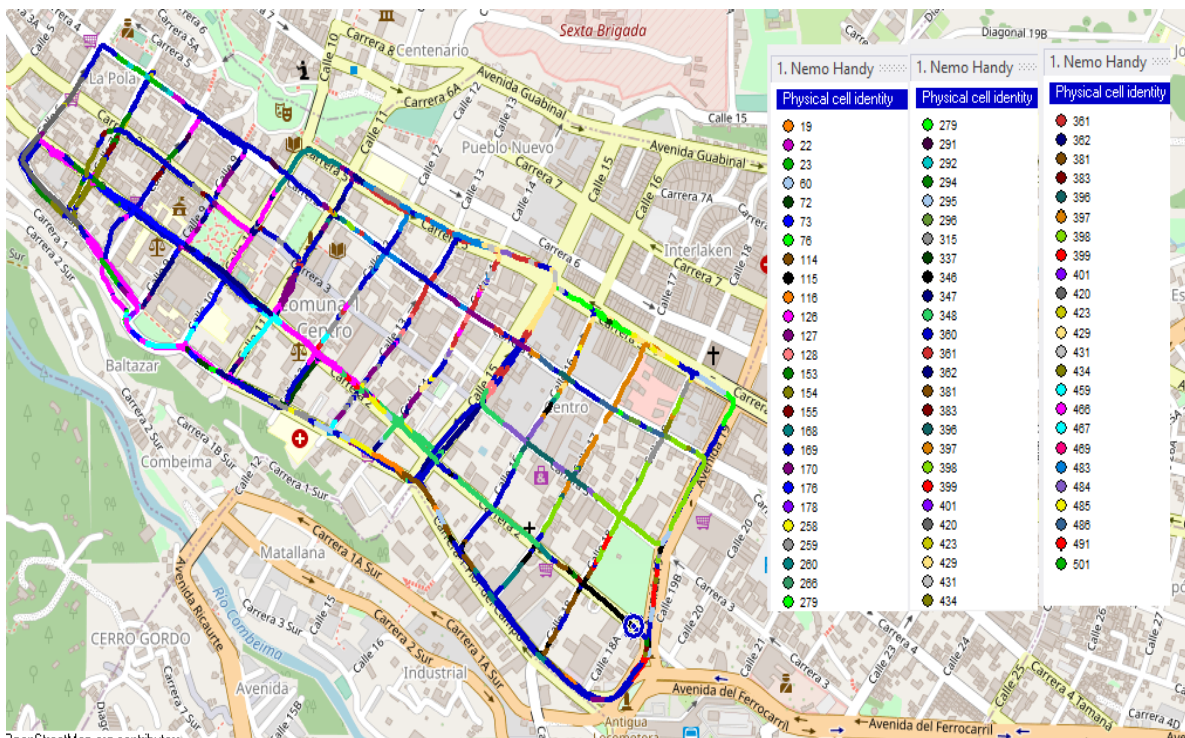


Figura 59: Visualización de celdas identificadas en la zona de cobertura del operador Claro en descarga y carga de datos (Simulación Nemo Outdoor)

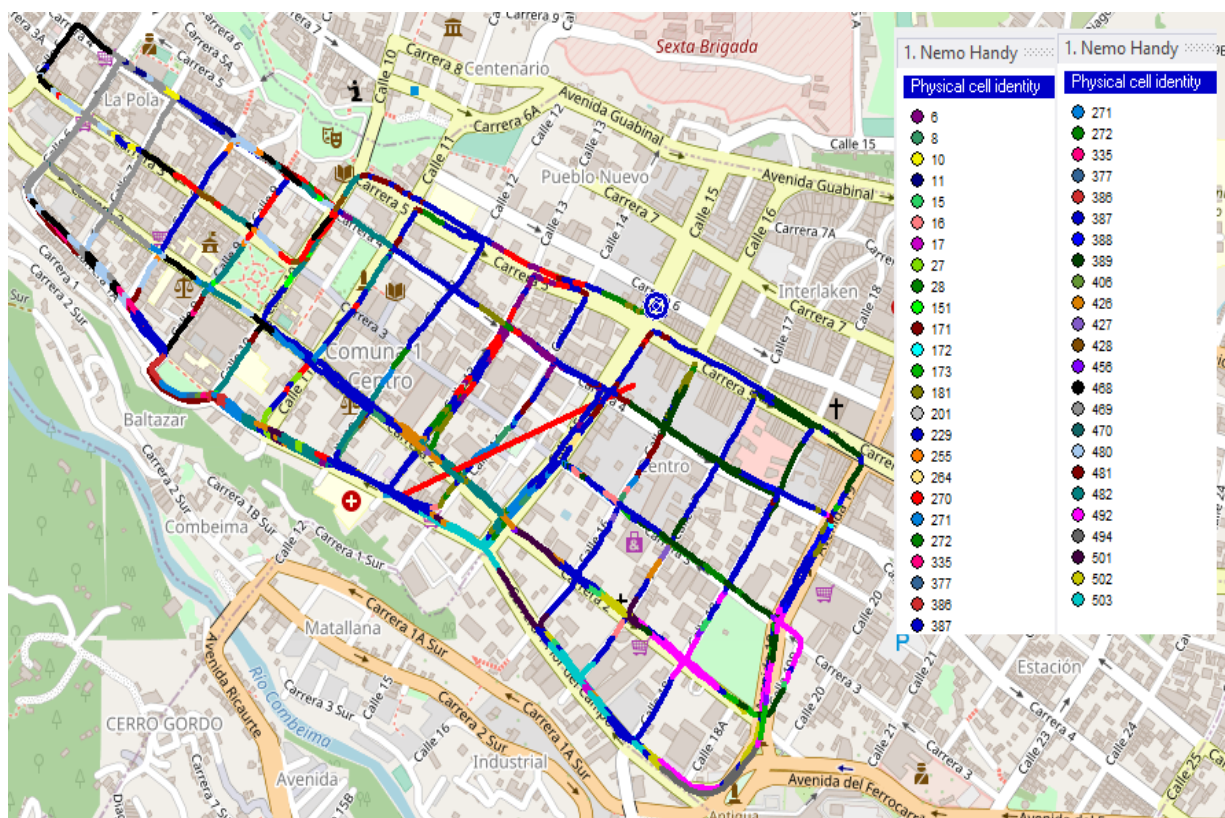


Figura 60: Visualización de celdas identificadas en la zona de cobertura del operador WOM en descarga y carga de datos (Simulación Nemo Outdoor)

Las pruebas no tuvieron un buen comportamiento, si bien se tiene una buena cobertura por parte de los dos operadores, los aspectos como el solapamiento afectan la medición. Los valores de RSRP son muy buenos, pero el tener una buena recepción no garantiza un buen servicio, como se demostró, hay muchos factores que afectan la calidad de un buen servicio, no solo basta con cubrir la zona, se deben controlar las celdas vecinas y ofrecer una relación de calidad buena, donde no suceda la caída de datos, de llamadas ni señal.

Utilizando el software libre de procesamiento, se evidencia que hay una gran cantidad de celdas vecinas presentes en las pruebas y a pesar de que no es una aplicación costosa, sirve para ayudar a los usuarios a que prueben todos los servicios que ofrece. En G-NetView Pro se identifican las celdas vecinas, valores de cobertura, calidad y todo lo necesario para determinar si el servicio recibido es lo que contrataron.

10.3.1 Simulaciones de Cobertura Xirio Online

Esta simulación tiene una leyenda en la parte izquierda que representa los valores en dBm de la señal potencia recibida de referencia en la zona que está dentro del recuadro azul; este recuadro azul representa la delimitación hecha en el software para la predicción de cobertura. Los círculos de color blanco y negro dentro de este recuadro representan las estaciones base ubicadas según los datos recogidos en dicha zona.

Según el modelo de propagación ingresado de la recomendación UIT 1411, ideal para servicios de telefonía móvil, es la zona que cubre con las potencias descritas. Se pueden obtener valores desde -92 dBm y acercándose a valores como -65 dBm.

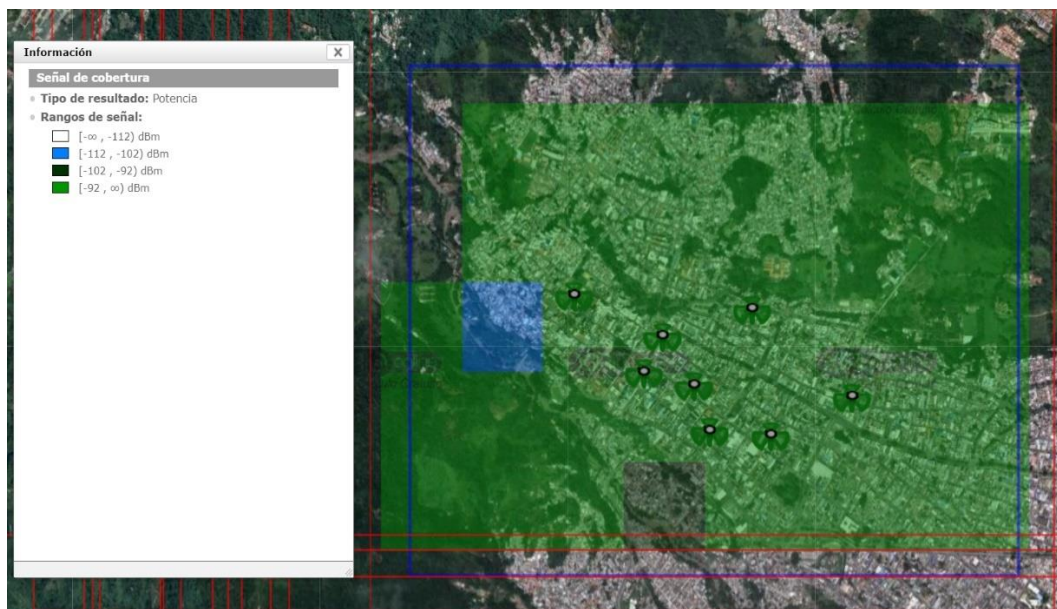


Figura 61: Visualización de zona de cobertura de Claro en la zona centro de Ibagué donde se evidencia en color verde claro valores de potencia recibida de referencia donde alcanza valores máximos cercanos a los -92 dBm y en color azul entre -102 dBm y -112 dBm. Presenta una zona en verde oscuro que no alcanza a ingresar a la zona de cobertura (Simulación con Xirio Online)

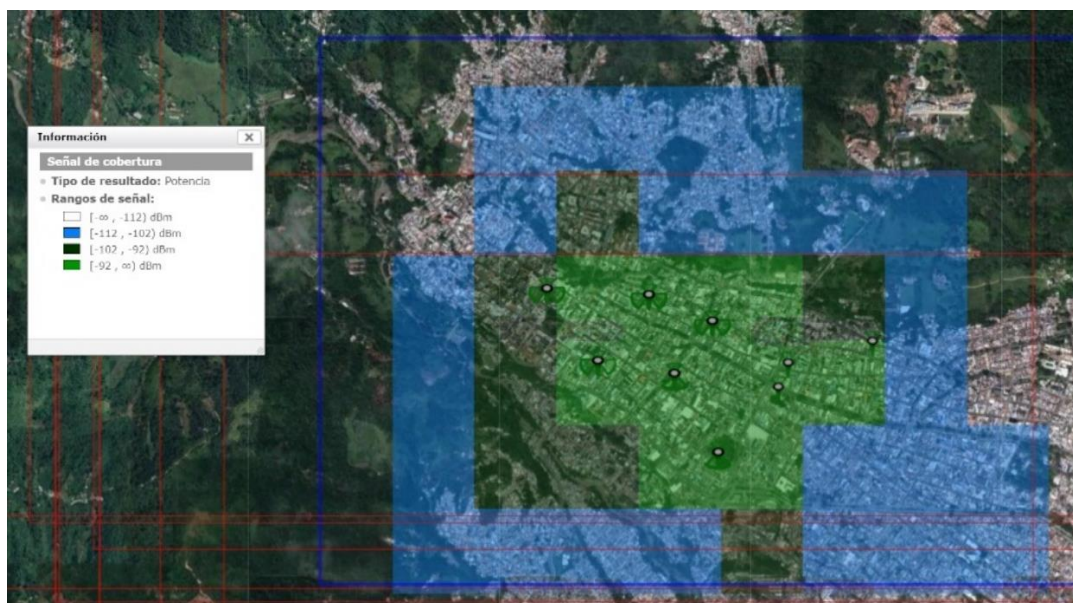


Figura 62: Visualización de zona de cobertura de WOM en la zona centro de Ibagué donde evidencia de acuerdo a la leyenda, una zona de niveles entre -92 dBm y 102 dBm que corresponde al color verde oscuro y representa que la potencia recibida de referencia es más débil en esos cuadros, acercándose a la pérdida de señal (Simulación con Xirio Online)

10.3.2 Solapamiento

En este apartado se ve el solapamiento de las celdas vecinas, debido a que en esta zona hay ocho (8) estaciones base, el número de servidores también es mayor. El color blanco representa que hay menos de un servidor solapándose, pero para la imagen de referencia se pueden encontrar hasta 5 servidores que están en interferencia.

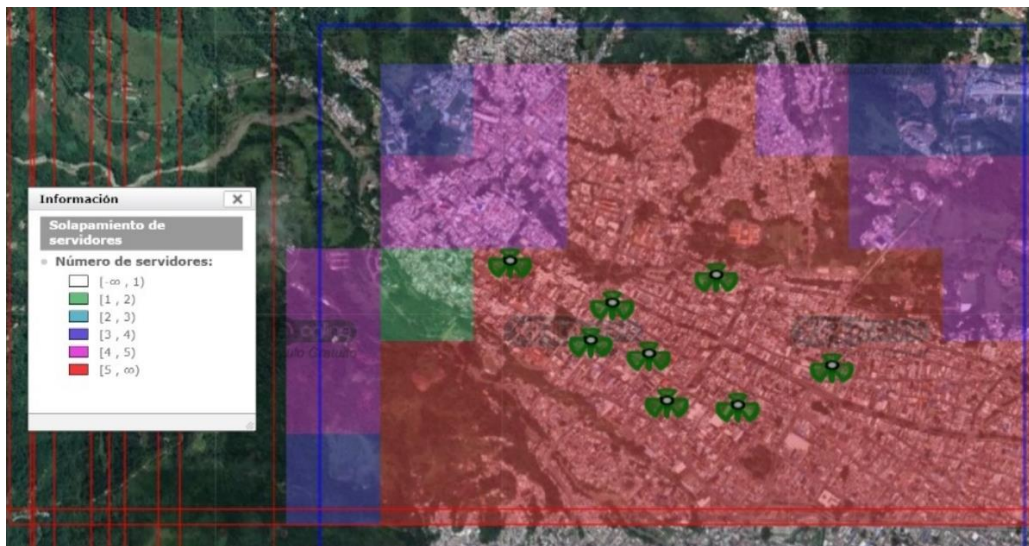


Figura 63: Esta figura representa el solapamiento de las celdas del operador Claro en la zona de cobertura, se aprecia que el color rojo es predominante por la gran cantidad de vecinas en el área que según la leyenda tiene una concentración de 5 servidores (Simulación con Xirio Online)

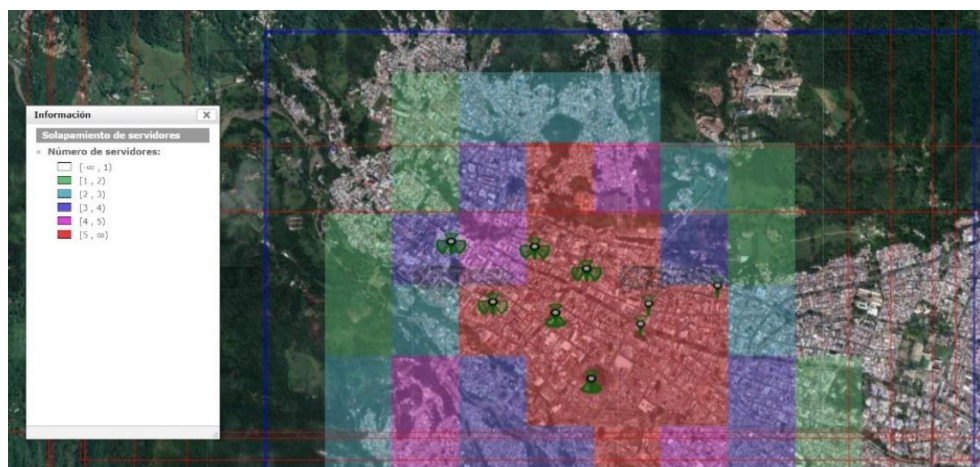


Figura 64: Esta figura representa el solapamiento de las celdas del operador WOM en la zona de cobertura, se aprecia que el color rojo es predominante por la gran cantidad de vecinas en el área, presenta menor número de servidores solapándose porque tiene menor números de sectores con respecto a Claro (Simulación con Xirio Online)

10.3.2 Mejores servidores

Los servidores reflejan las zonas en las que los sectores de las estaciones vecinas tienen una mejor cobertura; en determinada zona se pueden tener varias estaciones base, pero hay zonas que tienen un mejor sector y estas celdas van a servir en la que mejor recepción ofrezca. Puede suceder que se conecte y desconecte de celdas constantemente, esto sucede cuándo demasiadas celdas están interfiriendo como se identificará en las conclusiones.

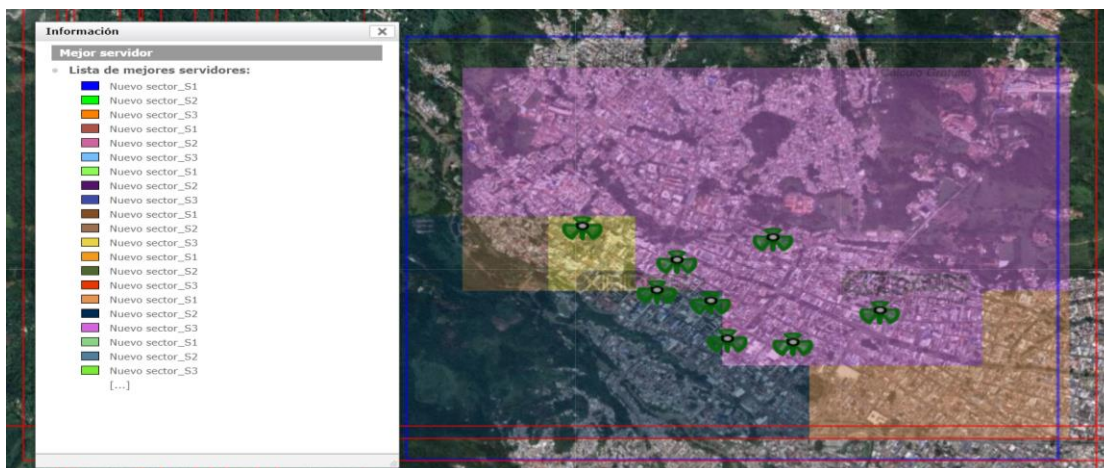


Figura 65: Visualización de las zonas donde que cuentan con mejores servidores en el operador Claro, presenta cinco (5) sectores de los cuáles 3 tienen mejor servicio pero solo dos (2) ocupan la mayor parte de la zona de cobertura (Simulación con Xirio Online)

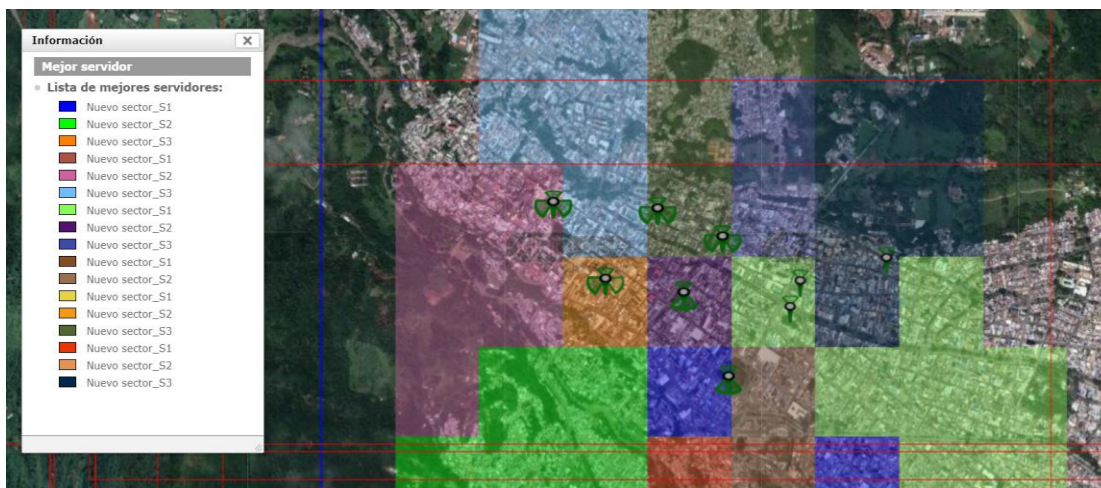


Figura 66: En esta figura, se observan muchos más servidores para el operador de WOM, esto se debe a que hay menos cantidad de sectores en la zona y ocupan las zonas libres, debido a esto no hay sectores predominantes (Simulación con Xirio Online)

11. Conclusiones

Se encontraron tecnologías inferiores a 4G, como UMTS y GSM que son las que soportan las llamadas de cuándo LTE no las soporta debido a que no se encontraron muestras en la zona de VoLTE de los dos operadores, al enviar un mensaje de texto o consumir recurso de datos, el dispositivo se mantiene en la tecnología de LTE hasta que se haga o reciba una llamada, en ese momento cae a UMTS o GSM para recibirla o hacerla y al terminar regresa a la tecnología de LTE para cumplir con el CS Fallback.

Se logra evidenciar una gran cantidad de celdas vecinas en la zona de cobertura para los dos operadores de telefonía móvil; al tener tantas celdas hay solapamiento y si este solapamiento no está controlado, ocasionará que los dispositivos se conecten a celdas desde otros sectores y ocasione para este caso, caídas bruscas de datos, como navegar a más de 100 Mbps y de repente caer a 0 Mbps y de un momento a otro, tomar valores como 5 Mbps, subir a 50 Mbps y volver a caer a 0 Mbps. Controlar estos problemas de solapamiento es posible con técnicas de ajuste físico, revisar los sectores que limitan en la zona, analizar la capacidad de usuarios, características de las antenas, inclinación mecánica, orientación, ajuste de tilt eléctrico de la a antena, entre otros.

Cuanto menor sea el número de servidores, también será menor la interferencia entre celdas vecinas, no solo puede haber solapamiento por el número de estaciones base cercanas, esto puede verse afectado por la mala cobertura de la zona, es decir, si en una zona no hay una buena cobertura con valores de potencia de referencia óptimos, esto ocasionará que el dispositivo móvil intente conectarse a celdas desde lugares muy lejanos y comience a testear varias celdas al tiempo con mala potencia.

Los valores de potencia de señal recibida de referencia (RSRP) encontrados en el Drive test concuerdan con las simulaciones de los dos operadores de telefonía móvil, pero los valores de calidad de la señal de referencia recibida (RSRQ) se mantienen al límite, son valores que en la mayor parte de los tramos de las pruebas de campo, ofrecen buena cobertura pero limitado servicio a los usuarios, es decir, en los niveles mayores a -10 dB la señal de referencia será recibida por el usuario con un buen servicio, menor latencia y navegación estable, pero en valores como -18 dB, -20 dB o -25 dB, el usuario experimentará niveles de potencia de señal recibida de referencia inferiores a -95 dB, por lo que la velocidad será menor con alta latencia.

En varias muestras se experimentó caídas bruscas de datos, no solo el RSRP o el RSRQ afectan a estas métricas, sino que la proporción de señal a interferencia más ruido (SINR) interviene y afecta otros parámetros como el Handover y hace que todo ellos fallen. Los sistemas de redes se implementan obteniendo una buena cobertura de la zona de estudio, revisando la red de transporte, el entorno geográfico, cantidad de usuarios, tecnologías requeridas, entre otros; pero es solo la primera parte de potencia a entregar, los sistemas se basan en la optimización de redes y recursos transformados en calidad y esto lleva una relación estrecha con la proporción de señal a interferencia más ruido para llegar a más usuarios con el mejor servicio.

Las pruebas de datos de los dos operadores indicaron en ciertos puntos valores altos en los niveles de velocidad de carga y descarga de datos, pero estos valores en un solo punto no pueden ser tomados como definitivos, ya que como se evidenció, hay zonas en las que las hay caídas bruscas y estas afectan los recorridos que al ser procesados muestra la deficiencia del servicio, esto indica que hay cobertura pero no buena calidad y así los usuarios experimentarán deficiencias en el servicio prestado.

12. Anexos

Pruebas de post-procesamiento con Nemo Outdoor y tomadas con Nemo Handy

Pruebas del operador Claro en llamada

Scrambling Code

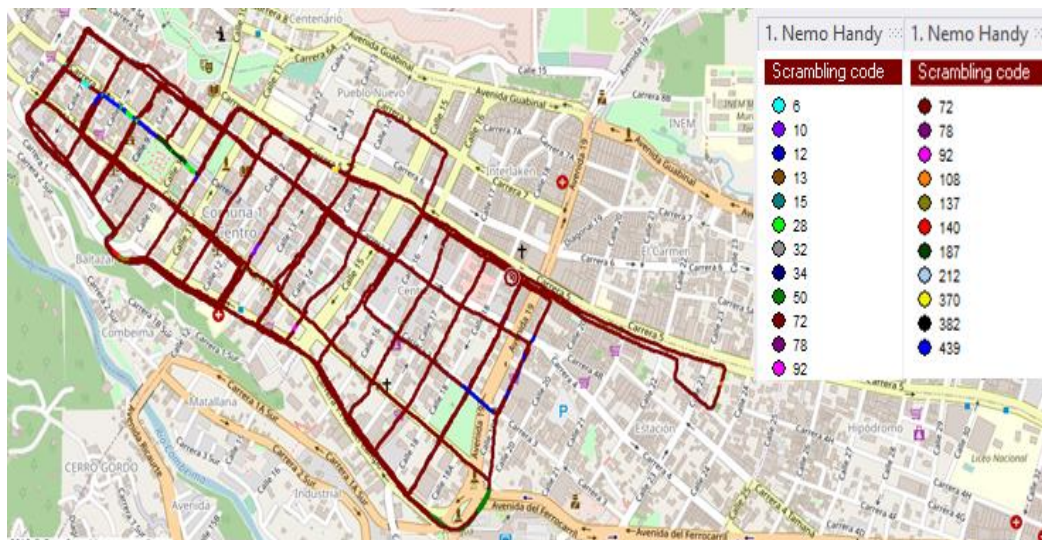


Figura 67: Parámetro de UMTS, representa y distingue las celdas entre sí, identifica las celdas a las que se pueden conectar. El Scrambling Code al que más se conectó la red de Claro fue al número 72 (Simulación Nemo Outdoor)

Channel Number

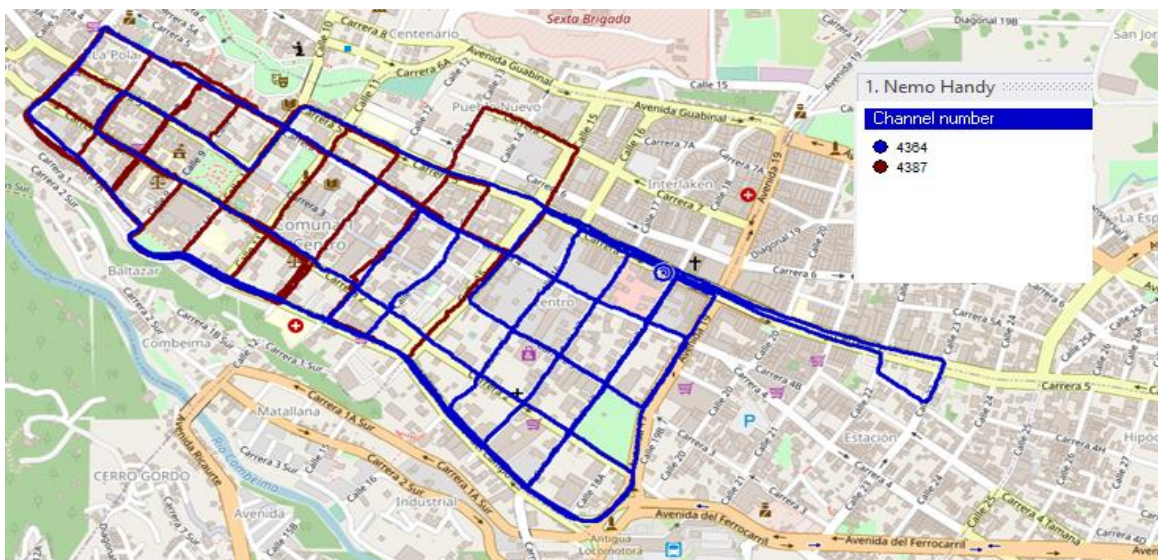


Figura 68: Solo dos canales se registraron durante las pruebas de llamadas realizadas en el Drive Test de llamada de Claro (Simulación Nemo Outdoor)

Pruebas del operador WOM en llamadas:

Scrambling code

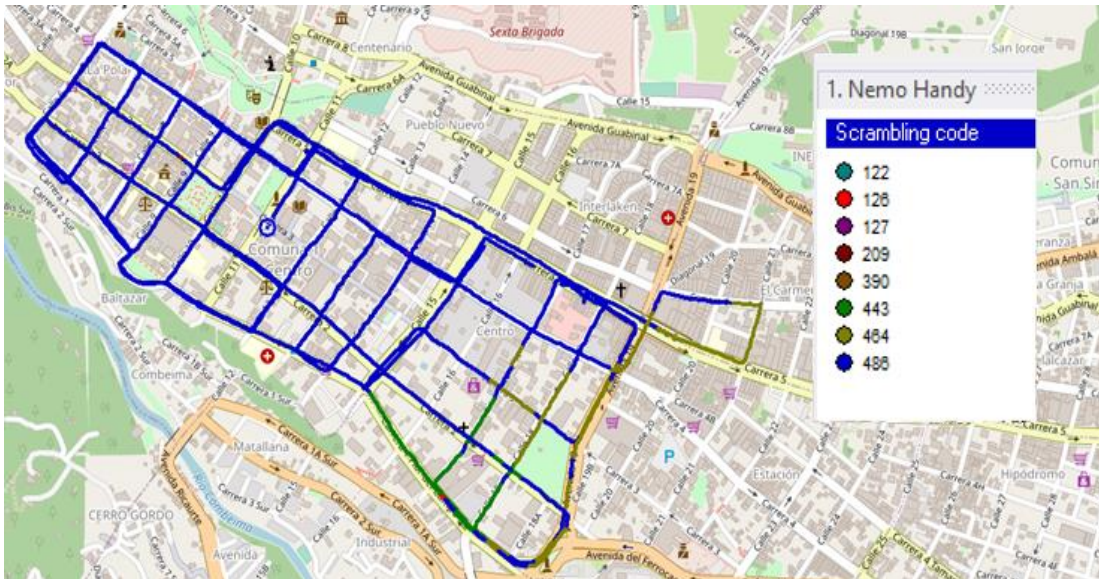


Figura 69: Parámetro de UMTS, representa y distingue las celdas entre sí, identifica las celdas a las que se pueden conectar. El Scrambling Code al que más se conectó la red de WOM fue al número 486 (Simulación Nemo Outdoor)

Channel number

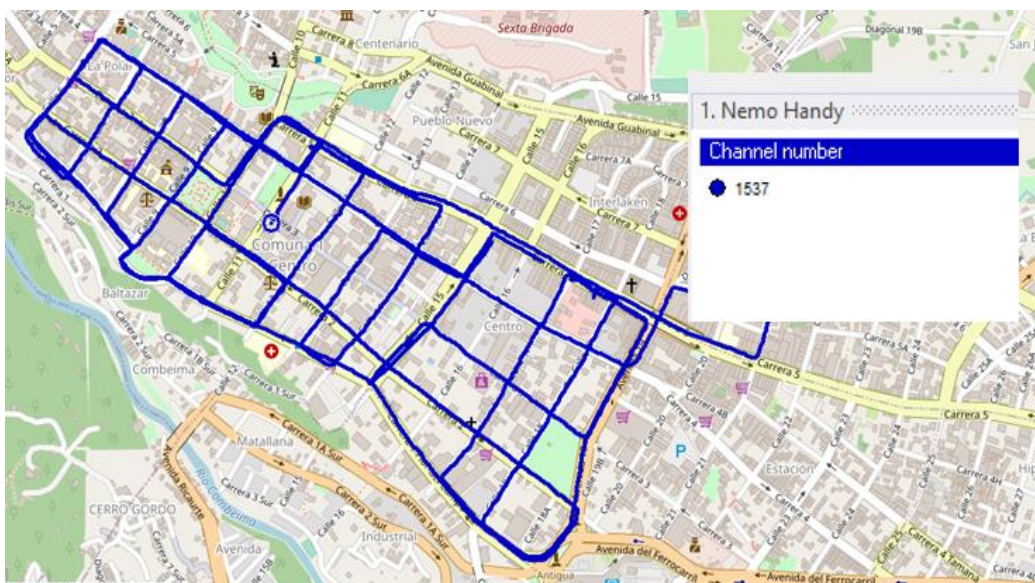


Figura 70: Solo se registró un canal durante las pruebas de llamadas realizadas en el Drive Test de llamada de WOM (Simulación Nemo Outdoor)

Pruebas del operador Claro en descarga:

Tecnología: LTE

Serving system

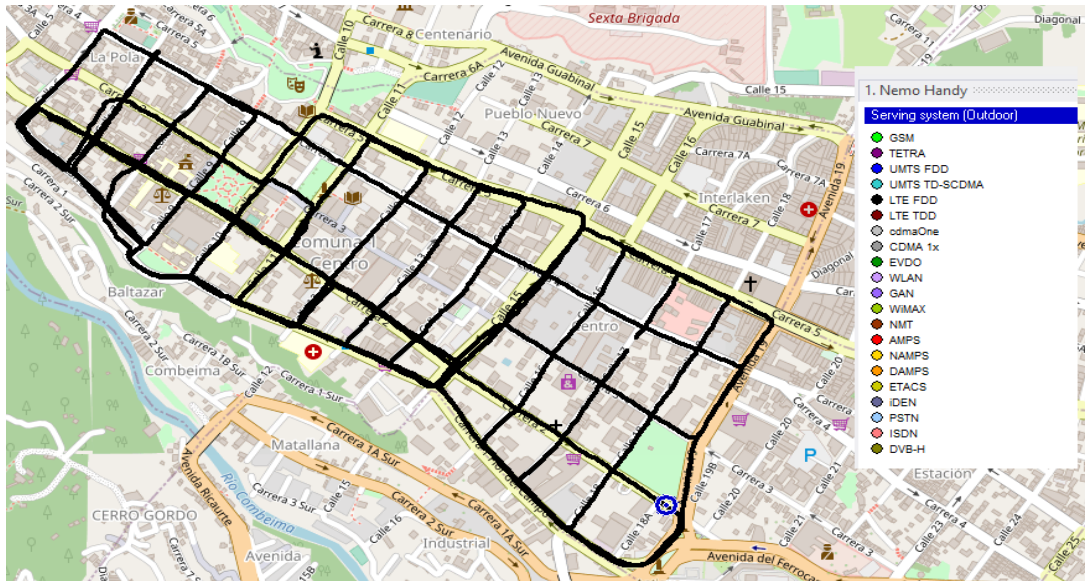


Figura 71: Serving System identificado a LTE FDD como la tecnología conectada para la prueba a tipo de duplexación FDD para las pruebas de descargas en Claro (Simulación Nemo Outdoor)

Channel number

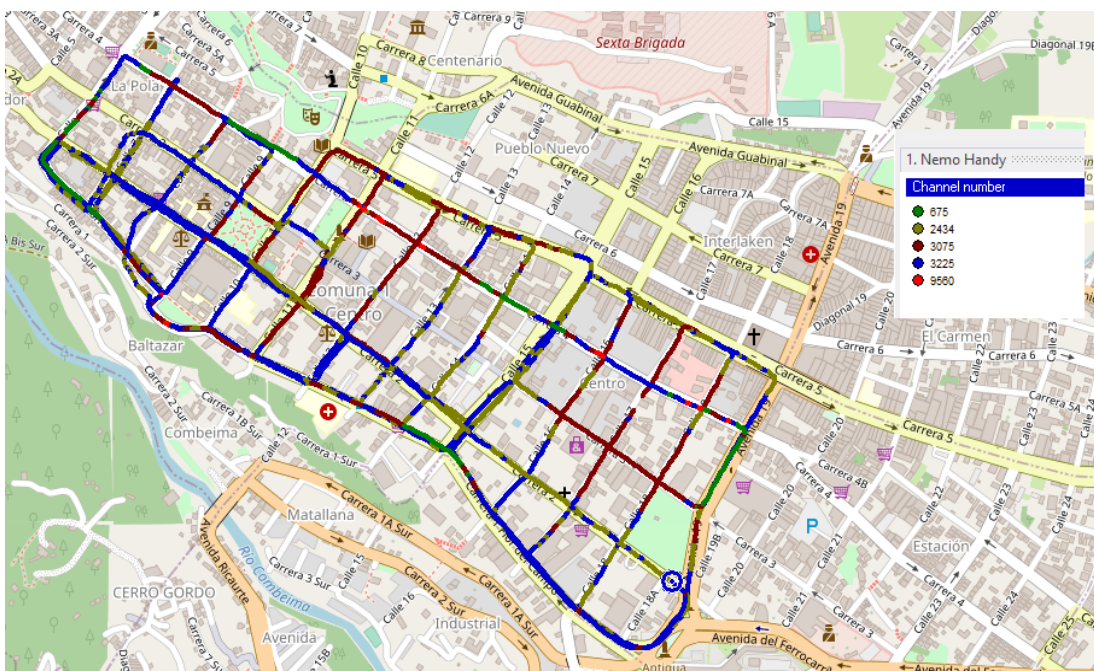


Figura 72: Se identificaron cinco (5) canales durante las pruebas de descargas realizadas en el Drive Test de Claro, no se registró desconexión entre canales (Simulación Nemo Outdoor)

Cell identification

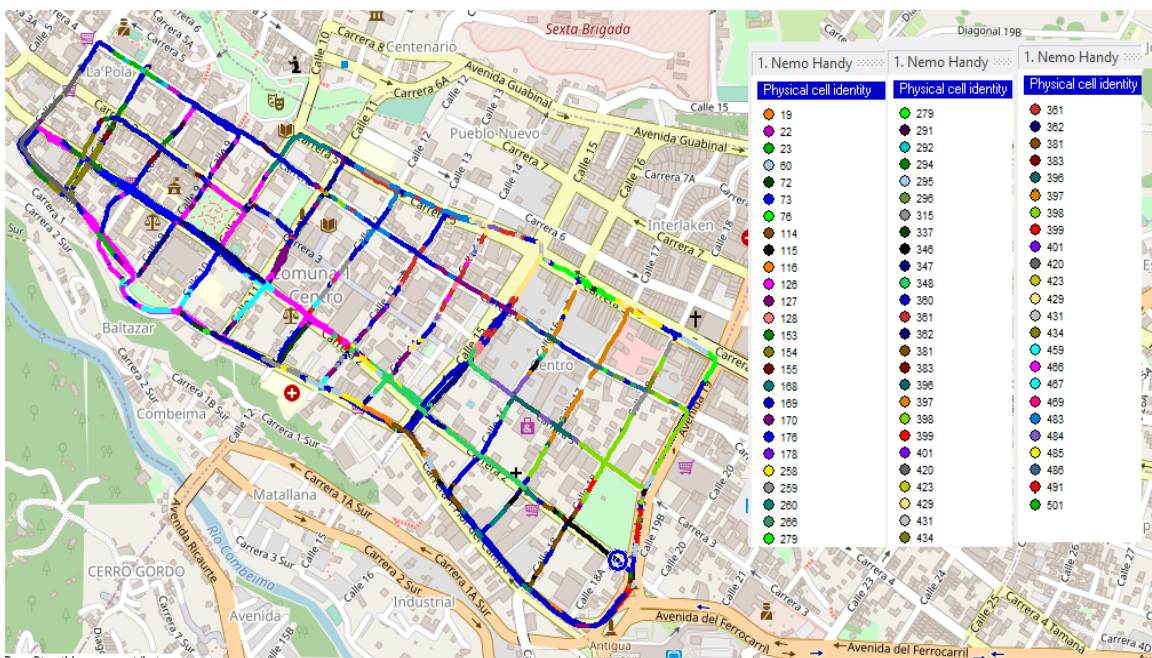


Figura 73: Visualiza el registro de múltiples celdas en la zona de cobertura, estas representan los sectores disponibles propios de la zona y vecinas (Simulación Nemo Outdoor)
RSRP

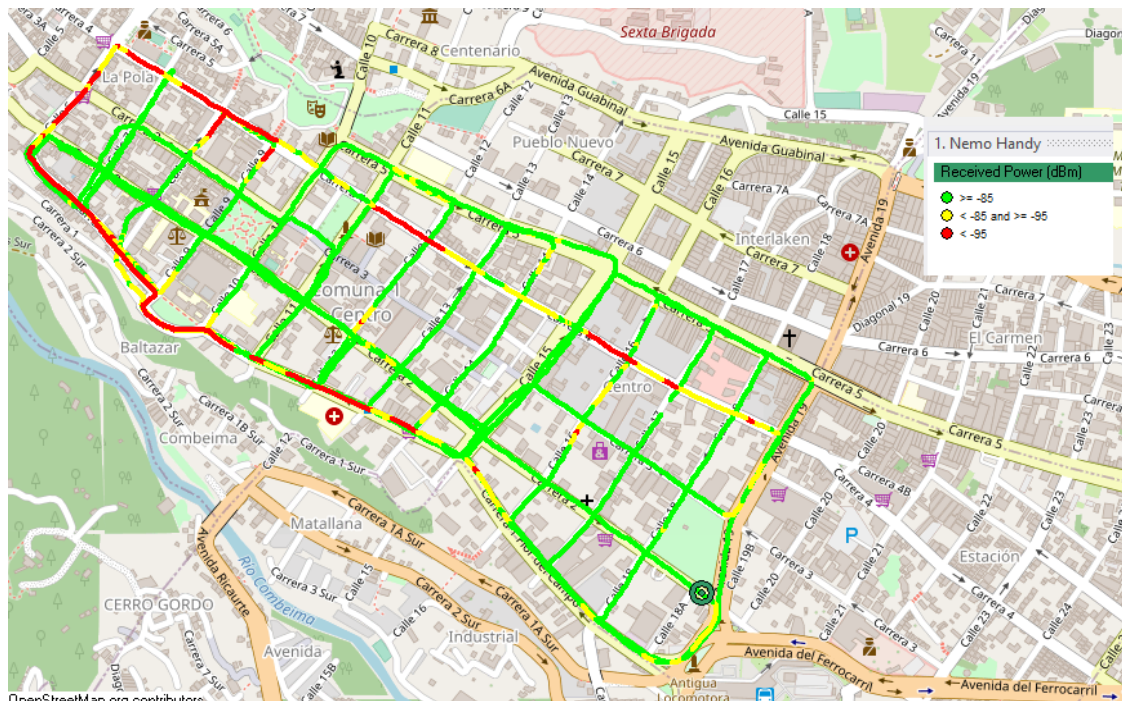


Figura 74: Representa la potencia recibida de señal de referencia en la zona de cobertura, presenta niveles en la mayoría del Drive Test inferiores a los -85 dB (Simulación Nemo Outdoor)

RSRQ



Figura 75: Representa la calidad de referencia de la señal con la que se está transmitiendo. La mayor parte del recorrido presenta niveles menores a -10 dB, por lo que la señal se podrá recibir fácilmente por el usuario (Simulación Nemo Outdoor)

SNR

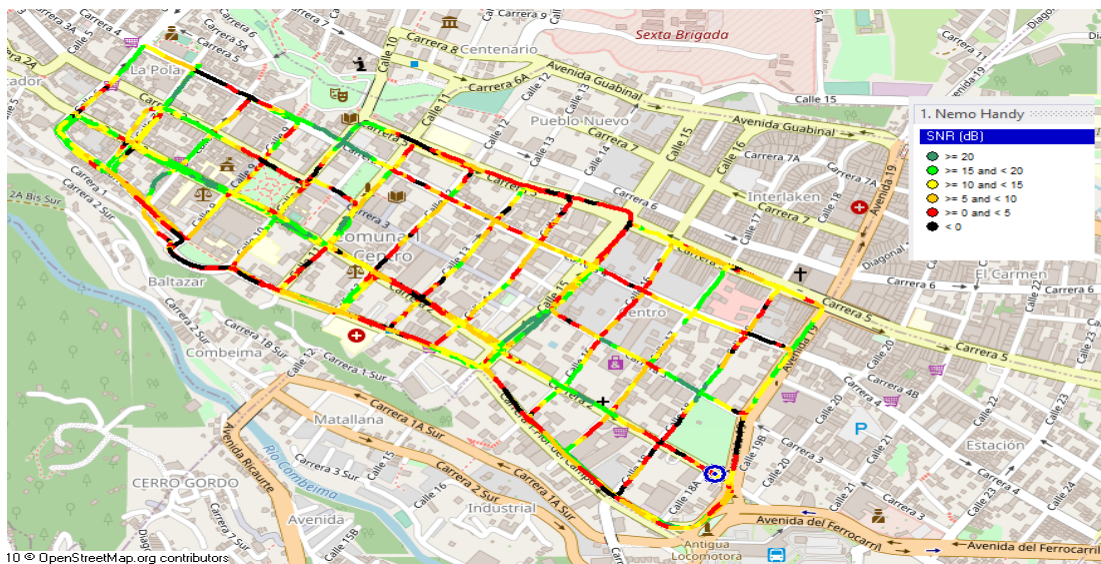


Figura 76: Representa la diferencia entre la señal transmitida y el nivel de ruido más la interferencia. Para redes LTE lo ideal es alcanzar niveles de 5 dB, para este parámetro en algunas franjas está por debajo de este valor y no hay un buen balance entre cobertura y calidad (Simulación Nemo Outdoor)

Pruebas del operador WOM en descarga:

Tecnología: LTE

Serving system

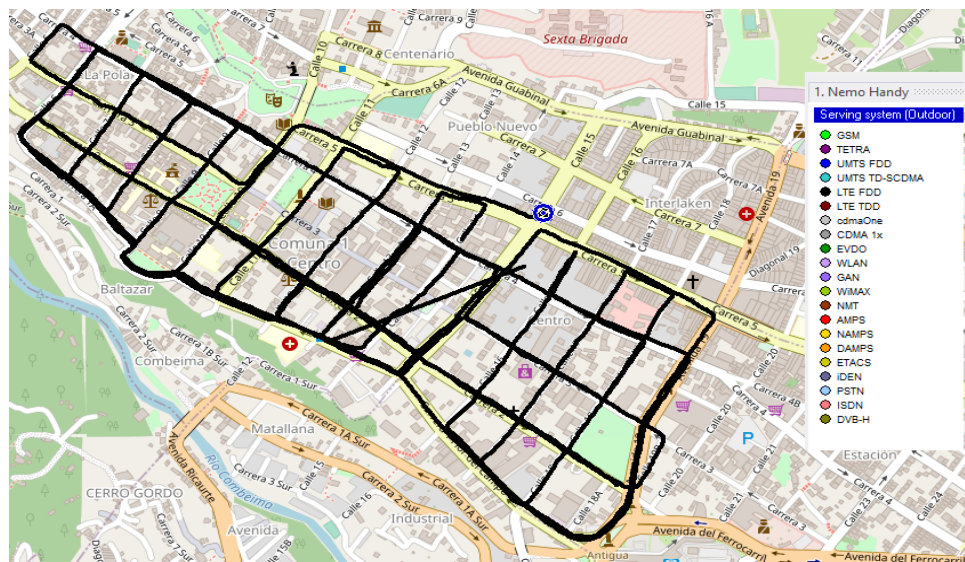


Figura 77: Serving System identificado a LTE FDD como la tecnología conectada para la prueba y tipo de duplexación FDD para las pruebas de descargas en WOM (Simulación Nemo Outdoor)

Channel number

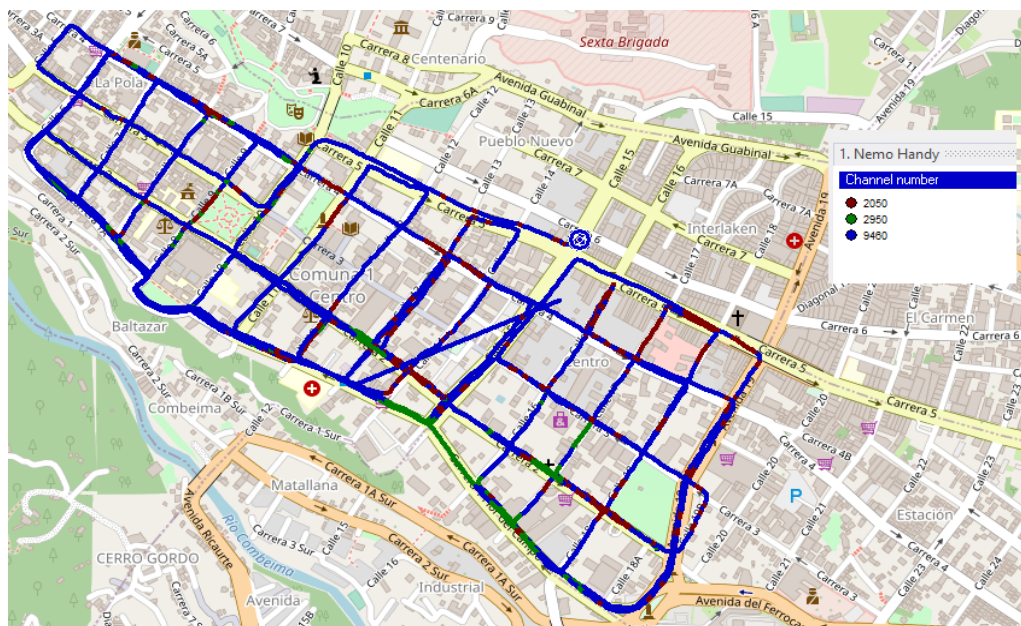


Figura 78: Se identificaron tres (3) canales durante las pruebas de descargas realizadas en el Drive Test de WOM, no se registró desconexión entre canales (Simulación Nemo Outdoor)

Cell identification

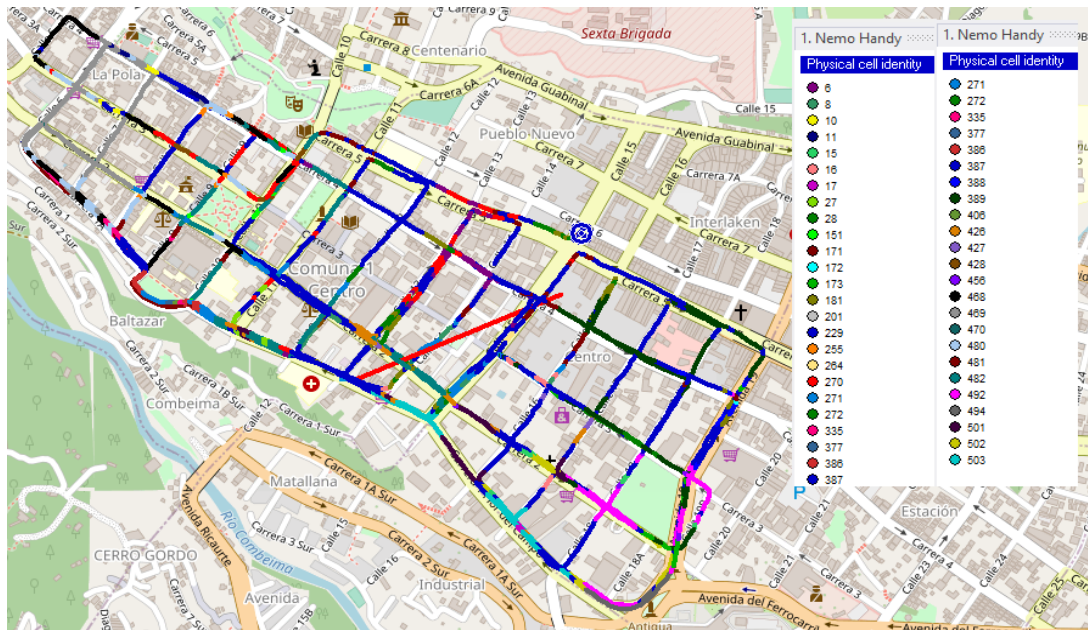


Figura 79: Visualiza el registro de múltiples celdas en la zona de cobertura, estas representan los sectores disponibles propios de la zona y vecinas (Simulación Nemo Outdoor)

RSRP

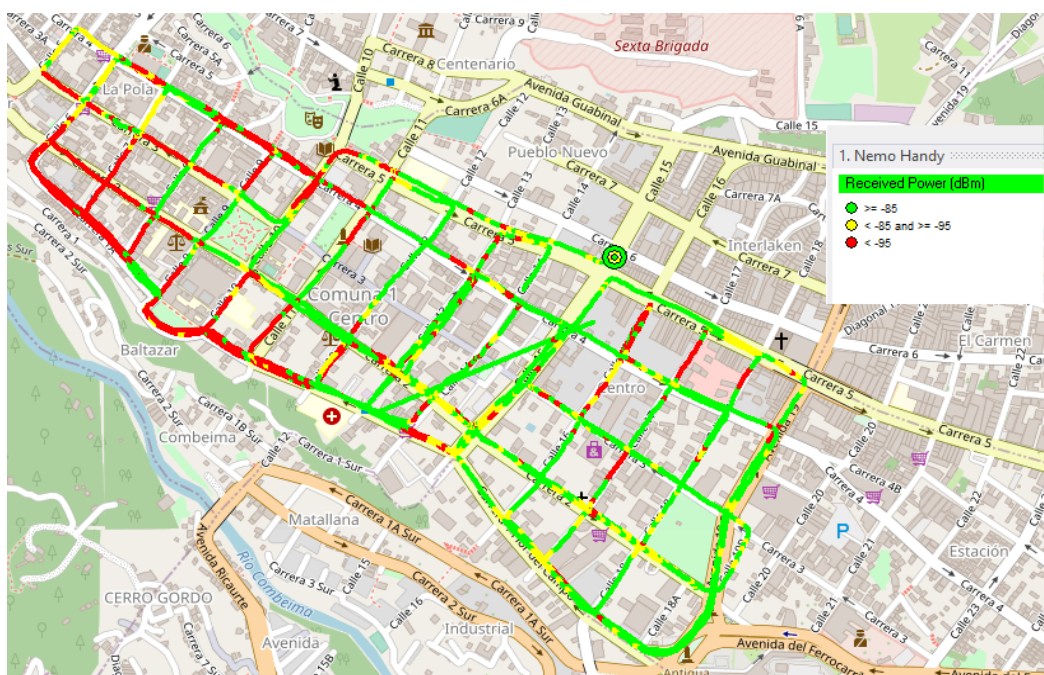


Figura 80: Representa la potencia recibida de señal de referencia en la zona de cobertura, presenta niveles en la mayoría del Drive Test inferiores a los -85 dB (Simulación Nemo Outdoor)

RSRQ

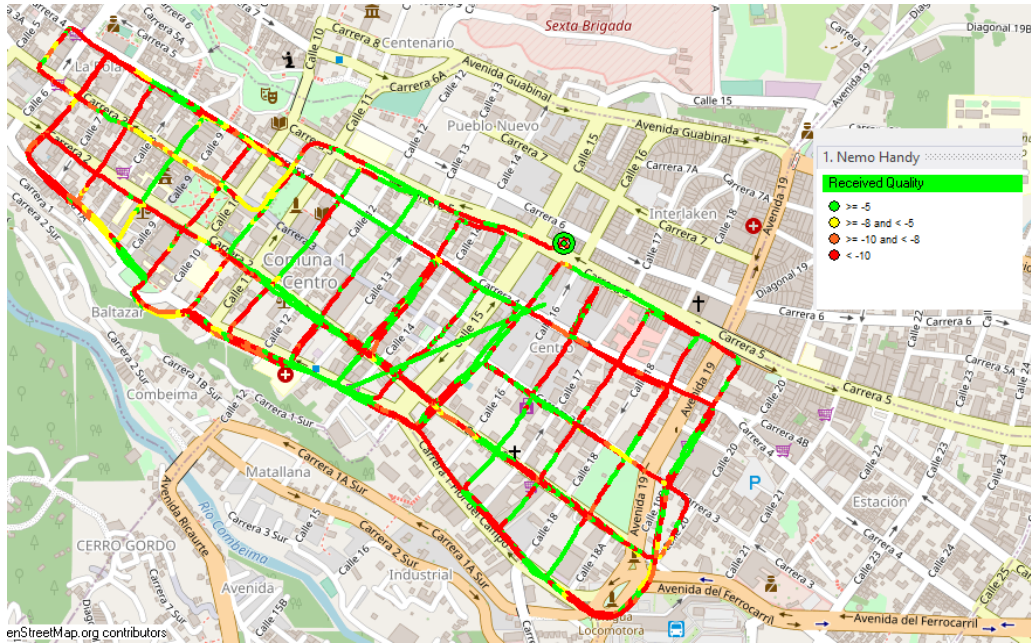


Figura 81: Representa la calidad de referencia de la señal con la que se está transmitiendo. La mayor parte del recorrido presenta niveles menores a -10 dB, por lo que la señal se podrá recibir fácilmente por el usuario (Simulación Nemo Outdoor)

SNR

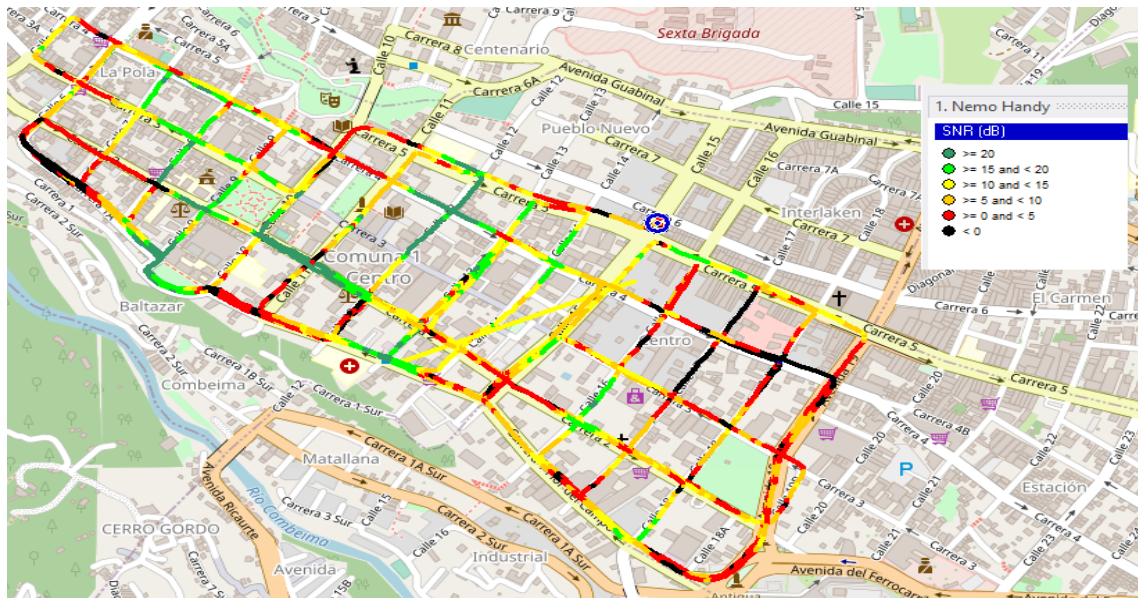


Figura 82: Representa la diferencia entre la señal transmitida y el nivel de ruido más la interferencia. Para redes LTE lo ideal es alcanzar niveles de 5 dB, para este parámetro en algunas franjas está por debajo de este valor y no hay un buen balance entre cobertura y calidad (Simulación Nemo Outdoor)

Pruebas del operador Claro en Carga:

Tecnología: LTE

Serving system

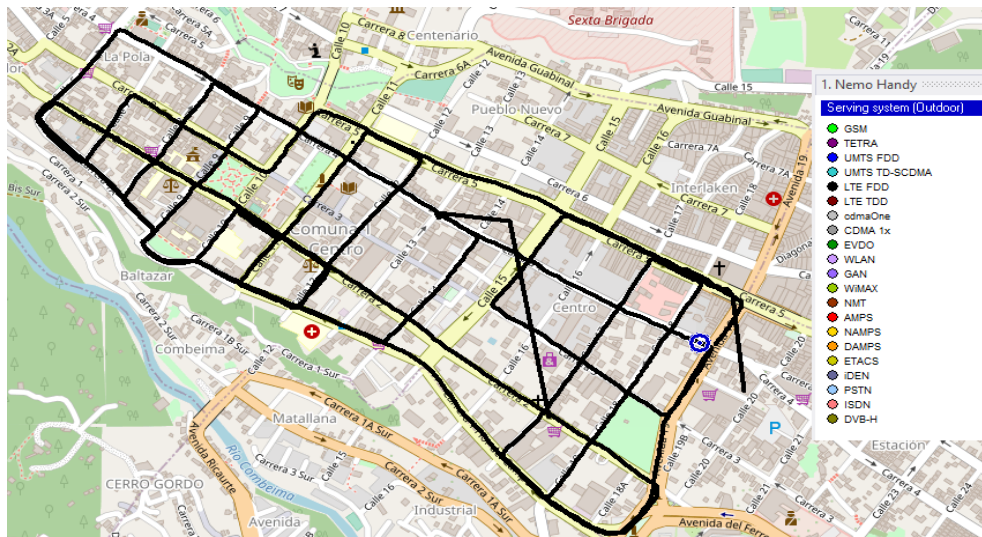


Figura 83: Identificada LTE FDD como la tecnología conectada para la prueba y tipo de duplexación FDD para las pruebas de descargas en Claro (Simulación Nemo Outdoor)

Channel number

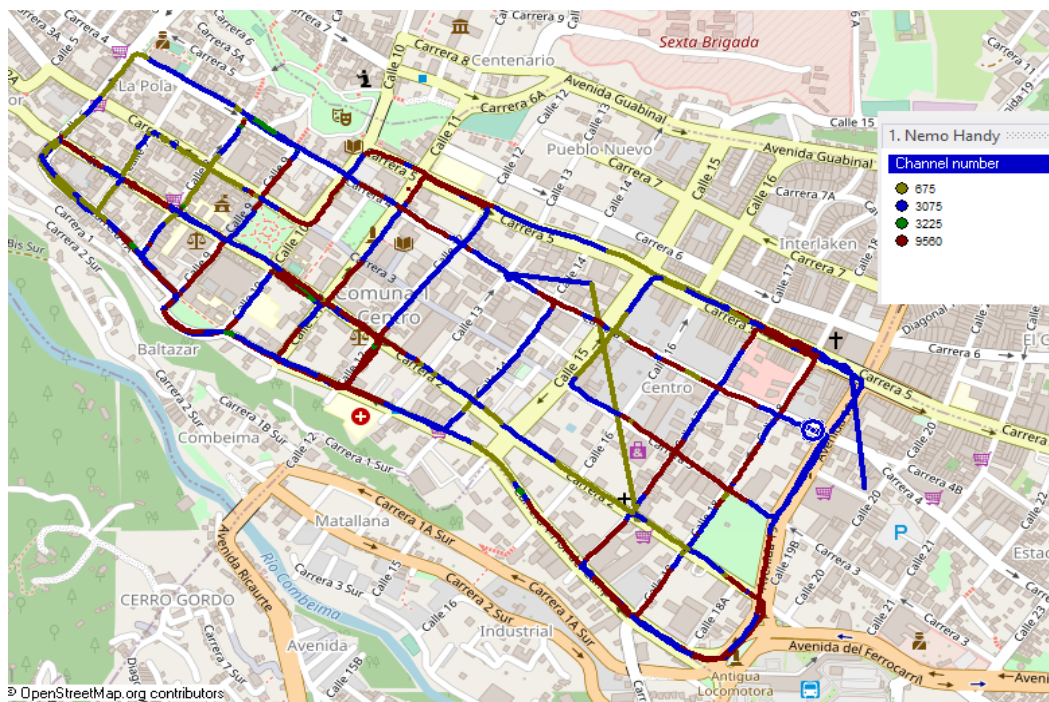


Figura 84: Se identificaron cuatro (4) canales durante las pruebas de descargas realizadas en el Drive Test de Claro, no se registró desconexión entre canales (Simulación Nemo Outdoor)

PCI

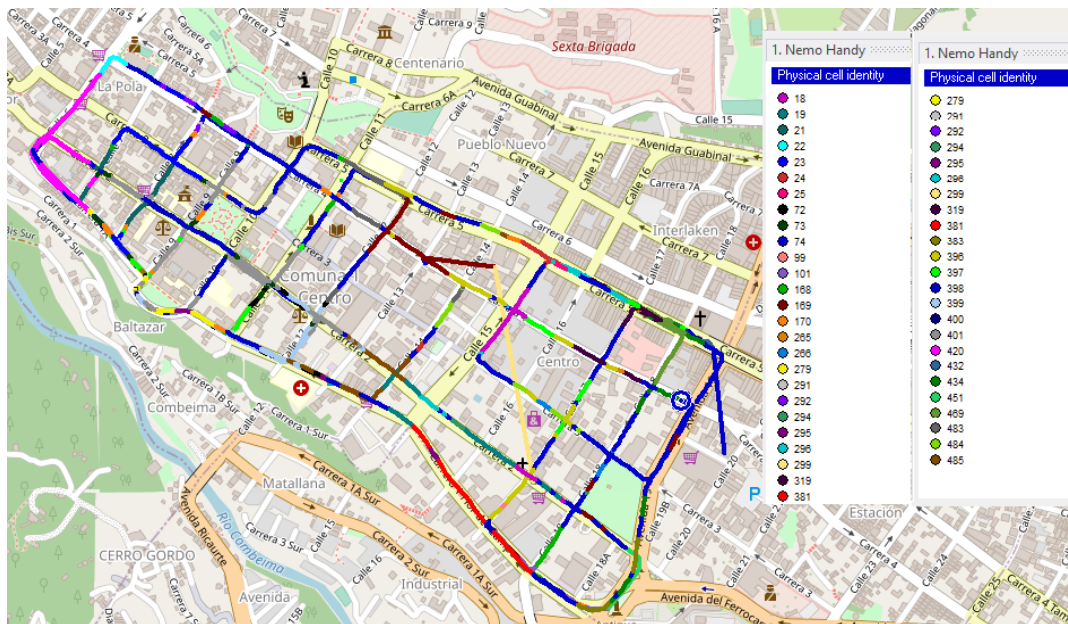


Figura 85: Visualiza el registro de múltiples celdas en la zona de cobertura, estas representan los sectores disponibles propios de la zona y vecinas (Simulación Nemo Outdoor)

RSRP



Figura 86: Representa la potencia recibida de señal de referencia en la zona de cobertura, presenta niveles en la mayoría del Drive Test >85 dB (Simulación Nemo Outdoor)

SNR

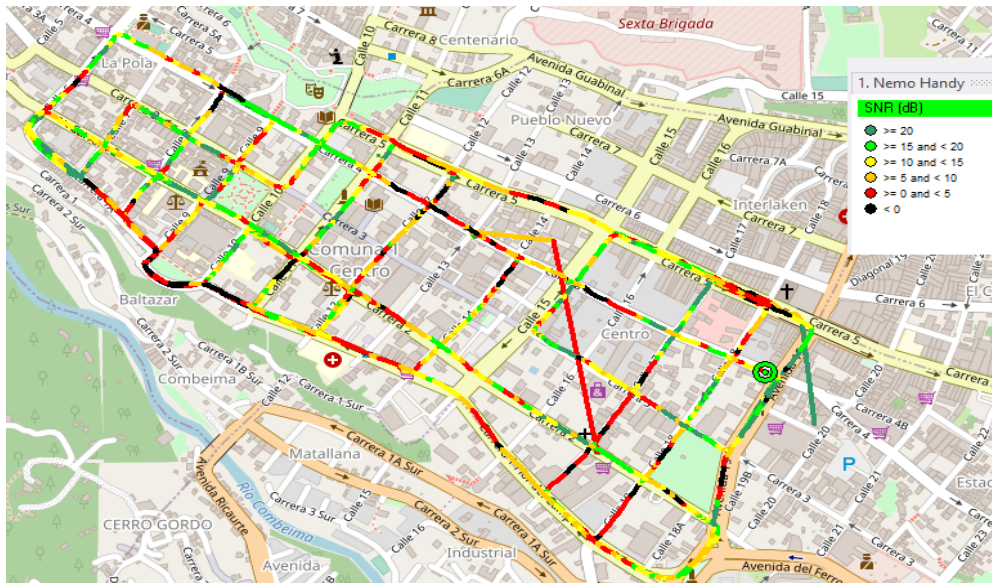


Figura 87: Visualiza la diferencia entre la señal transmitida y el nivel de ruido más la interferencia. Este parámetro es inestable por lo que evidencia zonas de mala calidad y hace que se vayan valores a cero (0) (Simulación Nemo Outdoor)

Pruebas del operador WOM en Carga:

Tecnología: LTE

Serving system

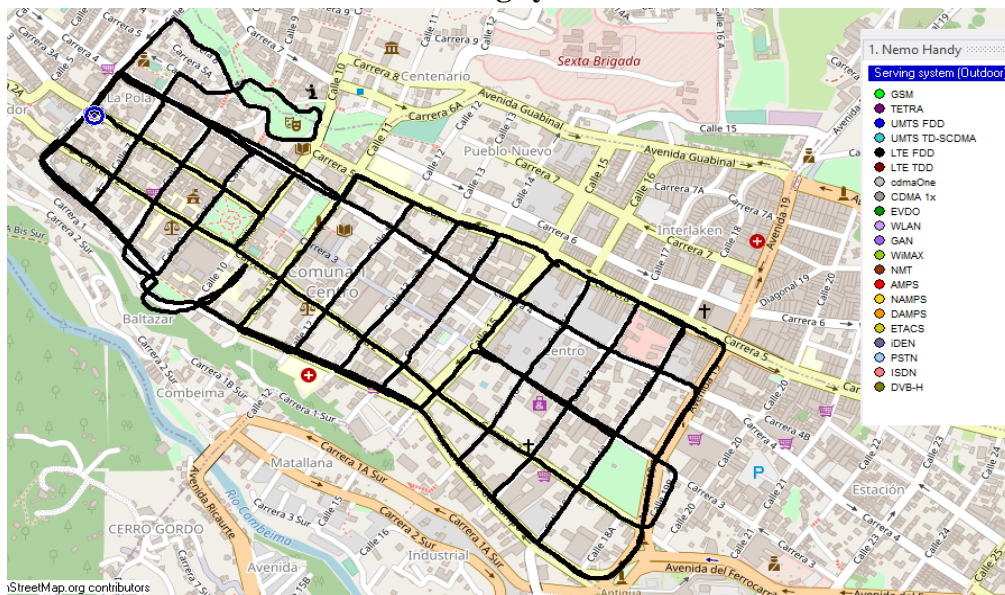


Figura 88: Serving System identificado a LTE FDD como la tecnología conectada para la prueba y tipo de duplexación FDD para las pruebas de descargas en WOM (Simulación Nemo Outdoor)

Channel number

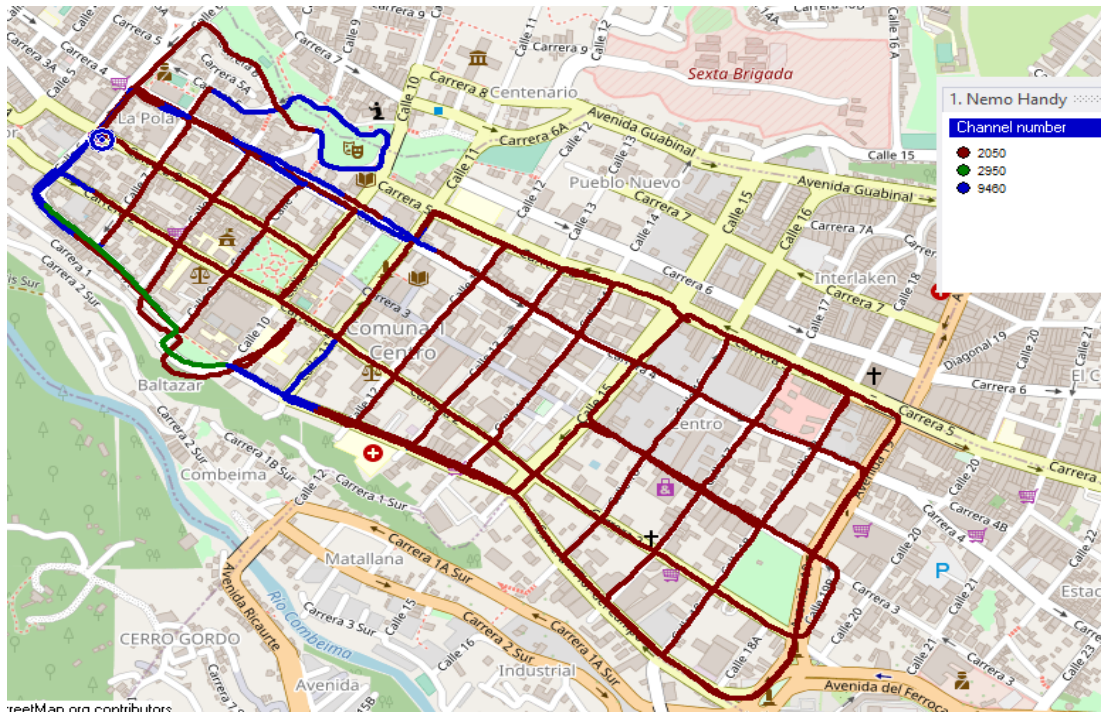


Figura 89: Se identificaron tres (3) canales durante las pruebas de descargas realizadas en el Drive Test de WOM, no se registró desconexión entre canales (Simulación Nemo Outdoor)
PCI

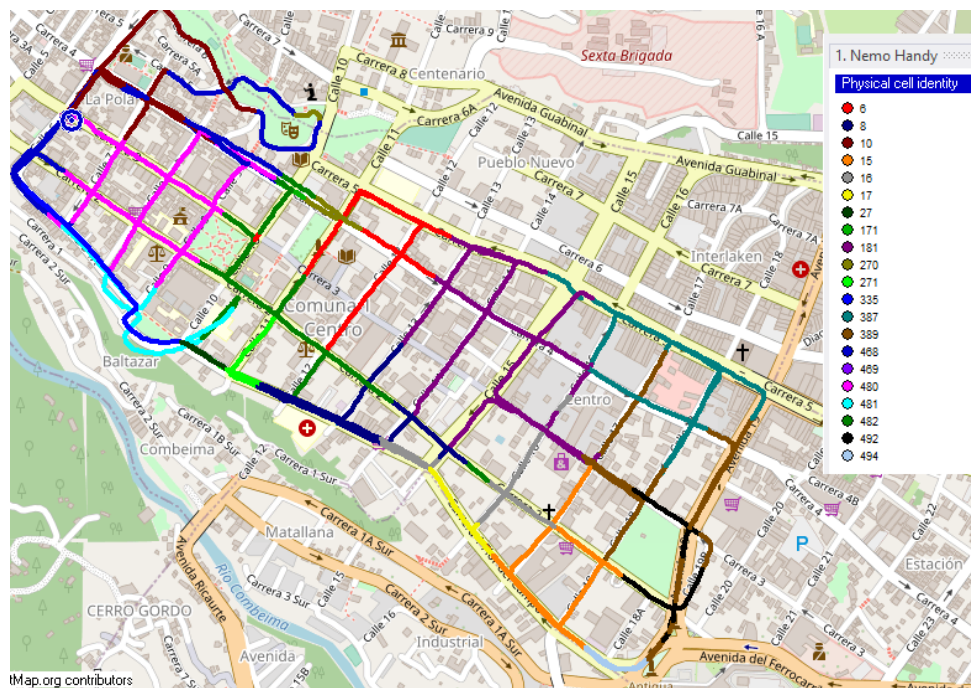


Figura 90: Visualiza el registro de múltiples celdas en la zona de cobertura, estas representan los sectores disponibles propios de la zona y vecinas (Simulación Nemo Outdoor)

RSRP

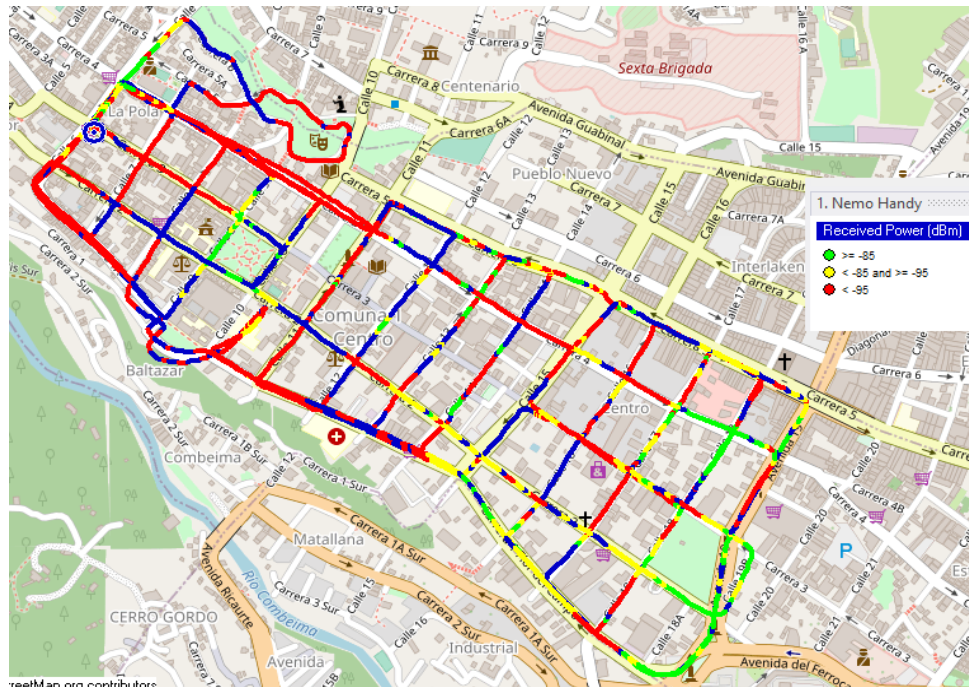


Figura 91: Representa la potencia recibida de señal de referencia en la zona de cobertura, presenta niveles en la mayoría del Drive Test < -95 dB por lo que mantiene niveles con buena recepción (Simulación Nemo Outdoor)

SNR

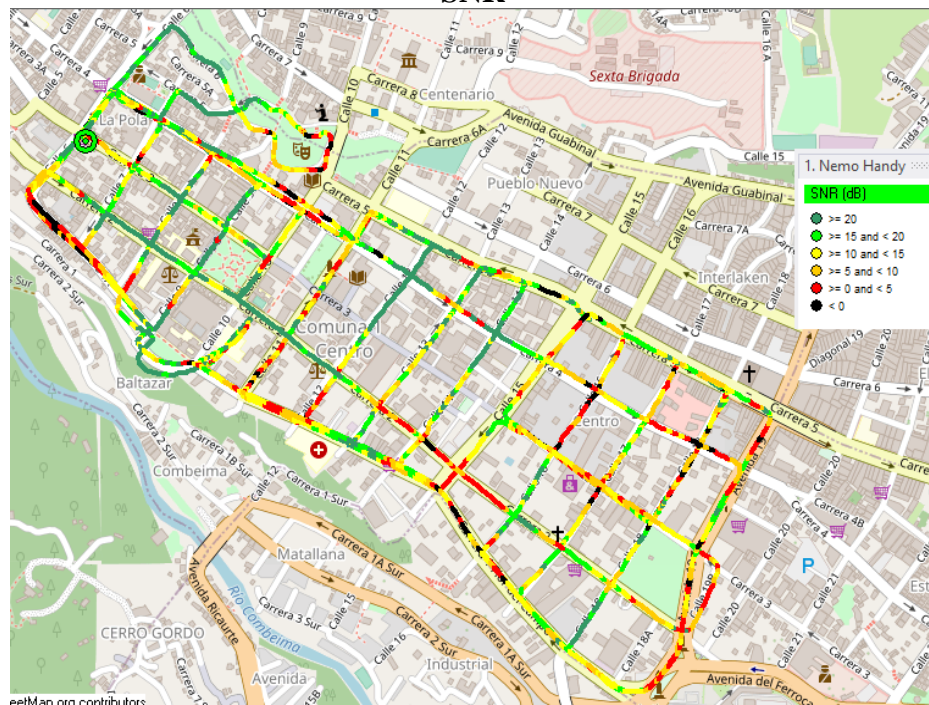


Figura 92: Diferencia entre la señal transmitida y el nivel de ruido más la interferencia. Para este parámetro en algunas franjas está por debajo de 5 dB y se mantiene al límite de ≥ 0 y < 5 por lo que no hay un buen balance entre cobertura y calidad (Simulación Nemo Outdoor)

13. Referencias Bibliográficas

- D'almeida, F., & Margot, D. (2018). La evolución de las telecomunicaciones móviles. Serie de desarrollo a través del sector privado (4). Recuperado el, 18, 2018-09.
- Inzaurrealde, M., Isi, J., & Garderes, J. (2014). Telefonía celular. Universidad de la República de Montevideo, http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-06_11-27-11104608.pdf
- Moreno, A. G. (2022). Análisis prospectivo de la tecnología 5G en Colombia: Tendencias y desafíos. PALMA Express, 33-50.
- Intven, Hank. 2000. Telecommunications Regulation Handbook. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/15249>
License: CC BY 3.0IGO.
- MinTIC, 2020. Colombia inicia transición de redes 2G y 3G hacia 4G. Archivo recuperado de https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles145550_plan_transicion_nuevas_tecnologias_20200624_a.pdf
- Quiroga Fuquen, L. F., 2015. Diseño de un modelo de compartición del espectro para el desarrollo de tecnologías 5G en Colombia.
- Bardey, D., Aristizábal, D., Gómez, J. S., & Sáenz, B. (2022). Concentration of the mobile telecommunications markets and countries' competitiveness. Telecommunications Policy, 46(1), 102230.
- Ciarrusta, I. A. S. (2022). Colombia: Colombia learns mobile.
- Mendonça, S., Damásio, B., de Freitas, L. C., Oliveira, L., Cichy, M., & Nicita, A. (2022). The rise of 5G technologies and systems: A quantitative analysis of knowledge production. Telecommunications Policy, 46(4), 102327.

- Barrera Cortes, M. C. Estado del arte de la infraestructura de la tecnología 5G enfocada a la capa física.
- Cañari Quispe, M. E. (2018). Sistema de ubicación para la mejora de la cobertura de estaciones base de transmisión móvil de tecnología 4G.
- Postigo, M., Coaguila, R., Ferrel, W., & Chilo, J. (2019). Cálculo de Cobertura de un Sistema de Telefonía Celular a lo largo de una Carretera usando Software de Simulación. *Perspectiv@s*, 14(14), 29-37.
- Vílchez, B. N. B., & García, I. (2014). Diseño de una estación base para su integración en una red celular basadas en tecnologías GSM/UMTS.
- Llanga-Vargas, A., Penafiel-Ojeda, C. R., Santillán-Haro, D., Cabedo-Fabrés, M., Antonino-Daviu, E., & Ferrando-Bataller, M. (2018). Antenas para estaciones base 5G definidas por software. XXXIII Simposium nacional de la unión científica internacional de radio.
- Cardoza Sánchez, H. J. (2022). Diseño y planificación de una red móvil 4G LTE para localidades sin telefonía móvil del distrito de Chulucanas, Morropón, Piura.
- Reyes Vásquez, V. E. (2015). Desarrollo de las tecnologías de cuarta generación en las comunicaciones móviles 4g.
- Ortega, E. M. I. (2010). La telefonía móvil de cuarta generación 4G y Long Term Evolution. *Ingenius*, (4), 3-12.
- Tapia Cando, R. E. (2020). Diseño de capacidad y cobertura en tecnología 4g lte banda de 700 mega-hertz, en el nodo del cerro maldonado para una empresa de telefonía móvil celular (Bachelor's thesis).

Díaz Zegarra, J. A. (2006). Diseño e implementación de un software para el cálculo de los niveles de radiopropagación y cobertura de estaciones base de telefonía celular.

Acevedo, F. P., & Díaz, C. A. M., 2019. EVOLUCIÓN ARQUITECTURAS DE RED GSM, UMTS Y LTE. ESUFA.

Irving, P., & Ochang, P. A. (2016). Evolutionary analysis of GSM, UMTS and LTE mobile network architectures. *World Scientific News*, 54, 27-39.

Poole, I. (2006). *Cellular communications explained: from basics to 3G*. Newnes.

Watanabe, K., & Machida, M. (2012). Outdoor lte infrastructure equipment (enodeb). *Fujitsu Sci. Tech. J*, 48(1), 27-32.

De La Bandera, I., Munoz, P., Barco, R., Toril, M., & Luna-Ramírez, S. (2011). Auto-ajuste del margen de handover en redes LTE. XXVI Simposium de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2011).

Tanaka, I., Koshimizu, T., & Nishida, K. (2009). CS fallback function for combined LTE and 3G circuit switched services. *NTT Docomo Technical Journal*, 11(3), 13-19.

M2Catalyst, LLC. (30 de abril de 2023). *Network Cell Info & Wifi*. Google Play Store.

Recuperado el 30 de abril de 2023

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wilysis.cellinfo&hl=es_419&gl=US

KEYSIGHT. (30 de abril de 2023). *Solución de medición portátil Nemo Handy*. KEYSIGHT.

Recuperado el 30 de abril de 2023

<https://www.keysight.com/us/en/product/NTH00000B/nemo-handy-handheld-measurement-solution.html?&cc=CO&lc=eng>

- Gyokov Solutions. (30 de abril de 2023). TOOLS & TOYS FOR RADIO NETWORK PLANNING & OPTIMIZATION. Gyokov Solutions. Recuperado el 30 de abril de 2023 <https://gyokovsolutions.com/manual-g-nettrack/#intro>
- Gyokov Solutions. (30 de abril de 2023). G-NETVIEW MANUAL Gyokov Solutions. Recuperado el 30 de abril de 2023 https://www.gyokovsolutions.com/manuals/gnetviewpro_manualcontent.html
- KEYSIGHT. (30 de abril de 2023). NTA00002B Nemo Outdoor 5G NR Solución de prueba de manejo. KEYSIGHT. Recuperado el 30 de abril de 2023 <https://www.keysight.com/us/en/product/NTA00002B/nemo-outdoor-5g-nr-drive-test-solution.html>
- Xirio Online. (30 de abril de 2023). BIENVENIDO A XIRIO ONLINE. Xirio Online. Recuperado el 30 de abril de 2023 <https://www.xirio-online.com/web/home/welcome.aspx>
- de las Telecomunicaciones, N. (2016). UIT-T. Recomendación UIT-T K, 52.
- Beltrán, J., Fermín, J., & Hernández, M. (2012). Comparación de los modelos de propagación electromagnética implementados en la telefonía móvil. *Multiciencias*, 12, 305-310.
- García Rueda Francisco Javier. (2016, julio 19). Modelo De Propagación Para comunicaciones Móviles 4G y 5G. Madrid España. Recuperado a partir de http://oa.upm.es/44152/1/TFG_FRANCISCO_JAVIER_GARCIA_RUEDA.pdf
- Vaca Calero, J. D. C. (2015). Simulación del modelo de propagación Cost 231 Walfisch-ikegami para el canal móvil de bandas 4G (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones).

- Hata M. (1980). "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services". IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-29, No. 3, pp. 317-325.
- COST Telecommunications. (1999). "Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems -COST 231 Final Report", Bélgica
- de Bogotá, C. D. C. (2010). Ley 1341 de 2009 Ley registro TIC. 38
- Falla, M. D. P. B. (2021). Distribución de competencias entre el MinTIC, la ANE y la SIC a la luz de la Ley 1978 de 2019. In Las TIC y la Sociedad Digital. Doce años después de la Ley (pp. 269-298). Universidad Externado de Colombia.
- Echeverry, J. C., Escobar, A., & González, T., 2016. Análisis económico de algunos aspectos del proyecto de resolución de la CRC "Por la cual se modifica la Resolución CRC 5050 de 2016 y se dictan otras disposiciones".
- MinTIC. (18 de mayo de 2011). RESOLUCIÓN 3067 DE 2011. Compilación Jurídica MINTIC. Recuperado el 18 de mayo de 2011
https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/pdf/resolucion_crc_3067_2011.pdf
- Cárdenas, F. C., Sáenz, C. R., & Bedoya, O. E. H. (2015). WRAN y LTE en la banda de 700 MHz para Colombia. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA), 2(26), 21-27.
- Claro. (3 de mayo de 2023). Voz 4G. Cobertura móvil 4G de Claro. Recuperado el 30 de abril de 2023 <https://www.claro.com.co/personas/servicios/servicios-moviles/volte/>
- Ávila Vargas, T. A., & Afanador Montañez, L. E., 2019. Mejora de la cobertura en Colombia, con la asignación de espectro en 700 MHz y 2500 MHz.

- Lopez Rubiano, E. Y., 2020. Análisis y evaluación de las características de los sistemas VoLTE orientado a la implementación en Colombia.
- Hernández, C. A. (2017). El régimen de protección de usuarios de los servicios de comunicaciones a la luz de la Resolución CRC 5111 del 24 de febrero de 2017. In El ecosistema digital y las autoridades de regulación de los sectores audiovisual y TIC (pp. 717-760). Universidad Externado de Colombia.
- CRC. (3 de mayo de 2023). ¿SABE QUÉ ES LA CRC?. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE COMUNICACIONES. Recuperado el 30 de abril de 2023 <https://www.crc.com.co/es/preguntas-frecuentes/sabe-es-crc43>
- HUAWEI. (3 de mayo de 2023). Conoce la tecnología VoLTE. CONSUMER HUAWEI. Recuperado el 30 de abril de 2023 <https://consumer.huawei.com/co/support/article-list/article-detail/es-us00823373/>
- Claro. (3 de mayo de 2023). Revoluciona tus llamadas con voz 4G. Voz 4G. Recuperado el 30 de abril de 2023 <https://www.claro.com.co/personas/servicios/servicios-moviles/volte/>
- Moya, J. M. H. (2012). Comunicaciones Móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE. Ra-Ma Editorial.
- Yeung Huaman, A. E. (2017). Implementación de una red de acceso LTE TDD para brindar internet a usuarios residenciales en Lima.
- Yonis, A. Z., Abdullah, M. F. L., & Ghanim, M. F. (2012). LTE-FDD and LTE-TDD for cellular communications. Proceeding, Progress in.

- NPERF. (3 de mayo de 2023). Mapa de cobertura 3G / 4G / 5G WOM / Avantel, Colombia. Red móvil WOM / Avantel - Red móvil Claro. Recuperado el 30 de abril de 2023 <https://www.nperf.com/es/map/CO/-/28929.WOM--Avantel/signal/>
- Rubio, J. E. H., & Rozo, W. V. (2014). AJUSTE Y COMPROBACIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL DE RADIO PROPAGACIÓN EN AMBIENTES EXTERIORES SEMI URBANOS PARA SISTEMAS INALÁMBRICOS EN LA BANDA DE FRECUENCIA 2.4 GHZ. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA), 2(24), 51-58.
- Huidobro, J. M. (2013). Antenas de telecomunicaciones. Revista digital de acta, 2.
- Cortés Sánchez, K. K., Cerón Durán, O. T., & Gutiérrez Avila, G. A. Estudio de SC-FDMA en el enlace de subida de LTE.