

Análisis para soluciones distribuidas de servicios móviles en los túneles de San Juan-Quito, por medio de equipos Small Cell bajo recomendaciones del Small Cell Forum para la empresa Huawei Technologies Co., Ltd.

María José Valladares Correa

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, Universidad Técnica del Norte

Ibarra, Ecuador

mjvalladares@utn.edu.ec

Resumen— El presente proyecto muestra la solución Small Cell 3G/LTE en los túneles de San Juan de la ciudad de Quito para la empresa Huawei Technologies CO., LTD., bajo las recomendaciones del Small Cell Forum, mediante un análisis de cobertura por medio de la herramienta de predicción GNEX U-net.

Terminos Indexados— TELEFONÍA MOVIL, NGN, SMALL CELL.

I. INTRODUCCIÓN

Huawei Technologies CO., LTD., es el proveedor líder mundial en la asistencia de soluciones globales de Tecnologías de la Información y la Comunicación, proporcionando mejoras en las soluciones para cada cliente con el fin de permitir a los operadores de todo el mundo establecer y mantener una ventaja competitiva en el mundo de las telecomunicaciones teniendo a CNT EP como su principal operador en Ecuador al que proporciona mejoras de servicio en su red de telefonía. Al aprovechar la experiencia y conocimientos en el sector de las TIC, ayuda a reducir la brecha digital proporcionando oportunidades para disfrutar de los servicios de banda ancha, sin importar su ubicación geográfica.

Las Small Cells son soluciones que no requieren de mucha infraestructura ni espacio físico. Por eso son una solución perfecta para cubrir huecos de cobertura puntuales y brindar servicio a Hotspots donde existe gran afluencia de usuarios logrando así la mejora del servicio y la optimización de la tecnología móvil.

Las Small Cells son el futuro de las telecomunicaciones puesto que es una tecnología que presenta grandes ventajas al reducir recursos y a mejorar la cobertura permitiendo optimizar el servicio de la telefonía móvil.

II. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALAMBRICAS

En el transcurso de los años las redes inalámbricas han ganado un amplio campo de uso en la actualidad, y se ve reflejado simultáneamente con el avance tecnológico que crece día a día,

presentando mejora de servicios y generando aplicaciones para éstas. Gracias a las redes inalámbricas los usuarios pueden comunicarse fácilmente, ya sea a pocos metros o a decenas de kilómetros, todo esto funciona por las altas velocidades de transmisión, proporcionando movilidad y comunicación permanente sin perder conectividad.

Con los avances existentes en la actualidad es posible incrementar el número de usuarios a la red, como también ofrecer acceso a datos y aplicaciones en tiempo real ya sea dentro de una red local o una red extensa, simplificando el costo en comparación con sistemas cableados y optimizando recursos que son accesibles al usuario.

A. REDES DE NUEVA GENERACIÓN

Con el transcurso de los años, avances tecnológicos y con la constante demanda de servicios IP, la necesidad de mantenerse conectado es casi indispensable en las casi últimas dos décadas, esto ha hecho que aparezca un nuevo concepto tecnológico: las redes NGN.

Alrededor del año dos mil cuatro, el mundo comienza a hablar de las redes NGN y cómo afectará las redes tradicionales; desde entonces, se habla igualmente de un término nuevo para la época: La convergencia de servicios de Telecomunicaciones. Dentro de esta convergencia se distinguen múltiples vertientes: convergencia de terminales, de servicios, de tecnología, de negocios e incluso de convergencia de empresas.

Las redes de próxima generación son redes basadas en paquetes, que soportan movilidad generalizada. A diferencia de las redes tradicionales, las cuales son redes dedicadas o verticales, en donde se necesita una red para cada servicio, las redes NGN en la misma red soportan voz, datos y servicios multimedia.

B. REDES SMALL CELL

Este tipo de redes se encuentran dentro de las redes NGN, las Redes Small Cell son pequeñas estaciones base que complementan eficientemente la función de las estaciones base convencionales o Nodos B. Estas proporcionan una mejor cobertura celular, ayudando a

Documento recibido en Junio del 2016. Esta investigación se realizó como proyecto previo para obtener el título profesional en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte. Av. 17 de Julio sector

El Olivo, Ibarra-Ecuador. M.J. Valladares, egresada de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación (teléfono 5932-954-425; e-mail: mjvalladares@utn.edu.ec).

garantizar la calidad de las comunicaciones en lugares como edificios inteligentes, zonas públicas, huecos de cobertura donde la tecnología convencional no llega e incluso en zonas rurales en los que la cobertura móvil no es óptima.

La capacidad de estas redes permite optimizar recursos ya que en la actualidad el volumen de datos inalámbricos está superando la de datos por cable. Estas pequeñas celdas se están convirtiendo en el perfecto aliado de los operadores de telecomunicaciones que por razones de costos y de agilidad en el despliegue, en comparación a la infraestructura existente, permiten complementar a la tecnología convencional. Por este motivo, Huawei ha desarrollado una familia de Small-Cell que suministran capacidad de red dedicada a hogares digitales, empresa y puntos de conexión inalámbrica en ciudades, de forma eficiente y efectiva.

Existen desafíos a los que se enfrentan las redes Small Cell, estos son:

- AUTO-ORGANIZACIÓN
- BACKHAULING
- HANDOVER

1) *AUTO-ORGANIZACIÓN*.- Como se menciona en (Quek, de la Roche, Guvenç, & Kountouris, 2013) algunas celdas como son picocell¹ y femtocells² serán desplegadas sin supervisión del operador. La capacidad de auto organización de las redes de células pequeñas se puede clasificar generalmente en tres procesos principales que son nombrados en (Quek, de la Roche, Guvenç, & Kountouris, 2013):

- ✓ Auto-Configuración, las células desplegadas se configuran automáticamente por el software cargado antes de entrar en el estado de funcionamiento.
- ✓ Auto-curación, las células pueden realizar automáticamente la recuperación de fallas o ejecutar mecanismos de compensación siempre que se produzcan fallos.
- ✓ Auto-optimización, donde las células supervisan constantemente el estado de la red y optimizan sus ajustes para mejorar la cobertura y reducir la interferencia.

2) *BACKHAULING*.- el diseño de la red de backhaul será un problema importante debido a la compleja topología de los diversos tipos de células que existen. Por ejemplo, el despliegue de picocélulas requerirá el acceso a la infraestructura de servicios públicos con la fuente de alimentación y backhaul de red por cable.

3) *HANDOVER*.- el traspaso (handover) y gestión de la movilidad son esenciales a fin de proporcionar un servicio uniforme sin problemas cuando los usuarios se mueven dentro o fuera de la cobertura celular. Por otra parte, los trasposos son eficientes para equilibrar la carga de tráfico.

Sin embargo, esto se produce a expensas de la sobrecarga del sistema, que es probable que sean importantes en las redes de células

¹ **Picocells**.- Picocélula es un sistema de comunicación inalámbrica que cubre un área pequeña, como una sola oficina o estación de tren, a menudo se utiliza para extender la cobertura de la red celular a zonas interiores, donde las señales no pueden penetrar fácilmente.

pequeñas, debido al gran número de estaciones base celulares y los diferentes tipos de enlaces backhaul disponibles para cada tipo de célula. Además, la probabilidad de fallo de traspaso aumenta la posibilidad de interrupción de usuario.

C. *SMALL CELL FORUM*

Small Cell Forum trabaja para acelerar la adopción de células pequeñas para cambiar la forma de las redes móviles y maximizar el potencial de los servicios móviles. No son una organización de estándares, sino se enfocan en asociarse con organizaciones que informan y determinan el desarrollo de normas. Esto significa que los miembros operadores que son parte de esta organización establecen requisitos que impulsan las actividades y los productos de los grupos técnicos con los que cuenta.

El Small Cell Forum ha llevado a la normalización de los elementos clave de la tecnología Small Cell, incluyendo Iuh, FAPI / SCAP, SON, servicios Small Cell API, TR-069 la evolución y la mejora de la interfaz X2 como lo detalla (Small Cell Forum, Urban Small Cells, 2014). Small Cell Forum en su documento (Small Cell Forum, Urban Small Cells, 2014) menciona que cuenta con más de 140 miembros, incluyendo 68 operadores que representan a más de 3 millones de suscriptores de telefonía móvil, el 46 % del total mundial, así como los proveedores de hardware y software de telecomunicaciones, proveedores de contenidos y nuevas empresas innovadoras.

La misión del Small Cell Forum es acelerar la adopción de las tecnologías de Small Cell en una serie de escenarios, como son el residencial, empresarial, rural y zonas urbanas. Las Urban Small Cells son el caso a tratar en este proyecto.

D. *Urban Small Cells*

A las Urban Small Cells según (Small Cell Forum, Urban Small Cells, 2014) se las definen como estaciones bases compactas de acceso público, desplegadas por los operadores para mejorar la capacidad y cobertura en entornos densos, como centro de la ciudad, centros de transporte y zonas subterráneas. Ellos se refieren a menudo como microceldas, picocélulas o metrocélulas.

La Small Cell Forum permite conocer la gama de contenidos que abarca todo tipo de problemas que pueden afectar a un operador que desea implementar las Urban Small Cell, permite también la identificación de los principales obstáculos que el operador puede tener al momento del despliegue comercial, permite conocer la arquitectura de red, acceso de radio, red de retorno, implementación, regulación y servicios.

E. *Arquitectura de Red (Release 4)*

El Small Cell Forum anuncia el lanzamiento del Release 4 para que los operadores puedan superar las barreras asociadas al despliegue de small cells en zonas urbanas. Este Release completa el trabajo iniciado

² **Femtocells**.- Una femtocelda es un punto de acceso inalámbrico que mejora la recepción de celular dentro de una casa o un edificio de oficinas. El dispositivo, que se asemeja a un router inalámbrico, actúa esencialmente como un repetidor.

con el anterior Release, que llevaba el nombre de “Urban Foundation” y que menciona las dificultades que los operadores podrían encontrar durante el despliegue de small cells en zonas ya congestionadas por las macro celdas.

El Release 4 se basa en las experiencias en los lanzamientos comerciales de esta infraestructura en Norteamérica y Asia, donde varios operadores ya han llevado a cabo despliegues en aeropuertos, parques de diversiones, estadios, transporte público y a nivel de la calle. En decir, el Release 4 es una guía que cubre los retos y soluciones en áreas como la arquitectura de la red, el acceso de radio (RAN), el transporte (backhaul), despliegue de small cells y la seguridad.

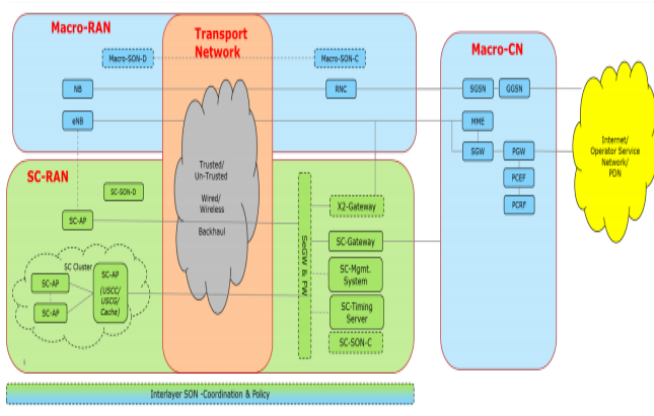


Fig. 1. Generic end-to-end urban small cell network

III. INGENIERÍA DEL PROYECTO



Fig. 2. Planificación ingeniería de proyecto

Al igual que toda nueva tecnología, 3G y LTE nacieron con la finalidad de brindar mejores servicios para los usuarios de telefonía móvil, de igual manera para mejorar estos servicios existe un plus el cual es la tecnología Small Cell., que permite complementar dichas

³ **Field Test.**- también conocido como modo de ingeniería es una evaluación de la red a través de la pantalla del teléfono. El dispositivo móvil es un receptor/transmisor que "habla" con las Estaciones de Radio Base (BTS), a

tecnologías ya que su uso genera grandes beneficios en la optimización del espectro radioeléctrico permitiendo llegar a sectores donde la tecnología e infraestructura móvil convencional no llega con facilidad.

La Small Cell Forum plantea el diseño de Redes Urban Small Cell mediante el Release_4 para zonas urbanas. En este punto se proporciona las directrices y bases técnicas, las cuales serán el cimiento principal para efectuar el diseño de la red en estudio.

A. DRIVE TEST INICIAL

Para realizar el estudio se parte del análisis de cobertura de telefonía móvil en los túneles de San Juan, es decir, se ejecuta un Drive Test Inicial con el cual se determina el problema existente en el sector como también la elección de la ruta a la que se va a brindar servicio y mejorar la cobertura.

El drive test es una prueba realizada en campo de muestreo por cada ubicación de parámetros de la red (LTE, UMTS, GSM, CDMA, etc), con la finalidad de conocer cómo se comporta la red en la área de cobertura, esta se lo realiza en la fase de pre-lanzamiento y en la fase inicial de lanzamiento de un nuevo sitio.

Esta es una prueba de calidad de la red móvil, esta prueba se la realiza mediante un software instalado en una computadora que se dedica a analizar los datos que recibe el GPS y un teléfono celular en modo de ingeniería o field test³, que se encarga de recoger los datos más notables de los canales y los eventos generados por la red; adicionalmente se utiliza un vehículo para recorrer una determinada zona.

Las pruebas de Drive Test se las realiza para optimizar la cobertura de la red móvil, pudiendo así resolver problemas reportados por clientes debido a cortes o caídas de las llamadas realizadas en una zona determinada o mejorar la calidad de señal.

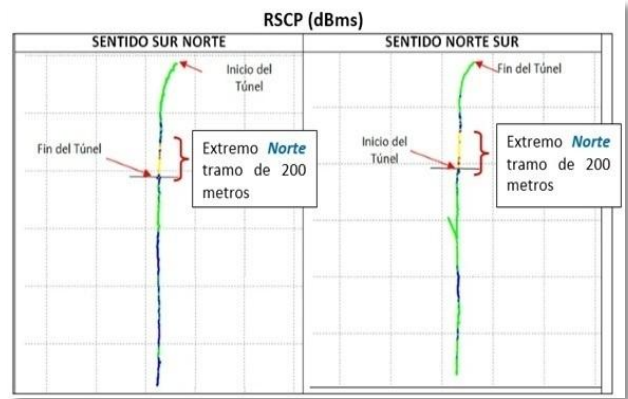


Fig. 3. Niveles de Cobertura RSCP existentes en los túneles de San Juan

La figura 3 muestra la ruta de los túneles de San Juan por donde se realizó el Drive Test, inicialmente se hizo el recorrido Norte – Sur y Sur – Norte para poder determinar en qué puntos de todo el trayecto de los túneles de San Juan es donde la cobertura móvil va degradándose; como se puede apreciar en la figura 3 la cobertura no es óptima en todo

través de mensajería. Recibe y decodifica mensajes como El nivel de señal recibida, control de canales, las células vecinas, etc.

el trayecto del túnel ya que existe 200m en el extremo Norte donde la cobertura o valores de RSCP va disminuyendo notablemente, por este motivo es necesario solucionar el problema existente, ya que lo requerido por la CNT EP es cubrir de cobertura el trayecto del túnel de 700 m aproximadamente.

TABLA I
NIVELES DE RSCP TOMADOS POR EL ESCÁNER EN EL DRIVE TEST INICIAL

| Rango RSCP (dBm) | Número de Muestras | Rango Porcentual | Color |
|---------------------|--------------------|------------------|--------------|
| $x \geq -85$ | 5824 | 47,52% | Óptimo |
| $-85 > x \geq -95$ | 2379 | 18,76% | |
| $-95 > x \geq -105$ | 3845 | 23,23% | No aceptable |
| $x < -105$ | 1923 | 10,49% | |
| Total | 13971 | 100% | |

TABLA II
NIVELES DE RSCP TOMADOS POR EL UE EN EL DRIVE TEST INICIAL

| Rango RSCP (dBm) | Número de Muestras | Rango Porcentual | Color |
|---------------------|--------------------|------------------|--------------|
| $x \geq -85$ | 4864 | 37,23% | Óptimo |
| $-85 > x \geq -95$ | 1379 | 16,86% | |
| $-95 > x \geq -105$ | 3789 | 26,45% | No aceptable |
| $x < -105$ | 2026 | 19,46% | |
| Total | 12058 | 100% | |

El número de muestras tomadas por el Escáner en el Drive Test Inicial fue de 13971 (tabla I), en donde el color verde especifica la garantía óptima de la señal con un 47,52% del rango porcentual, el color azul son mediciones que garantizan la cobertura en condiciones aceptables con un 18,76% del rango porcentual; entre estos dos parámetros se pudo obtener que el 66,28% del rango porcentual de RSCP en esta zona garantiza la cobertura lo cual indica que no cubre completamente todo el túnel como se puede ver en la figura 3. Por otro lado los valores menores a -95 dBm de RSCP muestra resultados pésimos en donde no se garantiza el servicio, como se visualiza con los colores amarillo y rojo en la tabla I, entre estos dos parámetros deficientes indica que con el 33,72% del rango porcentual de RSCP no garantiza la cobertura, por lo tanto los servicios de voz y datos en este tramo son muy deficientes. Al obtener estos valores de RSCP se puede decir que a lo largo del recorrido de los túneles de San Juan (700 m), la cobertura no es óptima, ya que existe 200 m donde la cobertura móvil tiene valores menores a -95 dbm de RSCP y es en donde hay fallas en el servicio de voz y datos brindado a los usuarios móviles por la operadora CNT EP. Al evaluar estos resultados se puede deducir que instalar una solución 3G/LTE en el extremo norte de los Túneles de San Juan permite mejorar los niveles de cobertura móvil, ya que el tramo de 200 m que presenta deficiencia en cobertura se encuentra en el extremo norte y el objetivo es cubrir de cobertura todo el tramo de los túneles de 700 m de longitud de los túneles.

Una vez conocido el problema existente en los túneles se realizó un análisis es a nivel de campo por parte de las áreas que intervienen en el despliegue de una nueva solución de telecomunicaciones como son

energía, ingeniería civil, wireless y radiofrecuencia; por lo tanto se verificaron ubicaciones, tomas de energía, ductos para paso de cables, estructura, zona a la que se quiere cubrir y equipos que se podrían utilizar según el planteamiento de cada solución, la tabla III indica la comparación entre dos soluciones planteadas.

TABLA III
TABLA COMPARATIVA DE SOLUCIONES 3G/LTE

| TEMA | SOLUCION A | SOLUCION B |
|---|---|--|
| | eRelay – SmallCells | RRUs 3G y LTE en Poste |
| Se necesita Ductos para: Paso de Energía 110VAC | Toma en interior del extremo norte del Túnel Equipos trabajan con 110VAC [Desde Interior del Túnel hasta POSTE] Distancia Total= 110metros | Toma en interior del extremo norte del Túnel Llega al rectificador del Bastidor [Desde Interior del Túnel hasta Caseta Existente] Distancia Total= 70metros |
| Reubicación del Bastidor | No es necesario | Desmontar del Extremo sur y ubicarlo sobre caseta existente en el extremo norte |
| Se necesita ductos para: Paso de Fibra de TX - Hacia la nueva posición del Bastidor | No es necesario | Cambio del ODF de TX F.O. a la nueva posición del Bastidor (Sobre Caseta Existente) |
| Equipos en Poste | 1.- RRN 2.- Small Cell 3G 3.- Small Cell LTE 4.- Antena Dual | 1.- RRU (3G) 2.- RRU (LTE) 3.- Antena Dual |
| Se necesita ductos para paso de: *Energía -48DC para RRU *Fibra O. para RRU [Desde Caseta Existente hacia Poste] | No es necesario | (Energía: -48VDC y Fibras Ópticas entre BBU a RRU, tanto para 3G como LTE) Distancia Total= 100metros |
| Se necesita Equipos en Estación de CNT SAN JUAN | Se debe Instalar: 1.- Una BBU 2.- RRU 3.- Antena Dual | No es necesario |
| Construcción de un Dado Protector de Poste. | Si se necesita | Si se necesita |
| Solución de Mimetización para Bastidor sobre caseta existente | No es necesario | Si se necesita |

Según los parámetros analizados en la tabla III se puede deducir que la mejor solución es la tecnología Small Cell, debido a que presenta muchas facilidades para su instalación. La transmisión por un medio inalámbrico facilita de gran manera el despliegue de esta tecnología permitiendo utilizar los recursos de transmisión ya existentes en las estaciones macro San Juan, esta tecnología eRelay garantiza mejora de cobertura ya que permite ampliar la capacidad de la red optimizando recursos ya existentes, facilitando de igual manera el mantenimiento por medio del gestor M2000.

Al analizar las dos posibles soluciones se puede decir que la Solución A es la más factible para el problema de cobertura existente en el sector, ya que presenta muchas facilidades tanto en instalación como en el despliegue del nuevo nodo, de tal manera se continuará con

el análisis más a fondo en los siguientes puntos citados en este proyecto.

B. PREDICCIÓN DEL SITIO SMALL CELL

Se requiere realizar una solución eRelay Small Cell outdoor en los túneles de San Juan, para esto se planifica la implementación del sistema radiante en un poste ubicado en el extremo norte del túnel ya que según el drive test inicial realizado indica que existe problemas en los primeros 200 m dirección Norte – Sur y 200 m al finalizar el túnel en dirección Sur - Norte. Se va a utilizar la acometida de energía independiente ya existente y se requiere la utilización de ductos para el paso de los cables de energía desde la toma disponible hasta el poste ubicado sobre la Av. Occidental.

Las predicciones de cobertura para el sitio en estudio, se las realiza mediante la ayuda del software GENEX U-Net, este permite simular el comportamiento de la telefonía celular de la zona a examinar, para finalmente determinarlo como punto de instalación, teniendo como parámetros importantes los siguientes:

- Bandas de Frecuencia
- Equipos a utilizar
- Altura de Antenas
- Azimuth
- Tilt de Antenas
- Modelo de Propagación
- Canal de Control Piloto (CPICH)
- Presupuesto de Enlace “LINK BUDGET”
- Planeación de Celdas

Actualmente la calidad del servicio que ofrecen los operadores de servicios de telecomunicaciones es el aspecto primordial, y la cobertura es una parte importante de la calidad del servicio de un sistema. Por ende la planificación de redes de radio permite equilibrar la cobertura, la capacidad, la calidad y el costo por lo que ninguno de ellos puede considerarse de forma aislada.

1) Asignación de las Bandas de Frecuencias para la CNT E.P

Los rangos de frecuencia se dividen en dos bandas: la frecuencia downlink (DL) que corresponde a la frecuencia más alta, utilizada para descargar datos en el dispositivo móvil; y la frecuencia uplink (UL) que es de menor valor y utilizada en el dispositivo móvil para el envío de datos a la estación base.

TABLA IV
BANDAS DE FRECUENCIAS 3G USADAS.

| Banda | Frecuencia DL (MHz) | Frecuencia UL (MHz) |
|----------|---------------------|---------------------|
| 1900 MHz | 1982.2 | 1902.2 |

TABLA V
BANDAS DE FRECUENCIA DEFINIDAS PARA CNT EP.

| Banda | Frecuencia uplink | Frecuencia downlink | Ancho de banda |
|-------|-------------------|---------------------|----------------|
| 4-AWS | 1710-1730 MHz | 2110-2130 MHz | 20+20 MHz |

“Oficialmente se ha autorizado y asignado la banda AWS-4 por sus características comerciales, teniendo finalmente la mayor capacidad de ancho de banda tanto para uplink como downlink”, como se puede ver en la tabla V. (CONATEL & ARCOTEL, 2012)

2) Azimuth

El valor del azimuth indica el punto exacto en el que se debe fijar la antena en el plano horizontal. Este ángulo se mide desde el norte geográfico en sentido de las manecillas del reloj, su valor varía entre 0 y 360°. La medición del ángulo se lo puede realizar por medio de una brújula.

Este valor se obtiene a través de una inspección técnica de campo en el sitio donde se pretende instalar los equipos. Para medir el ángulo azimuth es necesario una brújula que permitirá direccionar el lóbulo frontal de radiación hacia el objetivo planteado, es decir, los túneles de San Juan. Ejemplo, las coordenadas obtenidas del poste destinado para la instalación del sistema radiante y las coordenadas del objetivo de cobertura, son ubicadas en Google Earth; para verificar la exactitud del ángulo se traza una ruta desde el origen hacia el destino de dirección a la línea norte que corresponde a la línea trazada hacia el objetivo, el ángulo medido es de la antena del poste del sistema radiante en dirección a la boca de los túneles y es de 200° como se puede visualizar en la figura 4.

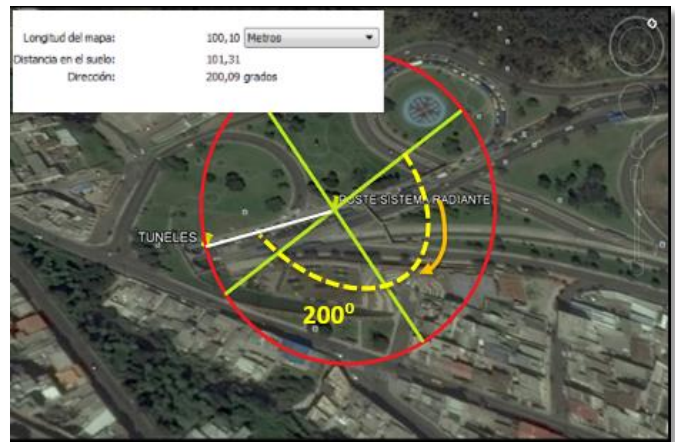


Fig. 4. Ángulo de azimuth de antena del poste del sistema radiante

3) Tilt mecánico

Como ya se había dicho antes el tilt mecánico es la inclinación que tiene la antena con respecto al plano horizontal, este parámetro es importante al momento de configurar la antena puesto que ayuda a tener una mejor dirección hacia el objetivo de cobertura. Para saber el tilt mecánico adecuado se realiza un cálculo básico como indica la ecuación 1.

$$\text{Tang}(a) = \frac{b}{d}$$

$$a = \text{ArcTang}\left(\frac{b}{d}\right)$$

$$a=c$$

Donde:

a y c: son los ángulo de inclinación de la antena o tilt mecánico
b: altura de la antena
d: distancia de cobertura

(1)

4) Tilt eléctrico

Es la inclinación no física de una antena, es decir es una variación de la fase de la señal transmitida. Este parámetro se caracteriza por concentrar la energía transmitida hacia un punto estratégico donde se desea cubrir de cobertura.

El cálculo matemático es el mismo que el tilt mecánico, pero con la diferencia que varía la distancia a la que se quiere dar prioridad de cobertura, esto dependiendo de los requerimientos del operador.

5) Modelo de propagación

El modelo de propagación juega un papel clave en el presupuesto del enlace. El modelo de propagación indica la cobertura de la señal después de atravesar por diferentes factores que contribuyen a la variación de la señal, básicamente indica como la señal de la estación base se propaga en un determinado terreno.

Los modelos de propagación se clasifican en modelos de propagación tanto de interiores como de exteriores, estos dos tipos de modelos de propagación implican diferentes factores. En un ambiente al aire libre, accidentes geográficos y obstrucciones en la trayectoria de propagación, tales como edificios y árboles, deben ser considerados.

Las señales se desvanecen a diferentes velocidades en diferentes entornos, el desvanecimiento de las señales es mayor que el espacio libre cuando las ondas de radio se propagan en áreas abiertas, áreas suburbanas y su velocidad de desvanecimiento es más grande en zonas urbanas densas. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011).

El modelo elegido en este proyecto es el modelo de propagación estándar (SPM) que permite realizar ajustes antes de la planificación de la red permitiendo obtener mejores resultados en el diseño ya que este modelo es especialmente usado dentro del rango de frecuencias entre 150MHz ~ 3500MHz, para distancias de hasta 20 km, y es muy adecuado para tecnologías como GSM900/1800, UMTS, CDMA2000, WiMAX y LTE, es decir, este modelo se acopla para el diseño de la red 3G/LTE en estudio, ya que cumple con todos los requerimientos del modelo SPM; puesto que la distancia mínima de la red es de 700 m ya que es la longitud del túnel y trabaja con frecuencias para UMTS y LTE; de esta manera se deduce que este modelo es el más adecuado para aplicarlo en la predicción.

El modelo SPM se lo calibra mediante las pruebas de Drive Test anteriormente realizadas en campo, el proceso de calibración consiste en realizar un drive test en la zona de interés recolectando información de los niveles de señal presente en los túneles de San Juan, tomando en cuenta la ruta a seguir.

6) Canal Común Piloto (CPICH)

El canal común piloto es un canal solo de control, transmitido en todas las celdas de la red. No está vinculado a ningún canal de transporte.

El CPICH se puede configurar con varios valores, su potencia oscila entre 5% y 10% del total de la potencia de transmisión del nodo B. Generalmente es el 10% y Huawei usa el 10% de potencia de la celda (CEDEÑO, Octubre, 2015), la potencia máxima de transmisión por lo general es:

- 20W - 43dBm o,
- 40W - 46dBm

Por lo tanto la potencia del canal CPICH corresponde al 10% de la potencia máxima de transmisión del nodo;

- CPICH= 33dBm - 2W
- CPICH= 36dBm - 4W

Por lo tanto la potencia máxima de transmisión del nodo eRelay Small Cell es de 45.09 dBm y la potencia del canal CPICH es 35.09dBm.

7) Presupuesto de Enlace (Link budget)

El presupuesto de enlace son los parámetros iniciales para que la nueva estación que entra a la red se acople y pueda funcionar correctamente con su entorno, es decir, link Budget es una sumatoria de todas las ganancias y las pérdidas de un sistema de transmisión, este parámetro toma en cuenta los elementos que determinarán la intensidad de señal con la que llegara al receptor.

En general el procedimiento para la planificación de cobertura, es la determinación de las pérdidas máximas de trayecto; calculado por medio del presupuesto del enlace; es decir, es una forma de calificar el rendimiento de la transmisión resumiendo la contabilidad de todas las ganancias y pérdidas ocurridas a través del medio de transmisión.

Los resultados obtenidos en la tabla VI son los valores que se toman en cuenta para predicción y diseño de la solución eRelay Small Cell. Posteriormente estos valores serán tomados directamente en el software de predicción que interpreta mediante graficas la planeación de cobertura que se tendrá para la red en análisis. El presupuesto de enlace se lo realiza para las dos tecnologías tomando en cuenta los mismos parámetros y fórmulas.

TABLA VI
RESULTADOS OBTENIDOS LINK BUDGET EN LA BANDA 1900

| LINK BUDGET | |
|---|----------------|
| Escenario | Urbano |
| Tecnología | UMTS |
| Tipo de Ambiente | OUTDOOR/URBANO |
| Ancho de banda (MHz) | 5 |
| MCS | QPSK |
| TRANSMISIÓN – NODO B | |
| Max Tx Potencia (dBm) | 45.09 dBm |
| Ganancia de la antena (dB) | 18 dBi |
| Pérdida del cable y conector (dB) | 0.5 dB |
| Pérdida del cuerpo (dB) | 3 dB |
| EIRP (dBm) | 51.09 dBm |
| RECEPCIÓN - UE | |
| Factor de ruido (dB) | 4 dB |
| Potencia de ruido térmico (dBm) | -81.86 dBm |
| Sensibilidad del receptor (dB) | -104.46 |
| Ganancia de la antena (dBi) | 0 dBi |
| Factor de carga máxima (%) | 50% |
| Margen de interferencia (dB) | 3.01 dB |
| Ruido de fondo (dBm) | -74.35 dBm |
| Requerimientos Eb/No (dB) | 4.5 dB |
| Ganancia del proceso (dB) | 31.10 dB |
| Pérdida del cable (dB) | 0.50 dBm |
| Pérdida del cuerpo (dB) | 3(dB) |
| Margen de desvanecimiento (dB) | 8 dB |
| PÉRDIDAS EN EL TRAYECTO Y RADIO DE CELDA | |
| Pérdida de penetración (dB) | 15 dB |
| Desviación estándar por sombra o desviación estándar compuesta (dB) | 8 dB |
| Probabilidad del área de cobertura | 95.00% |
| Modelo de Propagación | SPM |
| Nodo B/UE Altura de la antena (m) | 6m – 2m |
| Frecuencia (MHz) | 1900 MHz |
| Radio de la celda (Km) | 0.8 Km |

8) Resultados predicción en GNEX U-Net

Una vez obtenidos los datos que son necesarios para realizar la Predicción del sitio como son planeación de cobertura, presupuesto de enlace, parámetros de radiofrecuencia y modelo de equipos, se procede a la realización de la predicción en el Software GNEX U-Net en el cual se ingresan todos los parámetros de configuración del sitio en análisis.

La tabla VII presenta los parámetros físicos determinados para la solución eRelay Small Cell:

TABLA VII
PARÁMETROS FÍSICOS DE LA SOLUCIÓN eRELAY SMALL CELL

| Sector 1 | |
|----------------------------|------------------------------|
| Banda de operación | 1900 MHz / AWS |
| Azimuth | 200° |
| Tilt mecánico | 0° |
| Tilt eléctrico | 2° |
| Altura de la antena | 6m |
| Tipo de Antena | Agisson Panel Dual ADU451819 |

Con la predicción se debe garantizar un mínimo de cobertura, es decir, se debe tener niveles de hasta -95 dBms de RSCP para garantizar servicios dentro de la zona de cobertura a la cual estamos analizando. En la figura 5 se puede apreciar los resultados del parámetro de predicción RSCP, el cual es un indicador principal del análisis de cobertura, ya que se lo conoce como la potencia de referencia de la señal recibida.

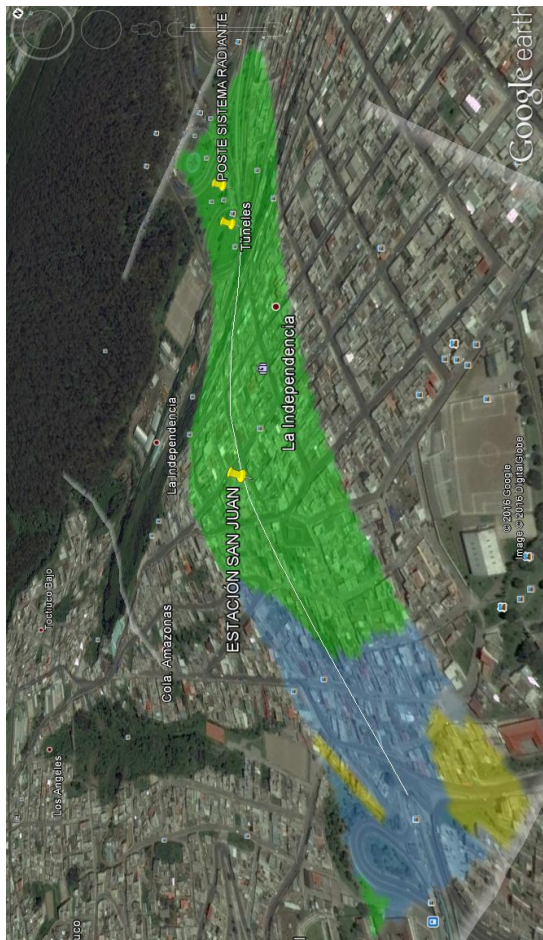


Fig. 5. Predicción final RSCP Small Cell túneles de San Juan
La figura 5 representa el comportamiento de los niveles de cobertura y lóbulos de radiación de la solución eRelay Small Cell, sin la

presencia de las zonas de cobertura de los nodos B vecinos. La interpretación del gráfico depende de la leyenda obtenida en el análisis de cobertura de RSCP realizado en el drive test inicial, mismos rangos de RSCP y colores que se analizaron en la tabla 7, indica que el color verde es la zona de cobertura más óptima en la recepción de la señal, en este caso la solución analizada está cubriendo de cobertura óptima casi en su totalidad a los túneles de San Juan; el color azul determina las señales muy aceptables en donde los servicios de voz y datos son buenos, el color amarillo determina los niveles no aceptables en la recepción de la señal, provocando la pérdida de cobertura y fallo en acceso a los servicios de voz y datos; finalmente se tiene el color rojo en el cual determina las señales degradadas, las cuales son pérdida total de la señal y como se puede visualizar en la figura 5 este tipo de señales son depreciables dentro de la zona de cobertura.

Por lo tanto la solución eRelay Small Cell para los túneles de San Juan se encuentra dentro del rango de garantía de cobertura que se necesita en el sector, mismo que solventa los bajos niveles de cobertura en los túneles evidenciado en el drive test inicial; vale la pena recalcar que esta tecnología permite optimizar el recurso de las marco celdas existentes y que en zonas limitadas y de difícil acceso llega a cumplir con los estándares más altos de cobertura como es el caso del sitio en análisis.

C. DRIVE TEST FINAL

Una vez ya instalado los equipos necesarios para el funcionamiento de la solución Small Cell para los Túneles de San Juan se procedió a realizar un Drive Test final para verificar que la cobertura en dicho sector haya mejorado y se pueda brindar servicios de telefonía móvil, cubriendo así el hueco de cobertura en este sector.

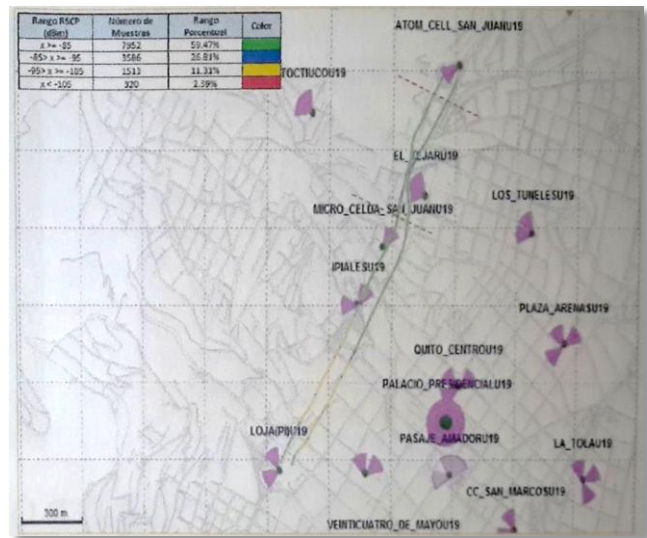


Fig. 6.1 Niveles de Cobertura RSCP existentes en los túneles de San Juan

Analizando la figura 6 se puede deducir que la cobertura ha mejorado notablemente ya que los niveles de RSCP varían favorablemente en comparación con el Drive Test Inicial realizado que presentaba valores de cobertura no tan favorables dentro de un número total de muestras de 13971 tomados por el escáner, como se puede ver en la tabla I.

Al realizar el Drive Test Final se pudo observar una gran mejora de cobertura ya que presenta valores óptimos dentro de un número de

muestras total de 13971 tomados por el escáner, teniendo un porcentaje de 94,28% de nivel de RSCP óptimo y aceptable y un 5,72% de cobertura no aceptable y pésima dentro de los túneles de San Juan como se puede ver en la tabla VIII, esto quiere decir que la solución Small Cell cumplió con el objetivo de diseño de la red eRelay Small Cell que era mejorar la cobertura en los túneles de San Juan; los 200m en el extremo norte de los túneles era el principal problema de cobertura que se pudo evidenciar en el primer drive test pero mediante la predicción después del análisis realizado se pudo ver en la figura 6 que se solventó este inconveniente y con la solución eRelay Small Cell se garantiza la cobertura en el sector.

En la tabla I y II se muestra los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el escáner y el UE, tras realizar una llamada a lo largo del túnel en el drive test inicial; si comparamos las tablas I y II con las tablas VII y IX se puede evidenciar que la cobertura mejora notablemente a lo largo del recorrido de los túneles, garantizando de esta manera los servicios de voz y datos en el sector.

TABLA VIII
NIVELES DE RSCP TOMADOS POR EL ESCÁNER EN EL DRIVE TEST INICIAL

| Rango RSCP (dBm) | Número de Muestras | Rango Porcentual | Color |
|---------------------|--------------------|------------------|--------------|
| $x \geq -85$ | 7952 | 59,47% | Óptimo |
| $-85 > x \geq -95$ | 3586 | 34,81% | Aceptable |
| $-95 > x \geq -105$ | 1513 | 4,31% | No aceptable |
| $x < -105$ | 920 | 1,41% | Pésimo |
| Total | 13971 | 100% | |

TABLA IX
NIVELES DE RSCP TOMADOS POR EL UE EN EL DRIVE TEST INICIAL

| Rango RSCP (dBm) | Número de Muestras | Rango Porcentual | Color |
|---------------------|--------------------|------------------|--------------|
| $x \geq -85$ | 5845 | 47,37% | Óptimo |
| $-85 > x \geq -95$ | 3054 | 26,76% | Aceptable |
| $-95 > x \geq -105$ | 2235 | 16,58% | No aceptable |
| $x < -105$ | 924 | 9,29% | Pésimo |
| Total | 12058 | 100% | |

IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Este capítulo se centra en las pruebas realizadas en la estación San Juan, para esto se conectó al equipo BBU 3900 mediante un cable de patch core con una Laptop configurada con la ip 172.5.2.10 para poder ingresar a la gestión de la ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19, nombre que fue designado para diferenciar por la tecnología empleada eRelay Small Cell.

A. Gestor LMT

Con el comando LST DEVIP ingresado en la gestión se visualiza las IPs configuradas que son las IP SERVICIO 10.41.225.173 e IP GESTIÓN 10.64.227.89 de la Small Cell.

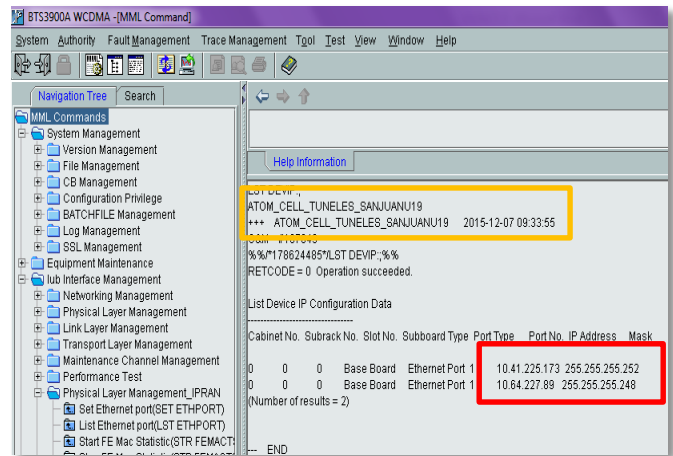


Fig. 7. Configuración de IPs

2

Para comprobar que la red Small Cell tiene comunicación permanente con la RNC y el gestor M2000 se realizó pruebas de ping tanto a la RNC con IP 10.41.123.25 como al gestor M2000 con IP 10.64.44.71.

La figura 7 muestra el Ping realizado entre la IP de servicio: 10.41.225.173 al RNC con IP: 10.41.123.25, dando como resultando un ping exitoso, es de suma importancia tener comunicación con la RNC ya que es donde se concentran todos los nodos operativos de la red CNT EP., los cuales tienen una forma de identificación mediante la IP de Servicio y la IP de Gestión.

Es primordial que la IP de Servicio sea declarada en el nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19, entonces al hacer ping entre la IP de Servicio a la RNC, se está comprobando que existe conectividad entre el nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 y la RNC, es decir, que en la ip del nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 debe estar registrada en la RNC.

Ping exitoso desde la IP de Servicio 10.41.225.173 hacia la IP de RNC 10.41.123.25.

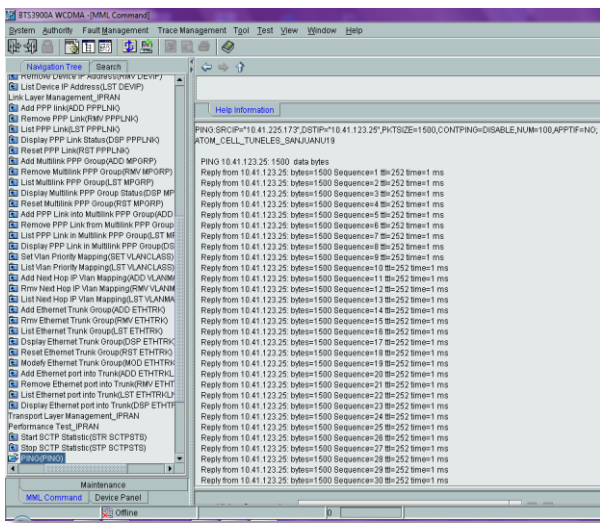


Fig. 8. Ping desde IP SERVICIO hacia RNC3

La figura 8 muestra el ping realizado entre la IP de Gestión 10.64.227.89 hacia el M2000 10.64.44.71, dando como resultado un ping exitoso que demuestra que el nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 puede ser gestionado de forma remota.

Es importante conocer que el gestor M2000 es una plataforma de gestión y control remoto, y la IP de Gestión es aquella que garantiza la administración integral y automatizada del nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19, es decir, que al realizar el ping entre la IP de Gestión con la IP del M2000, se puede comprobar que el nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 se encuentra registrado en el sistema de gestión remota del operador CNT.EP.

Ping exitoso desde la IP de Gestión 10.64.227.89 hacia la IP del gestor M2000 10.64.44.71.

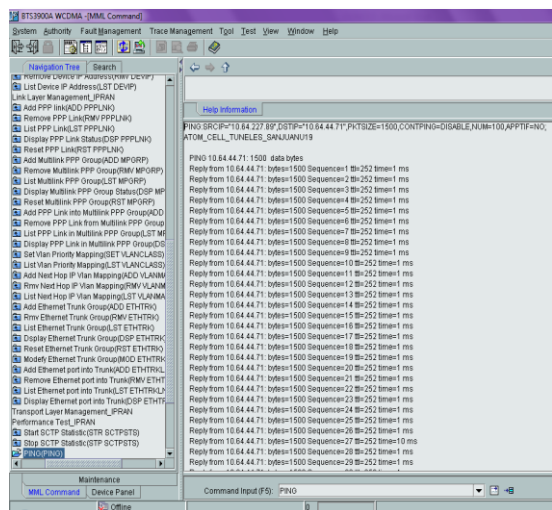


Fig. 9. Ping desde IP GESTIÓN hacia M20004

Para confirmar el registro del nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 dentro de la red, en el LMT se consulta el CellId asignado para el nodo con el comando DSP CELLCFG. En la figura 9 se puede visualizar que el CellId del nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 es el 41711 y se

encuentra trabajando con una Potencia Máxima de Transmisión de 45,09 dBm que es la potencia que se obtuvo en el pre-puesto de enlace realizado anteriormente.

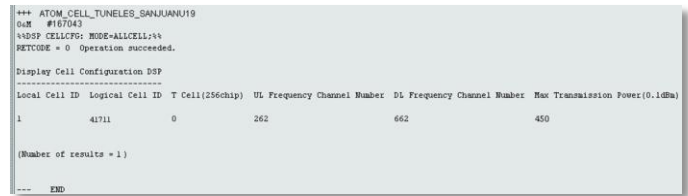


Fig. 10. Ping desde IP SERVICIO hacia RNC5

Para comprobar que la solución eRelay Small Cell garantiza el servicio de voz dentro los túneles de San Juan, se realizó una llamada larga en el tramo de los 700m, longitud total de los túneles. Verificando la conectividad a la celda del nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 mediante la aplicación móvil G-Net Track, la cual permite verificar que el UE se encuentra enganchado dentro de la zona de cobertura del nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 identificado por su cellid, tal como se visualiza en la figura 11.

La aplicación móvil G-Net Track muestra los siguientes parámetros:

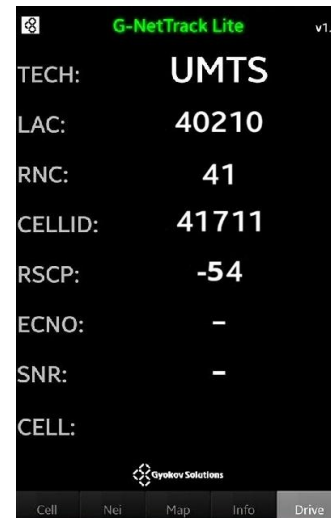


Fig. 11. Captura de Identificación del CELLID de la Small Cell6

- ✓ TECH.- Tipo de tecnología utilizada.
- ✓ LAC - código de área Local - la red se divide por áreas de ubicación, por áreas de ubicación dependiendo la geografía de la zona, también es conocido como la área donde el abonado se encuentra y es actualizado por la RNC periódicamente. El LAC es un código de 5 dígitos y por la ubicación de la solución se le asignó el 40210.
- ✓ RNC - Controlador de Red de Radio - cuando en 3G muestra la ID del RNC que controla la celda de servicio actual.
- ✓ CELLID- el identificador de la celda de servicio actual. El código para el nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 es 41711 como se pudo ver en la figura 10.
- ✓ RSCP es utilizado para conseguir la intensidad de señal, y por ende tener criterios de traspaso y control de potencia.

Es importante determinar que 40210 es el código de área actual de la zona de cobertura de los Túneles de San Juan, el cual se identifica

en la aplicación móvil al momento de realizar la prueba de llamada a lo largo de los túneles, tomando en cuenta que el CellId 41711 pertenece al nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19 de los túneles de San Juan; estos parámetros visualizados en la figura 11, permiten confirmar que la solución eRelay Small Cell cumple con los objetivos de cobertura.

Para las pruebas de datos tanto en Downlink como Uplink se utilizó el monitoreo en línea que maneja el software LMT. Los datos obtenidos se pueden visualizar en la figura 12 y 13 que muestran el tráfico o throughput existente a lo largo de los túneles.

Los parámetros medidos en el software LMT determinan que el throughput promedio en Downlink es de 800 Kbps, debido al nivel de carga de usuarios que ocupan varios recursos como video, redes sociales, entre otros, alcanzando un valor de throughput máximo de 4Mbps, tal como se visualiza en la figura 12.

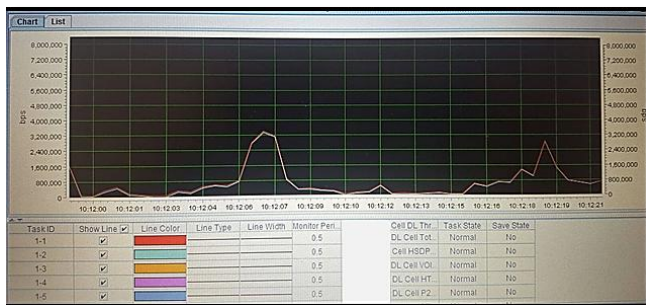


Fig. 12. Throughput en Dowlink

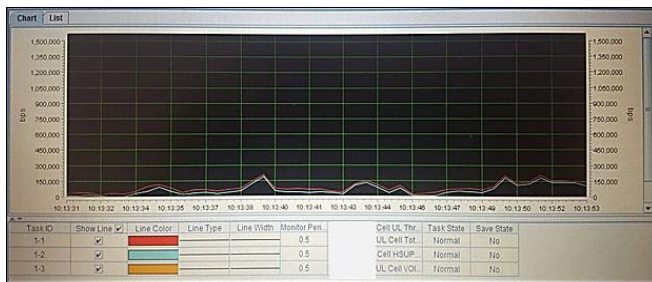


Fig. 13. Throughput en Uplink

La figura 14 indica que el valor de Downlink, es decir, de descarga de archivos, fotos, música realizados por un usuario, mediante la conexión por modem, dentro de los túneles de San Juan, alcanza valores de 100Mbps durante un tiempo estimado de 6 minutos.

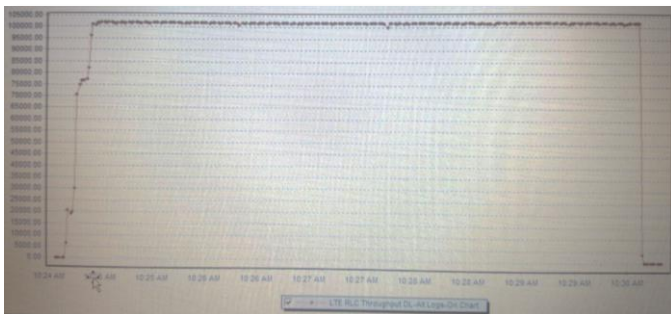


Fig. 14. Throughput en Dowlink en LTE

Por otro lado la figura 15 indica que el valor Uplink, es decir de carga de archivos, fotos, música realizados por un usuario, mediante la conexión por modem, dentro de los túneles de San Juan, alcanza valores de 45Mbps durante un tiempo estimado de 6 minutos.

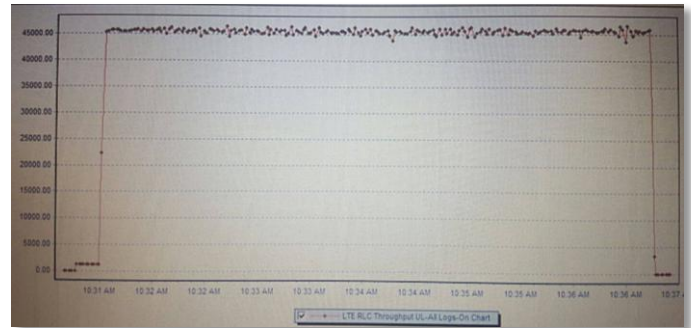


Fig. 15. Throughput en Uplink en LTE

Mediante la revisión de los parámetros configurados en el equipo BBU y el gestor M2000 se puede verificar que no existen anomalías que degraden el servicio garantizando la operatividad al 100% de los servicios de voz y datos.

A nivel de pruebas de campo la aplicación móvil G-Net Track puede verificar que los parámetros lógicos asignados a la solución Small Cell son los correctos pudiendo establecer y finalizar exitosamente llamadas y sesiones de datos en las tecnologías de 3G y LTE

A su vez al haber realizado las pruebas de voz y datos se puede llegar a la conclusión que la solución eRelay Small Cell instalada a 100 metros en el extremo norte de los túneles de San Juan, funciona correctamente dentro de la zona de cobertura que se pretendía cubrir puesto que garantiza los servicios de voz y datos dentro de parámetros óptimos de cobertura que la CNT EP ofrece a sus usuarios.

La solución eRelay Small Cell bajo las recomendaciones de la Small Cell Forum, mediante el análisis de propagación y cobertura realizado con la ayuda del software GNEX U-net cumplió con el objetivo de beneficiar a los usuarios de comunicaciones móviles del sector e impulsar el uso de las TICs.

V. CONCLUSIONES

Según el estudio realizado se pudo analizar que la tecnología Small Cell nace a partir de una gran necesidad que es satisfacer las exigencias de los usuarios, pero optimizando el recurso del espectro radioeléctrico en lugares de difícil acceso, mediante el despliegue del Release 4 hace posible que se adquieran nuevas técnicas, principios de funcionamiento y arquitectura de red, lo cual hoy se ve reflejado en las características únicas y propias de la tecnología Small Cell.

Inicialmente en los túneles de San Juan se brindaba servicios con la tecnología 3G/LTE bajo la infraestructura de la macro celda existente en el sector, pero por el gran obstáculo que presenta en el túnel que es su estructura de concreto, la señal es reducida y el servicio de voz y datos sufre defectos. Por esto el principal aspecto que se consideró al momento de diseñar la solución eRelay Small Cell, fue mejorar considerablemente la cobertura; puesto que el problema existía en los primeros 200 m en el extremo norte de los túneles. Este fue el requerimiento principal del cliente CNT EP., de tal manera se diseñó

una solución eRelay Small Cell 3G/LTE bajo las recomendaciones del Small Cell Forum que permite garantizar el servicio de voz y datos optimizando los recursos de la red macro celular.

Uno de los parámetros más importantes para el diseño de una red, es la ingeniería de proyecto, proceso mediante el cual se recopila toda la información concerniente a los nuevos requerimientos del proyecto, de tal manera que al momento de iniciar con el diseño se puede estructurar una diagrama de todos los procesos que se deben llevar a cabo durante el diseño de una red.

Al culminar con el análisis de la solución Small Cell para los túneles de San Juan – Quito, se pudo determinar que el gran impacto que genera la nueva tecnología Small Cell es a gran escala ya que llega a lugares donde es difícil colocar infraestructuras grandes por su ubicación geográfica como es el caso de los túneles, esta tecnología permite mejorar la cobertura y dar servicios de telefonía móvil a sectores donde la tecnología e infraestructura convencional no llega, permitiendo así satisfacer las exigencias de los usuarios móviles y cubriendo huecos de cobertura existentes.

La tecnología eRelay Small Cell ayuda a los operadores de telefonía móvil a optimizar los recursos de la macro celda ya que son soluciones que permiten utilizar la infraestructura ya existente, reduciendo interferencias de RF, proporcionando calidad de servicio sobre el backhaul de la Red IP manteniendo la escalabilidad de dicha red, utilizando un medio de transmisión que facilita la ubicación de la solución en estructuras pequeñas.

Al utilizar el software GNEX U-Net para la predicción del nuevo nodo se pudo observar que permite configurar los parámetros de cobertura, radiofrecuencia, modelo de propagación y pérdidas de la señal según los requerimientos de cobertura que se tengan para el sector; esta es una herramienta muy útil que permite obtener una apreciación real de la planeación de cobertura del nuevo nodo que se pretende instalar, dando la facilidad de adecuar la solución a los requerimientos de cobertura establecidos por la operadora.

Los resultados obtenidos a través del análisis de propagación y cobertura, con la ayuda del software de predicción GNEX U-Net, permitieron confirmar y asegurar que el usuario móvil experimentará la calidad de servicios de voz y datos ya que la tecnología eRelay Small Cell logró mejorar la cobertura a lo largo del trayecto de los Túneles de San Juan, obteniendo valores óptimos de RSCP con un porcentaje de 94,28% que se mejora notablemente en comparación a los valores obtenidos en el primer drive test, lo que permite afirmar que esta tecnología garantiza la cobertura para sectores de difícil acceso, optimizando recursos de la macro celda ya existente en la operadora CNT EP.

Mediante las pruebas de voz se comprobó que el nuevo nodo es reconocido dentro del entorno de la red móvil CNT ya que su cellid es identificado en la aplicación móvil utilizada G-net Track, teniendo una llamada sin cortes ni interferencias, es decir una llamada exitosa, y a su vez un servicio de datos con valores de throughput máximo de 4Mbps y promedio de 800Mbps para 3G, igualmente valores de descarga de archivos de 100 Mbps y de carga de archivos de 45Mbps para LTE, lo que quiere decir que se garantiza el servicio durante el trayecto de los túneles de San Juan.

Las Small Cell en redes de telefonía móvil logran brindar cobertura en sitios outdoor, permitiendo descargar el tráfico de las macro celdas y a su vez garantizando servicios de voz y datos donde la tecnología 3G/LTE es bastante deficiente por los obstáculos que se

presentan a lo largo de la zona urbana, es decir el servicio brindando por el operador se vuelve eficiente y de calidad puesto que optimiza recursos y disminuye costos en su implementación.

Mediante el software de gestión LMT y G-Net Track se comprobó que la tecnología Small Cell Release 4 para zonas urbanas planteada por la Small Cell Forum en tecnologías 3G/LTE, cumple con la finalidad de dar cobertura a los túneles de San Juan, confirmado mediante el drive test final realizado en la última etapa del proceso del análisis de la solución, donde indica que los valores de RSCP son de 94.68% óptimos dentro de los túneles de San Juan permitiendo tener acceso a servicios móviles tanto de voz como de datos dentro de la zona de cobertura garantizando así el servicio de telefonía móvil que brinda CNT EP. en el sector.

Finalmente se puede concluir con la frase “Las pequeñas soluciones logran mejorar grandes problemas”

REFERENCIAS

- 3GPP2. (n.d.). *Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2)*. Retrieved from http://www.3gpp2.org/Public_html/Misc/AboutHome.cfm
- ALCATEL-LUCENT. (2011). *The Alcatel-Lucent 9764 lightRadio™ Metro Cell Outdoor V1 LTE 2x1W B7*.
- Alcatel-Lucent. (n.d.). *Alcatel-Lucent 9364 Metro Cell Outdoor* (. Alvarez Paredes, D. C. (2014). *DISEÑO DE UNA RED 4G(LONG TERM EVOLUTION) EN EL CLÚSTER 2 DE LA CIUDAD DDE QUITO PARA EL OPERADOR CNT EP*. Ibarra.
- Arcotel. (2004). *Ley Especial de Telecomunicaciones reformada*. Retrieved from FIEL Magister 7.1, Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada. Artículo 2, 2004, p.9
- ARCOTEL. (2015, Febrero 13). Resolución ARCOTEL-2015-000100. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Calderón Choy, J. L. (2014). *Cálculo de la capacidad del enlace de subida en LTE-Advanced con agregación de*. Perú.
- Calderón, M., & Escandón, J. (2010). *Introducción a WCDMA para UMTS*. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/186/3/Capitulo%202.pdf>.
- Cardona, N., Olmos, J., García, M., & Monserrat, J. (2011). *3GPP LTE: Hacia la 4G móvil*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- CEDEÑO, E. F. (Octubre, 2015). DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN NODO B ADICIONAL EN UNA ZONA DE ALTO TRÁFICO DE LA CIUDAD DEL COCA PROVINCIA DE ORELLANA PARA AUMENTAR CAPACIDAD Y COBERTURA DE LA RED UMTS. Quito.
- Chimbo Rodríguez, M. C. (2012). *ANALISIS DE LA PROPUESTA DE EVOLUCION DE REDES 3G Y SU CONVERGENCIA A LA TECNOLOGIA 4G PARA REDES DE TELEFONÍA MOVIL*. Cuenca.
- CommScope. (2016). *Andrew® Quad Antenna HWXX-6516DS-VTM* .
- CONATEL, & ARCOTEL. (2012). *PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS*. Retrieved from http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf
- CPG0599090904, A. L. (2009). *LTE: The LTE Network Architecture a comprehensive tutorial*.
- Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J., & Beming, P. (2008). *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. Burlington: Elsevier Linacre House.
- Donate Prieto, F. (2012). GPRS. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11980/fichero/CAP>

%CDTULO+3+-
+FUNDAMENTOS+GSM+Y+UMTS%252F3.4+GPRS.pdf.

- Escobar Zapata, F. A., & Gonzáles Endara, C. J. (2011). *DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE DATOS PARA LAS UNIDADES FIJAS Y MÓVILES DE LA POLICIA NACIONAL EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO USANDO LA TECNOLOGIA WIMAX*. Quito.
- Forks. (Febrero 2011). *User Manual LTE*. Telecomunicaciones. Chicago.
- Gallegos Rodríguez, E. D., & Galindo Hidalgo, W. J. (2006). *Diseño y Planificación de Cobertura Celular CDMA2000 1x mediante un Sistema Repetidor(es)-BTS(s) para la Carretera Aloag-Santo Domingo*. Quito.
- Gallegos Rodríguez, G. H. (2006).
- HUAWEI TECHNOLOGIES CO., L. (2011). *Long Term Evolution (LTE), Radio Access Network Planning Guide*.
- Huawei Technologies CO., L. (2012-09-30.). *DBS3900 Product Description*.
- Huawei Technologies CO., L. (2013). *eRelay3.0_Site Solution Introduction*.
- Huawei Technologies CO., L. (n.d.). *LTE Hardware Introduction*.
- HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (2015). *eRelay Solution Description V100R003C00*.
- Lin Guangpu, D. F. (2011). *Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide*.
- Lucent, A. . (n.d.). *Alcatel-Lucent 9363 Metro Cell Indoor*.
- O. S. Roig, J. L. (2003). *Principios de Comunicaciones Móviles*. Barcelona: Politext: Primera Edición.
- Physical layer - Measurements(FDD), 3GPP TS 25.215 V3.13.0*. (1999).
- Physical layer - Measurements(FDD), 3GPP TS 25.215 V3.13.0*. (febrero 2005).
- Quek, T., de la Roche, G., Guvenç, I., & Kountouris, M. (2013). *Small Cell Networks*. New York: Cambridge.
- Ramón Agustín, F. B. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*. Fundación Vodafone España.
- reserved, A. L. (2009). *LTE: The LTE Network Architecture a comprehensive tutorial*.
- Roca Rojas, R. (2012). *Evaluación de las características y ventajas que ofrecen las femtoceldas de una red multiservicios 3G de telefonía móvil*. Sangolquí.
- Rumney, M. (2010). *LTE and the Evolution to 4G Wireless Design and Measurement Challenges*.
- Small Cell Forum. (2014, June 05). *Urban Small Cells*. Retrieved from http://scf.io/en/documents/104_-_Urban_small_cells_Release_Four_overview.php
- Small Cell Forum. (2014, June 05). *X2 Interoperability in multi-vendor X2 HetNets*. Retrieved from http://scf.io/en/documents/059_-_X2_interoperability_in_multi-vendor_X2_HetNets.php
- Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons Ltd.
- Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.
- Trong Ngo, D., & Le-Ngoc, T. (2014). *Architectures of Small-Cell Networks and Interference Management*. New York: Springer.



María José Valladares Correa
Nació en Ibarra - Imbabura el 08 de febrero de 1991. Realizó sus estudios primarios en la Escuela Rafael Suárez Meneses en el año 2002 y en el año 2008 terminó sus estudios secundarios en el Colegio Técnico Nacional “Víctor Manuel Guzmán” en la especialidad de Informática. Actualmente, egresada de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes

de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, ha asistido a cursos como Métodos de Integración, Mantenimiento de Computadoras, Programación en Java, Programación en Visual Basic.Net-C, Programación en Visual Basic 6.0, Aplicación en Microsoft Exel y Microsoft Power Point, Rf Team y Wireles Team, Certificación de trabajos en alturas.