

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

TEMA:

**“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.”**

**AUTORA: MARÍA JOSÉ VALLADARES CORREA.
DIRECTOR: MSC. EDGAR MAYA
IBARRA – ECUADOR
2016**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	100329779-1
Apellidos y Nombres	Valladares Correa María José
Dirección	Ibarra, Los Ceibos – Río Curaray 5-90
E-mail	majito_valladares@hotmail.com
Teléfono Fijo	062954425
Teléfono Móvil	0987240427

DATOS DE LA OBRA	
Título	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.
Autor	Valladares Correa María José
Fecha	11 febrero de 2016
Programa	Pregrado
Título por el que se aspira	Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	MSc. Edgar Maya.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Valladares Correa María José, con cédula de identidad Nro. 1003297791, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

3.- CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, al día 11 del mes de Febrero del 2016

.....
María José Valladares Correa

100329779-1



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **Valladares Correa María José**, con cédula de identidad Nro. 1003297791, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4. 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **“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.”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Valladares Correa María José

Cédula. 1003297791



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, María José Valladares Correa., declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normativa vigente de la Universidad Técnica del Norte.

María José Valladares Correa.
CI.:1003297791



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Certifico, que el presente trabajo de titulación **“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.”** fue desarrollado en su totalidad por la Srta. María José Valladares Correa, bajo mi supervisión.

MSc. Edgar Maya
DIRECTOR DE TESIS

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'E' and 'M' intertwined.

DEDICATORIA

Que orgullo poder estar en este punto donde me doy cuenta que el tiempo pasa y Dios hace su obra más linda que es permitirme culminar una etapa más en mi vida, por este motivo lo dedico con mucha humildad a mi amado Dios, por ser mi todo en el día a día. Muy agradecida por su incondicional amor y bondad durante todos los días de mi vida.

A mi mami, mi mejor amiga, mi heroína que ha sabido guiarme en cada decisión que he tomado en mi vida, apoyándome en cada paso que doy, aconsejándome con su gran sabiduría para poder tomar la decisión correcta. Gracias por ser la mejor madre del mundo, que con su gran amor, cuidados y rigidez me ha permitido ser la mujer que soy, creciendo como ser humano aprendiendo a valorar cada cosa que Dios no brinda.

A mi papi, mi ejemplo a seguir, mi héroe que con su entereza a cada circunstancia que se le presenta lo afronta con valentía y optimismo, enseñándome que todo lo bueno llega con sacrificio y que Dios puede dar las fuerzas para salir adelante.

A mis hermanitos: Goby y Rodry, por ser mis compañeros de vida, de travesuras y de experiencias que solo con ellos he compartido, aprendiendo de cada uno de ellos el valor de humildad y solidaridad, muy orgullosa de los hermanos que tengo. Gracias por tantos momentos de felicidad, les amo mucho.

A mis dos abuelitas: Charito y Maguita, que han sido mi inspiración de fortaleza a cada instante, gracias por estar en cada momento importante y por apoyarme en cada etapa de mi vida, les amo con todo mi corazón.

Ma. José

AGRADECIMIENTO

Con todo mi corazón lleno de felicidad y agradecimiento para mi Dios, por la fe, el amor, la paciencia, la salud, la fuerza, la capacidad, la sabiduría, los recursos económicos y humanos que han sido necesarios para salir adelante en cada etapa estudiantil. Por ser un amigo incondicional a cada momento de mi vida, gracias Dios.

Un agradecimiento muy especial a mis queridos padres: Rodrigo y Jenny, porque sin ellos nada de lo que tengo fuera realidad, gracias por su gran amor, cuidados, comprensión, paciencia, reproches, consejos que fueron y serán el pilar fundamental de mi vida, que junto con mis hermanos hemos sido siempre una hermosa familia apoyándonos en cada momento de nuestras vidas.

Al Ing. David Domínguez por todo su apoyo brindado desde hace 3 años en mis inicios en la vida profesional, permitiéndome realizar las practicas pre-profesionales en Huawei Technologies, y por abrirme las puertas al darme la oportunidad de desarrollar el presente proyecto que permite la culminación de una importante etapa de mi vida.

De corazón mi eterno agradecimiento a Ricardo José Cuchala Meneses que con su gran apoyo y amor siempre buscó la manera de ayudarme, gracias por ser mi compañero de vida y un gran hombre que ha sabido ganarse mi respeto y admiración.

A mi gran amigo Víctor López por su paciencia y entereza para guiarme durante el proceso de desarrollo de mi tesis, de corazón mil gracias.

A mi director de tesis Msc. Edgar Maya, por su asesoría y dirección durante el desarrollo del proyecto.

A todos mis amigos, pero de manera especial a Diana, Kathy, Pame, Rosita y Henry por brindarme su linda amistad sincera, por todas las locuras compartidas, por las risas y momentos de felicidad que hemos compartido hasta hoy, les quiero con todo mi corazón.

Gracias por todo lo brindado para que esta meta se haga posible. Muchas Bendiciones.

CONTENIDO

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. -----	II
CONTENIDO-----	IX
INDICE DE FIGURAS -----	XV
INDICE DE TABLAS-----	XVII
RESUMEN-----	XIX
ABSTRACT -----	XX
PRESENTACIÓN -----	XXI
CAPITULO I -----	1
1. ANTECEDENTES -----	1
1.1. NOMBRE DEL PROYECTO -----	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA -----	1
1.3. OBJETIVOS-----	3
1.3.1. Objetivo General: -----	3
1.3.2. Objetivos Específicos: -----	3
1.4. JUSTIFICACIÓN-----	4
CAPITULO II -----	5
2. CONTENIDO TEÓRICO DEL PROYECTO-----	5
2.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALAMBRICAS -----	5
2.2 DEFINICIÓN DE REDES INALÁMBRICAS-----	5
2.3 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO-----	6
2.3.1 Espectro de Radiofrecuencias -----	6
2.4 Plan Nacional de Frecuencias -----	7
2.5 REDES DE TELEFONÍA MÓVIL -----	8

2.5.1	Principios de Funcionamiento	8
2.5.2	Estructura Básica de un Sistema Celular	9
2.5.2.1	Terminal Celular Móvil	10
2.5.2.2	Estación Base Celular	10
2.5.2.3	Estación de Control y Conmutación	11
2.5.2.4	Conexiones: Radio Canales	11
2.6	GENERACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL	12
2.6.1	1G (Generación 1)	12
2.6.2	2G (Generación 2)	13
2.6.2.1	GSM	13
2.6.2.2	S-95	13
2.6.2.3	TDMA IS-136	14
2.6.2.4	PDC	14
2.6.3	3G (Generación 3)	14
2.6.3.1	UMTS	14
2.6.3.2	CDMA 2000	15
2.6.3.3	TD-SCDMA	15
2.6.4	4G (Generación 4)	15
2.7	TECNOLOGÍA 3G	15
2.7.1	Características principales de 3G	16
2.7.2	Evolución de los Estándares 3G	16
2.7.2.1	3GPP	17
2.7.2.2	3GPP2	17
2.7.3	Principios básicos de la tecnología 3G	19
2.7.3.1	UMTS	19
2.7.3.2	HSPA+	20

2.7.4	Bandas de Frecuencia -----	20
2.8	TECNOLOGÍA 4G – LTE -----	21
2.8.1	Reseña histórica hasta llegar a LTE -----	22
2.8.2	Definición LTE-----	23
2.8.3	Fundamentos del funcionamiento de LTE -----	24
2.8.3.1	Interfaces de red E-UTRAN: X2-----	25
2.8.4	REDES DE NUEVA GENERACIÓN-----	25
2.8.4.1	REDES SMALL CELL -----	26
2.8.4.1.1	Introducción a redes Small Cell -----	26
2.8.4.1.2	Técnicas y desafíos en el despliegue de las Redes Small Cell-----	26
2.8.4.1.2.1	AUTO-ORGANIZACIÓN-----	26
2.8.4.1.2.2	BACKHAULING -----	27
2.8.4.1.2.3	HANDOVER-----	27
2.8.5	SMALL CELL FORUM-----	28
2.8.5.1	Urban Small Cells-----	28
2.8.5.1.1	La Radio y la Capa Física-----	30
2.8.5.1.2	Arquitectura de Red (Release 4) -----	32
2.8.6	GNEX U-NET -----	33
2.8.6.1	Características del software: -----	34
2.8.6.2	Escenario de aplicación-----	34
2.8.6.3	Estructura del Sistema U-Net-----	35
	CAPITULO III -----	37
	INGENIERIA DEL PROYECTO -----	37
3.1.	RECOPIACION DE INFORMACIÓN-----	38
3.1.1.	Asignación De La Banda De Frecuencias Para CNT EP. -----	38
3.1.1.1.	Espectro utilizado en UMTS-----	38

3.1.1.2.	Espectro utilizado en LTE	39
3.1.2.	Potencia recibida de la señal de código (RSCP)	40
3.1.3.	Energía de Canal CPICH sobre Interferencia (EC/IO)	41
3.2.	DRIVE TEST INICIAL	41
3.2.1.	Computador Portátil	42
3.2.2.	Escáner de Frecuencias	43
3.2.3.	Modulo Receptor GPS	43
3.2.4.	Vehículo	44
3.2.5.	Teléfonos Móviles	44
3.3.	PROPUESTA Y ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN 3G/LTE	49
3.3.1.	Solución A. - eRelay Small Cell	50
3.3.2.	Solución B.- RRUs 3G y LTE en Poste	56
3.4.	PREDICCIÓN DEL SITIO SMALL CELL	60
3.4.1.	Elección de distancia entre túnel – poste y altura de antenas	61
3.4.2.	Azimuth	68
3.4.3.	Inclinación mecánica e Inclinación eléctrica de las antenas	71
3.4.3.1.	Downtilt	72
3.4.3.1.1.	Tilt mecánico	73
3.4.3.1.2.	Tilt eléctrico	75
3.4.4.	Presupuesto de Enlace (Link Budget) y Planeación de cobertura	77
3.4.4.1.	Modelo de propagación	77
3.4.4.1.1.	Modelo Cost-Hata 231	78
3.4.4.1.2.	Modelo de propagación estándar (SPM)	79
3.4.4.1.3.	Modelo Okumura-Hata	83
3.4.4.1.4.	Cálculo para encontrar la potencia de transmisión del canal CPICH para los túneles de San Juan mediante el modelo SPM.	85

3.4.4.1.5.	Canal Común Piloto (CPICH)-----	87
3.4.4.2.	Presupuesto de Enlace (Link budget)-----	88
3.4.4.2.1.	Potencia de transmisión o CPICH-----	88
3.4.4.2.2.	Ganancia de la Antena de Receptor-----	88
3.4.4.2.3.	Ganancia de la Antena de Transmisor-----	89
3.4.4.2.4.	Pérdidas de cables y conectores (LBS)-----	90
3.4.4.2.5.	Pérdidas por el cuerpo -----	90
3.4.4.2.6.	Pérdida por penetración-----	90
3.4.4.2.7.	Ganancia de Procesamiento-----	91
3.4.4.2.8.	EIRP -----	93
3.4.4.2.10.	Factor de ruido (NF) -----	94
3.4.4.2.11.	Target Eb/No -----	94
3.4.4.2.12.	Carga Máxima (Fc)-----	94
3.4.4.2.13.	Sensibilidad del Receptor -----	94
3.4.4.2.14.	Margen de desvanecimiento -----	95
3.4.4.2.15.	Desviación estándar por sombra o desviación estándar compuesta -----	95
3.4.4.2.16.	Margen de Interferencia (Mi)-----	95
3.4.4.2.17.	Ruido de Fondo (RF)-----	96
3.4.4.2.18.	Resultados Link Budget -----	97
3.4.4.3.	Planeación de Celda-----	98
3.4.4.3.1.	Planeación Cell_ID-----	98
3.4.4.3.2.	Planeación del Nombre de la Celda-----	98
3.4.4.3.3.	Planeación del nombre del nodo B-----	98
3.4.4.3.4.	Nodo B ID -----	99
3.4.5.	Selección de equipos a utilizar-----	99
3.4.6.	Predicción en GNEX U-Net-----	104

3.5. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA SOLUCIÓN OUTDOOR ERELAY SMALL CELL TÚNELES DE SAN JUAN -----	107
3.5.1. Dispositivos de red empleados en la solución eRelay Small Cell.-----	109
3.5.1.1. Equipos Escenario 1 (Solución Outdoor)-----	111
3.5.1.1.1. RRN (3301) -----	111
3.5.1.1.2. BTS 3902E (3G)-----	111
3.5.1.1.3. BTS 3202E (LTE)-----	113
3.5.1.1.4. Antena Panel Dual AGISSON ADU451819 -----	116
3.5.1.1.5. DOCK-----	118
3.5.1.2. Equipos Escenario 2 (Estación San Juan)-----	120
3.5.1.2.1. E-Relay BS -----	120
3.5.1.2.1.1. BBU3900 -----	121
3.5.1.2.1.2. RRU 3332 -----	122
3.6. Implementación de equipos en el sitio designado para la instalación -----	124
3.7. Drive Test final-----	129
CAPITULO IV -----	133
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO-----	133
4.1. Gestor LMT-----	133
CAPÍTULO V -----	142
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	142
5.1 CONCLUSIONES-----	142
5.2 RECOMENDACIONES-----	145
BIBLIOGRAFÍA-----	146
GLOSARIO-----	149

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Funcionamiento de la Telefonía Celular	9
Figura 2 Estructura Básica del Sistema de Telefonía Celular	12
Figura 3 Diagrama en el tiempo de la evolución de Redes de Datos	18
Figura 4 Evolución de Estándares de 3G.	19
Figura 5 Línea de evolución en el tiempo de los estándares 3GPP.....	23
Figura 6 Dominio de la frecuencia de las tecnologías de acceso múltiple LTE.....	24
Figura 7 Generic end-to-end urban small cell network	32
Figura 8 Arquitectura Software U-Net.	36
Figura 9 Planificación ingeniería de proyecto.....	37
Figura 10 Canalización de bandas 700 MHz y AWS 1700/2100 MHz	39
Figura 11 Computadora para Drive Test.	43
Figura 12 Escáner de frecuencias para Drive Test.	43
Figura 13 Módulo de posicionamiento global para Drive Test.....	44
Figura 14 Teléfonos de prueba de Drive Test	45
Figura 15 Ubicación del objetivo extremo norte	45
Figura 16 Ubicación geográfica de la zona de cobertura	46
Figura 17 Niveles de Cobertura RSCP existentes en los túneles de San Juan	47
Figura 18 Equipo RRN y Small Cell.....	52
Figura 19 Tomas de Energía.....	53
Figura 20 Recorrido de acometida AC	53
Figura 21 Configuración de RF en poste.....	54
Figura 22 Configuración de RF en estación SAN JUAN.....	55
Figura 23 Ubicación de DCDU y BBU en estación SAN JUAN.....	55
Figura 24 Tomas de Energía.....	56
Figura 25 Reubicación de Bastidor sobre caseta existente.....	57
Figura 26 Nueva ubicación de Bastidor	57
Figura 27 Configuración de RF	58
Figura 28 Vista a distancias menores de 100m desde los túneles	62
Figura 29 Vista a una distancia de 150m desde los túneles	63
Figura 30 Vista a una distancia de 200m desde los túneles	63
Figura 31 Vista a una distancia de 100m desde los túneles	64
Figura 32 Altura túneles de San Juan	65

Figura 33 Altura de obstáculos frente a poste	65
Figura 34 Altura de antena en estación San Juan	66
Figura 35 Línea de vista directa desde la Antena de la estación San Juan hasta la RRN ubicada en el poste del sistema radiante.	67
Figura 36 Ángulo de azimut de antena del poste del sistema radiante.....	69
Figura 37 Ángulo de azimut de RRN del poste del sistema radiante en dirección a la estación San Juan	70
Figura 38 Ángulo de azimut de antena de la estación San Juan.....	71
Figura 39 Variación de la inclinación de la antena.	72
Figura 40 Ejemplo de modificación de Tilt Mecánico y Tilt Eléctrico.....	73
Figura 41 Cálculo de Tilt mecánico en antena del poste del sistema radiante.	74
Figura 42 Cálculo de Tilt mecánico de la antena ubicada en la torre de la estación San Juan.	75
Figura 43 Cálculo de Tilt eléctrico de la antena ubicada en el poste del sistema radiante.	76
Figura 44 Cálculo de Tilt eléctrico de la antena ubicada en la torre de la estación San Juan.	77
Figura 45 Ubicación Geográfica del Punto Estático donde se realizan las pruebas de Throughput.....	91
Figura 46 Throughput UL existente en el punto estático.	92
Figura 47 Predicción final RSCP Small Cell túneles de San Juan.....	106
Figura 48 Backhaul for small-cell base stations.....	108
Figura 49 Network topology for the eRelay system.....	108
Figura 50 Especificaciones técnicas de la RRN 3301	111
Figura 51 Logical structure of BTS3902E	112
Figura 52 Estructura lógica de la BTS3202E	115
Figura 53 Antena AGISSON ADU451819	116
Figura 54 Puertos de conexión antenna Dual (Vista inferior frontal)	118
Figura 55 Lóbulo de radiación de Antena ADU451819	118
Figura 56 Apariencia física DOCK	119
Figura 57 Características DOCK.....	120
Figura 58 DBS3900 eRelay BS	121
Figura 59 Apariencia física BBU3900.	122
Figura 60 Apariencia física RRU3332.	122

Figura 61 Diagrama solución Small Cell	124
Figura 62 Diagrama de conexión de equipos eRelay Small Cell – poste.....	125
Figura 63 Diagrama de bloques de conexión de equipos eRelay Small Cell – poste ..	126
Figura 64 Instalación Antena Panel Dual Modelo ADU461819.....	127
Figura 65 Instalación de BTS 3902E 3G y BTS 3202 LTE	127
Figura 66 Vista frontal y lateral de la Antena Panel Dual Modelo ADU461819 y BTS 3902E 3G y BTS 3202 LTE.....	128
Figura 67 Instalación de los RRN3301 LTE/3G y el apuntamiento hacia la Estación San Juan (Azimut: 200°)	128
Figura 68 Vista general de solución Small Cell Instalada.....	129
Figura 69 Niveles de Cobertura RSCP existentes en los túneles de San Juan	130
Figura 70 Configuración de IPs.....	133
Figura 71 Ping desde IP SERVICIO hacia RNC.....	134
Figura 72 Ping desde IP GESTIÓN hacia M2000.....	135
Figura 73 CellID del nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19	136
Figura 74 Captura de Identificación del CELLID de la Small Cell	137
Figura 75 Captura de Identificación del CELLID de la celda vecina	138
Figura 76 Throughput en Downlink	139
Figura 77 Throughput en Uplink.....	139
Figura 78 Throughput en Downlink en LTE.....	140
Figura 79 Throughput en Uplink en LTE.....	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rango de Frecuencias del espectro de radiofrecuencias	6
Tabla 2 Bandas de frecuencia para redes GSM.....	21
Tabla 3 Principales funciones de U-Net.....	35
Tabla 4 Bandas de frecuencias 3G usadas.....	38
Tabla 5 Bandas de frecuencia definidas para CNT EP.....	40
Tabla 6 Ubicación del Sitio	46
Tabla 7 Niveles de RSCP tomados por el Escáner en el Drive Test Inicial	47
Tabla 8 Niveles de RSCP tomados por el UE en el Drive Test Inicial	48
Tabla 9 Tabla comparativa de Soluciones 3G/LTE	59
Tabla 10 Coordenadas para cálculo de azimuth	68

Tabla 11 Coordenadas para cálculo de azimuth	69
Tabla 12 Valores de factores multiplicativos SPM (Urbano).	81
Tabla 13 Constante K1 depende de la frecuencia de operación.	81
Tabla 14 Descripción de las pérdidas de clutter.	82
Tabla 15. Pérdida por penetración para un escenario urbano.	91
Tabla 16 Datos Geográficos del Punto Estático	91
Tabla 17 Valores Máximo y Promedio del UMTS Throughput.....	92
Tabla 18 Valores de desviación estándar de margen de desvanecimientos	95
Tabla 19. Resultados obtenidos Link Budget en la banda 1900.....	97
Tabla 20 Requerimientos para elección de equipos	100
Tabla 21. Comparación de Antena	102
Tabla 22 Comparación de Small Cell UMTS.....	103
Tabla 23. Comparación de Small Cell LTE	104
Tabla 24 Tabla de parámetros físicos de la solución eRelay Small Cell.....	105
Tabla 25 Tabla de Elementos en Escenario 1	110
Tabla 26 Tabla de Elementos en Escenario 2.....	110
Tabla 27 Modos y bandas de frecuencia soportadas por un BTS3902E.	113
Tabla 28 Especificaciones RF BTS3902E	113
Tabla 29 Bandas de Frecuencia.....	115
Tabla 30 Bandas de Frecuencia.....	115
Tabla 31 Propiedades eléctricas antena Agisson ADU451819.	116
Tabla 32. Propiedades mecánicas antena Agisson ADU451819.....	117
Tabla 33 Especificaciones BBU3900.....	122
Tabla 34 Niveles de RSCP tomados por el Escáner en el Drive Test Inicial.....	131
Tabla 35 Niveles de RSCP tomados por el UE en el Drive Test Inicial	131
Tabla 36 Niveles de RSCP tomados por el Escáner en el Drive Test final.....	132
Tabla 37 Niveles de RSCP tomados por el UE en el Drive Test final	132

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.

Para todo análisis es importante conocer los parámetros teóricos de la tecnología a la que se va estudiar, por lo tanto se describe los principios de funcionamiento, arquitectura de red, así como equipos utilizados en redes Small Cell y los servicios que puede ofrecer esta tecnología para mejorar la cobertura en zonas de difícil acceso.

Para analizar el problema de cobertura en los túneles de San Juan se realiza un Drive Test Inicial, este pretende definir que la solución Small Cell permite solventar la falta de conectividad en el sector, una vez obtenidos estos datos se procede a diseñar la solución mediante un análisis de propagación y cobertura en base a modelos matemáticos, como también a la obtención de parámetros físicos de equipos para su configuración e instalación.

Finalmente se comprueba el funcionamiento de la solución mediante un Drive Test Final que permite visualizar de una manera clara y grafica el resultado de cobertura de la solución en análisis. Las pruebas de funcionamiento se las realizará mediante el software Local Maintenance Terminal el cual gestiona múltiples elementos de red en una plataforma unificada, permitiendo conocer el estado de la red y comprobar de esta manera que la red brinda cobertura a los túneles de San Juan mediante pruebas de voz y datos con la ayuda de la aplicación móvil G-Net Track with the help of mobile application G-Net Track.

ABSTRACT

This titling project shows the Small Cell 3G and LTE solutions in San Juan tunnels in the Quito city for the Huawei Technologies company, under the recommendations of Small Cell Forum, through a coverage analysis through the prediction tool GNEX U-net.

For every analysis is important to know the theoretical parameters of technology, which was studied, therefore the operating principles, the network architecture, equipment on Small Cell networks and the offered services by this technology in order to improve the coverage in hard-access zones were described.

In order to analyze the coverage problem at San Juan tunnels, an Initial Drive Test was realised. It helped to define that the Small Cell solve the lack of connectivity in the area, after obtaining these data, the solution was designed through a propagation and coverage analysis based on mathematical models, and the obtaining of physical parameters of equipment for its configuration and implementation as well.

Finally, the operation of the solution was tested through a Final Drive Test, which allows a clearer and graphic visualization of the coverage results. The operating test was realized through the software Local Maintenance Terminal, which manages multiple network devices in a unified platform, allowing to know the network status. In this way, it check that the network gives the coverage at San Juan tunnels through voice and data tests.

PRESENTACIÓN

Las telecomunicaciones actualmente representan una actividad en constante evolución, que hoy en día muestran al mundo lo impresionante que es el cambio que ha generado a nivel global, permitiendo así a los usuarios obtener mejoras y cambios substanciales en artefactos electrónicos. El cambio que se ha generado a nivel de las TICs es importante para la uso e independencia de información en la actualidad, pero la tecnología celular ha sido primordial para el cambio en las telecomunicaciones ya que ha ido evolucionando debido a la gran demanda por parte de los usuarios, los cuales con el pasar del tiempo buscan un servicio de calidad que ofrezca voz, datos y mejoras en las aplicaciones que funcionan a grandes velocidades en tiempo real.

SMALL CELL aparece con el fin de subsanar las exigencias de los usuarios en cuanto a servicios y aplicaciones de alta velocidad, ya que cada vez los dispositivos móviles son diseñados con mayores capacidades y prestaciones, las mismas que son el principal atractivo para los usuarios, los cuales mediante esta nueva tecnología que genera grandes beneficios a nivel de crecimiento de red, podrán disfrutar al máximo de los servicios que presta la telefonía celular de alta generación.

El presente proyecto se centra en el análisis de la solución Small Cell 3G y LTE en los túneles de San Juan de la ciudad de Quito para la empresa Huawei Technologies, bajo las recomendaciones del Small Cell Forum, mediante el software de predicción U-Net, el cual dependiendo de las necesidades y condiciones geográficas brinda una diversa gama de opciones para el desarrollo del diseño de dicho proyecto que ayudará a solventar la falta de cobertura en dicha zona del país.

Tomando en cuenta que en los alrededores de los túneles de San Juan la tecnología bajo la que funcionan los dispositivos inteligentes es 3G y LTE, el diseño al que se centrará y se realizará el análisis será en desarrollar la tecnología Small Cell bajo la arquitectura e infraestructura existente en la zona.

CAPITULO I

1. ANTECEDENTES

1.1. NOMBRE DEL PROYECTO

“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.”

UBICACIÓN:

Ciudad: Quito
Provincia: Pichincha
País: Ecuador

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Huawei Technologies CO.,LTD. como una de las empresas líder en telecomunicaciones a nivel mundial y nacional cuenta en la actualidad con proyectos a gran escala como los son actualmente 3G y 4G LTE que favorecen enormemente a la comunicación a nivel celular, dando cobertura a teléfonos inteligentes y permitiendo mantener la demanda de altas tasas de datos móviles que son monopolizados hoy en día en la ciudad de Quito y en especial en los túneles de San Juan. Debido a la gran congestión de redes móviles, que ocasionan que las llamadas se caigan o que no se pueda enviar una foto o video, se exige medidas técnicas que respondan a las expectativas de los usuarios por esto la tecnología Small Cell es la mejor solución que presenta el Small Cell Forum siendo este el actor fundamental al especificar la interfaz lub para 3G y aspectos de interoperabilidad y convergencia en LTE para los diferentes tipos de Small Cell, presentando así grandes beneficios a la telefonía celular como tal.

La falta de cobertura y de servicio en los túneles de San Juan de la Ciudad de Quito da el punto de partida para la futura implementación de Small Cell ya que en este sitio se presenta una gran congestión de datos móviles ya sea por su ubicación geográfica

o por la gran afluencia de usuarios. Este problema ha generado dificultades en la comunicación entre usuarios en este sitio. La gran congestión de redes móviles por el elevado tráfico de datos que hoy en día exigen los dispositivos móviles, que continuamente permanecen conectados a internet, son la principal causa que demanda tomar medidas para desplegar redes de cuarta generación de alta capacidad basadas en el estándar LTE de 3GPP.

Para poder asegurar la funcionalidad de esta tecnología se debería realizar un análisis para determinar que el despliegue de las Small Cells mejorará en gran nivel la cobertura, la capacidad, acceso a datos y ancho de banda en los teléfonos móviles dentro de los túneles de San Juan de la ciudad de Quito, pretendiendo proporcionar un mejor servicio a los usuarios de teléfonos móviles que trabajen bajo los estándares 3G y LTE.

Ante el crecimiento inminente de datos inalámbricos Huawei Technologies Co.,LTD. denota la necesidad de presentar mejoras en la telefonía móvil mediante el uso de las macro celdas que operan dentro del espectro licenciado, optimizando estos recursos para la adopción de las Small Cells, permitiendo presentar soluciones a tecnologías 3G y 4G específicamente en los túneles de San Juan dentro de la zona urbana de la ciudad de Quito.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General:

- Realizar un análisis para soluciones de servicios móviles sobre la tecnología Small Cell para la empresa Huawei Technologies CO., LTD en los túneles de San Juan de la ciudad de Quito, bajo las recomendaciones del Small Cell Forum mediante el uso del Software LMT (LOCAL MAINTENANCE TERMINAL) y U-NET, con el fin de beneficiar a los usuarios de comunicaciones móviles del sector e impulsar el uso de las Tecnologías de Información y Comunicación.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Realizar un estudio teórico de la tecnología Small Cell, principios de funcionamiento, arquitectura de red, así como equipos utilizados en este tipo de red y los servicios que puede ofrecer.
- Analizar el problema de cobertura existente en los túneles de San Juan para determinar que la tecnología Small Cell permitirá solventar la falta de conectividad en este sector.
- Diseñar la solución, a través del estudio de la tecnología Small Cell, que permitirá solventar la falta de cobertura en los túneles de San Juan mediante la utilización del software U-NET.
- Realizar las pruebas del diseño a través del software LMT para comprobar que la tecnología Small Cell para las tecnologías 3G y LTE cumple con la finalidad de dar cobertura a los túneles de San Juan.

1.4. JUSTIFICACIÓN

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.

En el mundo de la telefonía móvil las soluciones para radio bases son cada vez más pequeñas, Huawei como actor fundamental al dar soluciones en las TICs, facilitará a CNT EP., el cumplimiento de sus objetivos que son brindar servicios de calidad a sus clientes y cubrir sitios a los cuales el servicio no llega por medio de la tecnología convencional; presentando como solución a este problema la implementación de Small Cells que permitirá brindar servicio a zonas donde sea difícil la implementación de estaciones outdoor, como es el caso de los túneles San Juan.

Las Small Cells son soluciones que no requieren de mucha infraestructura ni espacio. 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.

CAPITULO II

CONTENIDO TEÓRICO DEL PROYECTO

El presente capítulo presenta el estudio de los fundamentos teóricos exactos para el desarrollo del proyecto. Se describen los aspectos básicos de telefonía móvil, aspectos básicos de la tecnología Small Cell, su arquitectura de red, principios de funcionamiento, así como equipos utilizados en este tipo de red y los servicios que puede ofrecer y también las herramientas que se utilizarán en la realización de las pruebas de funcionamiento.

2.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

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.

2.2 DEFINICIÓN DE REDES INALÁMBRICAS

Las Redes Inalámbricas son aquellas que permiten la comunicación mediante interconexión entre nodos y es implementada bajo una red invisible pero a su vez de gran magnitud.

Las ondas electromagnéticas son el camino de trasmisión para estas redes que son generalmente implementadas con algún tipo de sistema de transmisión.

2.3 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

“El espectro radioeléctrico¹ es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado” (Arcotel, 2004)

El espectro radioeléctrico es un recurso indispensable para muchos servicios que se brindan en la actualidad y para la sociedad tecnológica, facilitando así las comunicaciones móviles, inalámbricas y por satélite, radiodifusión televisiva y sonora, transporte, radiolocalización y demás aplicaciones que forman parte de diario vivir, tomando en cuenta que este es un recurso natural no renovable el cual se debe utilizar de forma razonable y optimizando su uso.

2.3.1 Espectro de Radiofrecuencias

Este una parte del espectro electromagnético, el cual indica cómo está dividido el ancho de banda que se puede emplear para transmitir diversos tipo de señales. Existe una norma en la que asigna determinadas frecuencias a distintos tipos de transmisión.

Tabla 1 Rango de Frecuencias del espectro de radiofrecuencias

Símbolo	Descripción	Rango	Unidad
VLF	Muy Baja Frecuencia	3 a 30	kHz
LF	Baja Frecuencia	30 a 300	kHz
MF	Frecuencias Medias	300 a 3000	kHz
HF	Alta Frecuencia	3 a 30	MHz
VHF	Muy Alta Frecuencia	30 a 300	MHz
UHF	Ultra Alta Frecuencia	300 a 3000	MHz
SHF	Súper Alta Frecuencia	3 a 30	GHz
EHF	Extremadamente Alta Frecuencia	30 a 300	GHz
--	----	300 a 3000	GHz

Fuente: Elaborado por autor

¹ **Espectro Radioeléctrico.-** es un recurso natural, de carácter limitado, que constituye un bien de dominio público, sobre el cual el Estado ejerce su soberanía

2.4 Plan Nacional de Frecuencias

El Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador 2012 es el documento de administración y regulación de los servicios de telecomunicaciones y a su vez es el Administrador de las Telecomunicaciones del Ecuador ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones. En el documento regulatorio se puede observar varios servicios de radiocomunicaciones que se pueden implementar en cada una de las frecuencias existentes dentro del espectro radioeléctrico. Adicionalmente se puede observar los artículos que se citan en (ARCOTEL, 2015) que definen parámetros importantes en cuanto a otorgamiento de frecuencias como: Art. 3 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada establece que: "Las facultades de gestión, administración y control del espectro radioeléctrico comprenden, entre otras, las actividades de planificación y coordinación, la atribución del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el otorgamiento de autorizaciones para su utilización, la protección y defensa del espectro...."

Que el Art. 13 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada en (ARCOTEL, 2015) establece que: "Es facultad privativa del Estado el aprovechamiento pleno de los recursos naturales como el espectro de frecuencias radioeléctricas y le corresponde administrar, regular y controlar la utilización del espectro radioeléctrico en sistemas de telecomunicaciones en todo el territorio ecuatoriano, de acuerdo con los intereses nacionales."

Que de conformidad con lo que dispone el literal b) del Art. 88 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada en (ARCOTEL, 2015), "...Además de las atribuciones previstas en la ley, corresponde al CONATEL: b) Regular la prestación de los servicios de telecomunicaciones y el uso del espectro radioeléctrico..."

Que el Plan Nacional de Frecuencias, es un documento indispensable para que el Órgano Regulador de las Telecomunicaciones proceda a la adecuada y eficaz gestión del espectro. Que el Plan Nacional de Frecuencias fue aprobado mediante la Resolución 393-18-CONATEL-2000 de 28 de septiembre de 2000 y publicado en el Registro Oficial 192 del 26 de octubre del 2000.

Que desde la aprobación del Plan Nacional de Frecuencias en el año 2000, el CONATEL mediante varias Resoluciones ha creado, modificado y eliminado Notas Nacionales EQA, las mismas que deben ser actualizadas en el Plan Nacional de Frecuencias. (CONATEL & ARCOTEL, 2012)

2.5 REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

Las redes de telefonía móvil ofrecen servicios de telecomunicaciones a través de una infraestructura fija, denominada Nodo_B la cual brinda servicios de voz y datos a usuarios que se encuentran dentro de la zona de cobertura.

La telefonía móvil es también conocida como telefonía celular que se divide en dos grandes grupos: una red de comunicaciones (o red de telefonía móvil) y los terminales (o teléfonos móviles) que permiten el acceso a la red de telecomunicaciones. La movilidad entre los extremos de comunicación descarta los sistemas cableados, por lo tanto establece comunicación a través de enlaces de radio los cuales ofrecen mayores ventajas de movilidad.

Las redes inalámbricas a más de proveer movilidad al usuario, proporcionan la ventaja de ancho de banda y su despliegue es más rápido debido a que no requieren de una estructura física existente.

2.5.1 Principios de Funcionamiento

En la telefonía celular cada área geográfica se divide en celdas hexagonales formando un patrón de panal. Se eligió la forma de hexágono porque proporciona la transmisión más efectiva aproximada a un patrón circular, ya que elimina espacios presentes entre los círculos adyacentes.

Una celda se define por su tamaño físico, por el tamaño de su población y patrones de tráfico. El número de células por sistema es definido por el proveedor, de acuerdo a patrones de tráfico anticipados. Cada área geográfica del servicio móvil se distribuye en canales de radio celular. Cada transmisor/receptor con un área envolvente tiene un subconjunto fijo de canales de radio disponibles, basados en el flujo de tráfico anticipado.

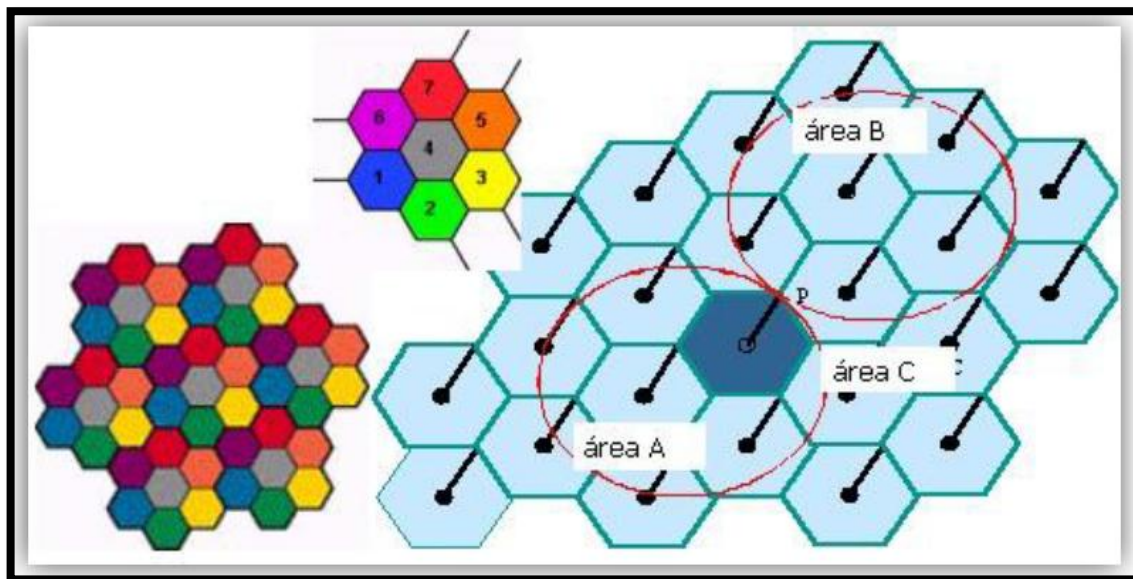


Figura 1 Funcionamiento de la Telefonía Celular

Fuente: Recuperado de Martín Inzaurrealde, Jorge Isi, Javier Garderes, Funcionamiento de la Telefonía Celular, 2007.

Debido a que los teléfonos celulares y las estaciones base utilizan transmisores de bajo poder, las mismas frecuencias pueden ser reutilizadas en celdas no adyacentes.

Cada celda utiliza un séptimo de los canales de voz disponibles. Es decir una celda más las seis celdas que la rodean en un arreglo hexagonal, cada una utilizando un séptimo de los canales disponibles para que cada celda tenga un grupo único de frecuencias y no haya colisiones entre celdas adyacentes como se puede visualizar en la figura 1.

2.5.2 Estructura Básica de un Sistema Celular

Un Sistema Celular está conformado por 4 partes importantes:

1. Terminal Celular Móvil
2. Estación Base
3. Estación de Control y Conmutación (MTSO)
4. Conexiones o Radio Canales

2.5.2.1 Terminal Celular Móvil

Un dispositivo móvil tiene capacidades de procesamiento, con conexión permanente o intermitente a una red, con memoria limitada, que ha sido diseñado para mejorar la comunicación entre usuarios.

El teléfono móvil es un dispositivo inalámbrico electrónico que se basa específicamente en la tecnología de ondas de radio, que tiene la misma funcionalidad que cualquier teléfono de línea fija. Su principal característica es su portabilidad, ya que la realización de llamadas no es dependiente de ningún terminal fijo y no requiere ningún tipo de cableado para llevar a cabo la conexión a la red telefónica. (Chimbo Rodríguez, 2012)

Este ha mejorado con el tiempo pasando de dar un simple servicio de comunicación de voz, hasta funciones adicionales como mensajería instantánea, agenda, juegos, cámara fotográfica, acceso WAP, reproducción de video e incluso GPS y reproductor mp3. (Chimbo Rodríguez, 2012) Este equipo electrónico permite a un abonado hacer o recibir llamadas realizando una actualización periódica de la señal recibida de la estación base, a la vez envía información para registrarse en la estación base. Está compuesto por: unidad de control, la fuente de alimentación, el transmisor/receptor y la antena. (Chimbo Rodríguez, 2012)

2.5.2.2 Estación Base Celular

La BTS realiza el enlace de RF a los terminales celulares, transmite información entre la celda y la estación de control y conmutación, a su vez monitorea la comunicación de los abonados. Según (Chimbo Rodríguez, 2012) se encuentra formado por:

- ✓ Unidad de control.
- ✓ Unidad de energía.
- ✓ Antenas sectoriales
- ✓ TRAU
- ✓ Terminal de datos.

2.5.2.3 Estación de Control y Conmutación

Conocido comúnmente como MTSO, la función principal es controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas así como la realización de llamadas, incluyendo señalización, supervisión, conmutación y distribución de canales de RF.

Es el elemento central del sistema Celular, sus funciones principales son:

- ✓ Coordinar y administrar todas las BTS
- ✓ Coordinar las llamadas entre la oficina de telefonía fija y los abonados, así como las llamadas entre los terminales celulares y los abonados, a través de las BTS.
- ✓ Se encarga de la facturación (billing).
- ✓ Dirige el Handoff cell site
- ✓ Tiene un software de gestión.
- ✓ Se interconecta a centrales telefónicas adyacentes para comunicarse con otras redes telefónicas. Puede ser de 2 tipos de acuerdo al área geográfica y cantidad de tráfico:
 - **Centralizado:** una única central para toda el área de concesión del operador, usa tecnología estrella.
 - **Descentralizado:** más de una central, distribuido en el área de concesión.

2.5.2.4 Conexiones: Radio Canales

El radio y los enlaces de datos de alta velocidad interconectan a los tres sistemas anteriormente detallados, además permiten conectar al MTSO con la PSTN. Cada unidad móvil solo puede usar un canal a la vez para su enlace de comunicación. Pero el canal no está fijo, puede ser cualquiera dentro de la banda completa asignada.

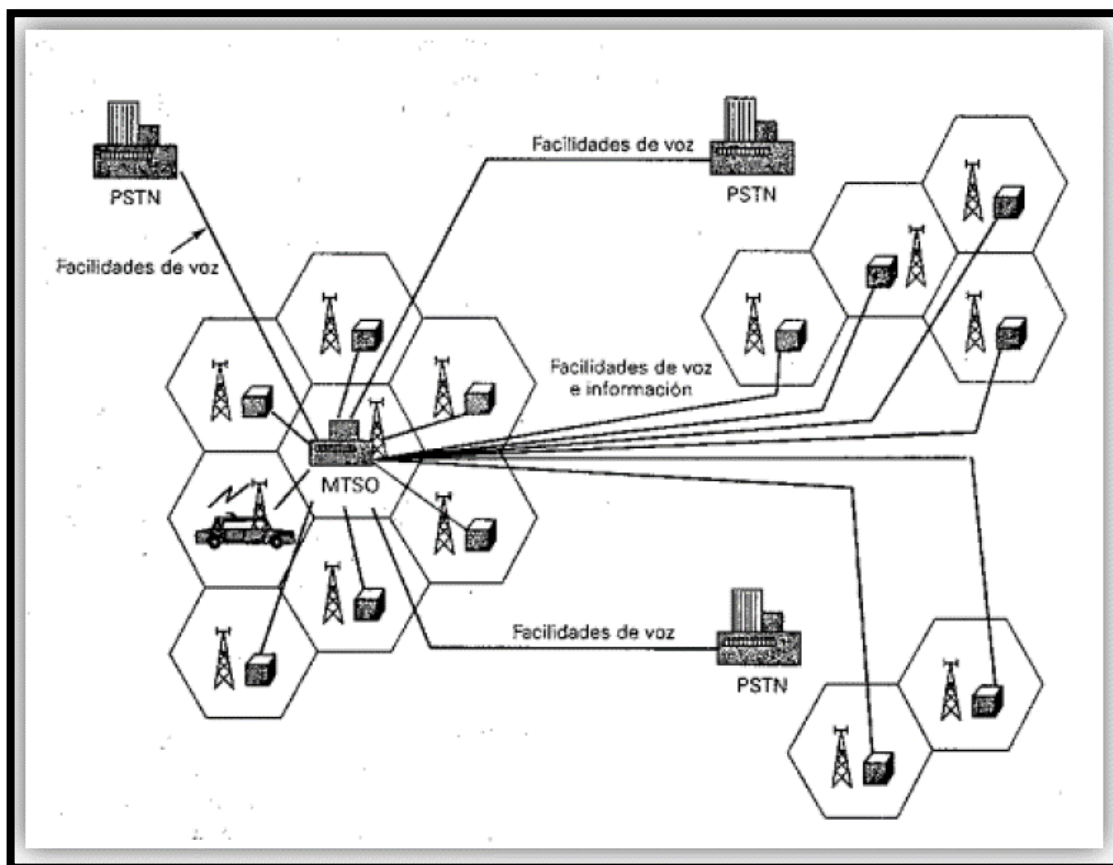


Figura 2 Estructura Básica del Sistema de Telefonía Celular
Fuente: Recuperado de Gabriel Ordoñez, Telefonía Celular, 2009

2.6 GENERACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL

Las tecnologías inalámbricas inician en el año 1979 y conforme el pasar de los años han tenido un gran auge y desarrollo, la mejor forma de demostrarlo es el gran avance en los servicios que brinda a los usuarios siendo voz, datos, audio, video, televisión móvil, entre otros. En la actualidad la tecnología móvil se ha convertido en una herramienta indispensable para la comunicación ya sea para una llamada de saludo o de negocios.

2.6.1 1G (Generación 1)

Su aparición se produjo a finales de los años 70 y a principio de los 80. Los estándares de esta primera generación se caracterizaron por ser estrictamente de voz y analógicos.

Sus características son:

- ✓ La calidad de los enlaces de voz era muy baja (velocidad baja, 2400 baudios).
- ✓ La transferencia entre celdas era muy imprecisa.
- ✓ Estaban basados en FDMA.
- ✓ Utilizaban modulación FM lo que permitía robustez frente al ruido, interferencias y desvanecimientos.

Los estándares que se desarrollaron fueron:

- ✓ AMPS: El Sistema norteamericano empezó a operar en 1983.
- ✓ NMT: Era un sistema analógico que perfeccionó algunas leyes básicas de la telefonía móvil. Creado por países nórdicos.
- ✓ E-TACS: Sistema de comunicaciones para telefonía móvil celular dúplex en la banda de los 900Hz.

2.6.2 2G (Generación 2)

Esta la segunda generación introdujeron comunicaciones digitales. Estos sistemas se centraron en la mejora de la calidad de la voz, la cobertura y capacidad. Fueron diseñados para soportar voz y datos de baja velocidad. Los sistemas más representativos de la 2G son:

2.6.2.1 GSM

Aparece a partir de 1992 y fue el primer estándar disponible que permite roaming. Se basa en la transmisión de la información a través de la conmutación por circuitos, se utiliza para la transmisión de mensajes cortos (SMS), se crea la tarjeta SIM.

2.6.2.2 S-95

Emplea la tecnología de Acceso Múltiple por división de Código de banda estrecha. Utilizado generalmente en Corea del Sur y Norte América.

2.6.2.3 TDMA IS-136

Este Sistema proviene del IS-54y ha sido el estándar digital utilizado en parte de Norte América, América Latina y parte asiática del Pacífico y la Europa de Este.

2.6.2.4 PDC

Es el principal estándar digital funcionando en Japón. La tecnología 2.5G es un paso intermedio que comunicó a las tecnologías de 2G a 3G, pero este no fue establecido como estándar por la UIT². Se desarrollan estándares como GPRS, EDGE, también se introdujo otro tipo de tecnología como CDMA 2000 1X.

2.6.3 3G (Generación 3)

Esta generación tiene como característica principal la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, es decir, ofrece aplicaciones multimedia y altos valores de transmisión de datos.

La tecnología 3G proporciona ventajas como son el de combinar el acceso móvil de alta velocidad con los servicios basados en el protocolo IP, mejorando la conexión a Internet con un mayor ancho de banda permitiendo realizar funciones que demandan gran consumo de datos como son: transacciones bancarias, compras electrónicas, consultas de información personal, entre otros.

Los sistemas de Tercera Generación se denominan a través de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT-2000) que lo define la UIT. A partir de esto se desarrollan 3 tipos de tecnologías de acuerdo a la zona geográfica, así:

2.6.3.1 UMTS

Este sistema europeo surge para la transición progresiva de las redes 2G que son las GSM hasta las redes de Tercera Generación. Utiliza CDMA (Acceso Múltiple por División de Código), proporciona una transmisión de datos de velocidades altas tanto por conmutación de paquetes (384 Kbps) como conmutación de circuitos (2Mbps).

² Comprendiendo las diferencias entre 1G, 2G, 3G y 4G. 4G Américas, 2010, <http://www.4gamericas.org/index.cfm?funseaction=page§ionid=406>

2.6.3.2 CDMA 2000

Esta tecnología comprende los estándares CDMA2000 1X, CDMA2000 1xEV-DV (1x Evolution Voice/Data), ofrece una capacidad de voz mejorada, mayor velocidad de datos (hasta 2Mbps), mayor duración de baterías.

2.6.3.3 TD-SCDMA

Esta tecnología fue desarrollada por la academia China de Tecnologías de comunicaciones.

2.6.4 4G (Generación 4)

En esta generación se trata la integración de banda ancha móvil y fija, debido a tres directrices como son: evolución hacia red de tecnología IP utilizando conmutación por paquetes, la integración de diferente tipos de accesos (fijos - móviles) y una capa de servicios común para que los usuarios finales puedan usar los servicios multimedia en la red móvil.

La UIT—R ha emitido los requerimientos para ser una tecnología 4G en la norma IMT-Advanced. Algunos puntos clave que la UIT-R ha establecido son:

- Soporta una amplia gama de servicios y aplicaciones a un costo eficiente mediante la coincidencia de la funcionalidad a nivel mundial.
- Capacidad de interconexión con otros sistemas de radio.
- Alta calidad en servicios móviles.
- Aplicaciones, servicios y equipos amigables al usuario.
- Capacidad de conexión mundial (roaming).

2.7 TECNOLOGÍA 3G

Esta tecnología al igual que sus antecesoras nació con la finalidad de brindar mejores servicios en cuanto a voz, video y datos a los usuarios de telefonía móvil; los

nuevos servicios y especificaciones para 3G contribuyeron a la creación de IMT2000³, 3GPP y 3GPP2⁴, que son organizaciones que supervisan el proceso de elaboración de estándares y especificaciones técnicas relacionados con 3G como lo menciona (Dahlman, Parkvall, Skold, & Beming, 2008).

2.7.1 Características principales de 3G

La tecnología 3G permite ofrecer telefonía de alta calidad, video llamada, sonido de alta fidelidad, servicios interactivos, acceso a internet móvil, etc. Pero su cobertura es limitada dependiendo de factores, como la ubicación geográfica, en la que se encuentre el usuario, pues es así como las velocidades de transmisión varían tal como lo dice (Dahlman, Parkvall, Skold, & Beming, 2008):

- Hasta 10 km/h (usuarios sin movilidad) = 2Mbps.
 - Sobre 100 km/h (limitada movilidad) = 384Kbps
 - A partir de 500 km/h (rápida movilidad) = 144 Kbps
- ✓ La conmutación es basada en paquetes, por tal motivo las comunicaciones son menos costosas.
 - ✓ Las redes 3G ofrecen mayor seguridad ya que permite la autenticación del UE al ser conectado a la red..
 - ✓ Compatibilidad con sistemas de segunda generación y capacidad de soporte de handovers⁵ para aumento de cobertura y balance de carga.
 - ✓ Permite integrar diferentes servicios en una sola conexión optimizando así recursos de la red.

2.7.2 Evolución de los Estándares 3G

Con el pasar del tiempo todo cambia y por supuesto que la tecnología crece a pasos agigantados permitiendo el desarrollo de las TICs a nivel mundial.

³ **Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000:** Estándar global para la tercera generación de redes de comunicaciones, formó dos grupos para la normalización de redes terrenales: 3GPP y 3GPP2.

⁴ **3rd Generation Partnership Project 2:** Encargado de la evolución hacia redes CDMA 2000.

⁵ **Handover:** Sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.

La tecnología 3G es flexible en admitir una tecnología superior como lo es 4G – LTE, esto a través del grupo de estandarización 3GPP y 3GPP2.

2.7.2.1 3GPP

El estándar 3GPP fue creado en diciembre de 1998 con el fin de desarrollar especificaciones técnicas de redes móviles de tercera generación a partir del sistema GSM⁶. Posteriormente se planteó dar mantenimiento y mejorar los sistemas GSM, tales como GPRS o EDGE.

La tecnología 3G aumenta la capacidad del sistema, lo que permite a las empresas de servicios móviles, contar con un mayor número de clientes de voz y datos, a un costo menor que la generación anterior. UMTS trabaja con WCDM como tecnología de acceso al medio. Esta tecnología se basa en una técnica radioeléctrica con un espectro ensanchado de banda ancha.

2.7.2.2 3GPP2

Es una comisión encargada de la evolución de CDMA⁷ a la tercera generación, está compuesta por varias entidades que son citadas en (3GPP2) :

- ✓ Telecommunications Industry Association (TIA) de los EE.UU.,
- ✓ ARIB/TTC del Japón, TTA de Corea
- ✓ China Wireless Telecommunication Standard Group (CWTS).

La evolución de CDMA 2000 1x tiene la denominación de CDMA2000 1xEV. La cual se implementa en dos etapas aprobadas por la UIT:

- 1xEV-DO: 1x Evolution Data Only “Evolución de datos solamente”
- 1xEV-DV: 1x Evolution Data and Voice “Evolución de datos y voz”

⁶ **GSM:** Sistema global de comunicaciones móviles. Se denomina estándar "de segunda generación" (2G) porque, las comunicaciones se producen de un modo completamente digital.

⁷ **Acceso Múltiple por División de Código o CDMA** (del inglés Code Division Multiple Access) es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio basado en la tecnología de espectro expandido.

Como se cita en (Cardona, Olmos, García, & Monserrat, 2011), ambas trabajan sobre una portadora de 1,25 MHz de carrier. La CDMA 2000 3x es parte de lo que la UIT ha denominado IMT-2000 CDMA MC (MC: multiportadora), utiliza menos de 5MHz del espectro (3 canales x 1,25 Mhz) para velocidades de más de 2 Mbps. La CDMA 2000 con una velocidad de datos más baja se considera una tecnología 2,5G.

EV-DO en redes CDMA2000 es significativamente más rápido que EDGE utilizado en redes GSM. Provee acceso a dispositivos móviles con velocidades hasta de 2.4 Mbit/s uplink y hasta 3.1 Mbit/s downlink.

En la figura 3, se detalla una ranura del tiempo en donde se encuentran las fechas de lanzamiento a cada evolución tecnológica, el método de acceso al medio utilizado y la velocidad alcanzada por cada una.

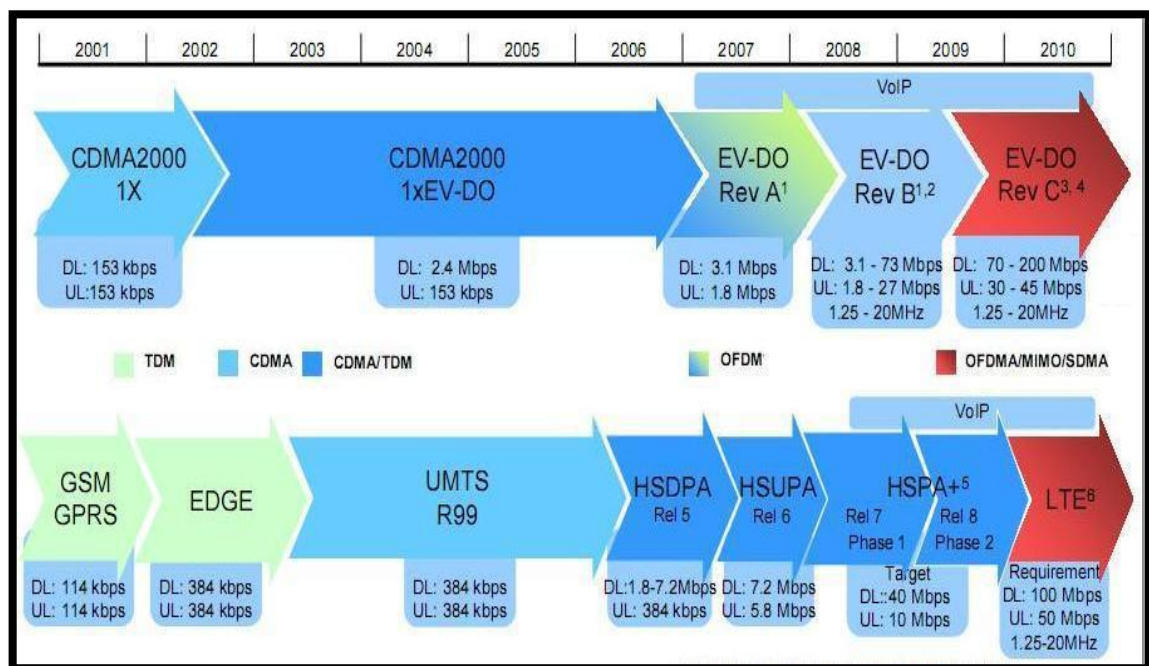


Figura 3 Diagrama en el tiempo de la evolución de Redes de Datos

Fuente: Recuperado de Telefónica Móviles España. "Evolución de las redes de datos hacia la banda ancha móvil"

Siendo múltiple la evolución de las tecnologías móviles; UMTS y CDMA2000 fueron desarrollados por separado siendo así partes distintas de la ITU aprobadas como estándares de 3G. En la Figura 4 se muestra la evolución de los que son los estándares de 3G.

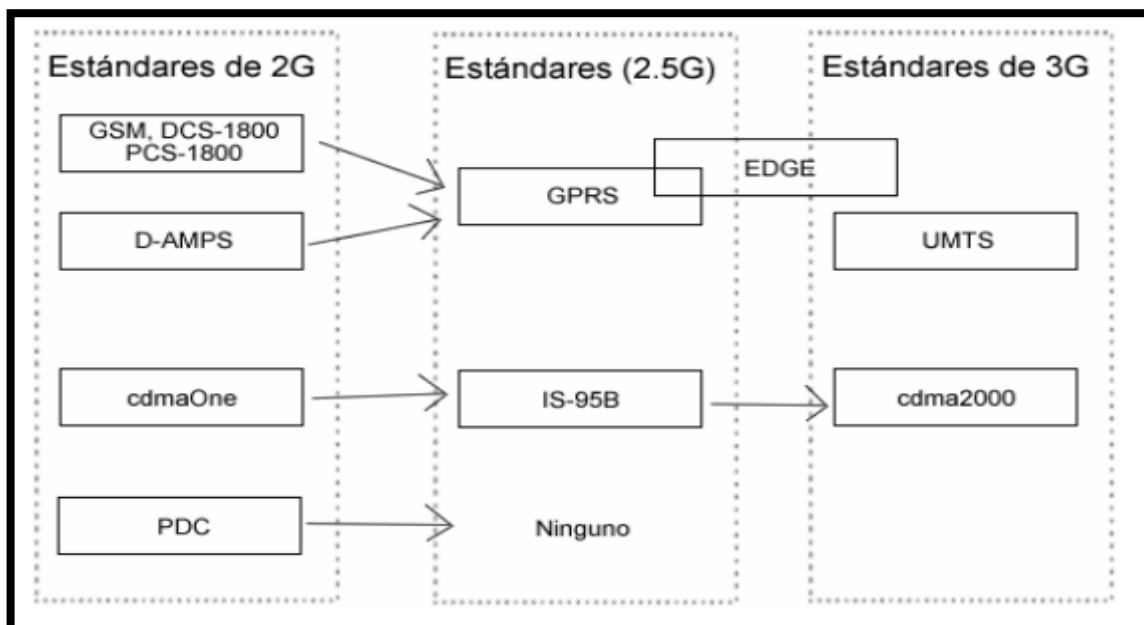


Figura 4 Evolución de Estándares de 3G.

Fuente: Recuperado de <http://app.emaze.com/@AOWQIZTO/umts>

2.7.3 Principios básicos de la tecnología 3G

La evolución progresiva de las tecnologías móviles a nivel mundial y en general en el Ecuador, han permitido que cada usuario tenga acceso a la red móvil mediante un UE para disfrutar de los beneficios que esta tecnología brinda. Es así que el IMT-2000 se planteó la creación de múltiples sistemas apoyados en diferentes tecnologías, siendo los principales estándares que destacaron como parte de las mejoras para 3G: UMTS y HSPA+.

2.7.3.1 UMTS

El sistema universal de telecomunicaciones móviles ofrece una interfaz de radio denominada UTRAN, la misma que está basada en la tecnología CDMA, lo cual le ha permitido aumentar considerablemente la velocidad de transferencia de datos de hasta 14 Mbps en sus mejores condiciones y velocidades promedio de 220 a 320 Kbps cuando el usuario se encuentra en movimiento como se menciona en (Calderón & Escandón, 2010).

El objetivo es permitir que los operadores actuales de 2G dispongan de un camino de transición progresivo y no drástico, pasando por GPRS y EDGE, mediante la

reutilización de parte de su infraestructura, y por ende permitiendo el paso continuo de la nueva tecnología 4G LTE.

2.7.3.2 HSPA+

La tecnología HSPA+ es una evolución de HSPA, este se encuentra estandarizado por 3GPP en el Release 7. Actualmente en Ecuador la mayor parte de cobertura celular es en base a ésta tecnología, ya que HSPA+ es una mejora de la tecnología 3G para la transmisión de datos, superior a los anteriores estándares.

Algunas de las características clave de HSPA+ son las siguientes:

- ✓ HSPA + es una simple actualización de las redes HSPA, con mejores prestaciones que UMTS.
- ✓ Reduce la latencia inferior a 50 milisegundos (ms).
- ✓ Aumenta significativamente la capacidad de HSPA.
- ✓ La primera fase de HSPA+ con 64 QAM⁸ en su despliegue comercial ha proporcionado tasas de rendimiento en enlace descendente con un máximo de 21 Mbps, y 5,76 Mbps uplink.
- ✓ HSPA+ es compatible con los servicios de voz y datos en la misma portadora y en todo el espectro radioeléctrico disponible y ofrece estos servicios de manera simultánea a los usuarios.

2.7.4 Bandas de Frecuencia

El rango de espectro establecido en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (CAMR-92) para los sistemas 3G se celebró en Málaga España en marzo de 1992, determinando las siguientes bandas de frecuencia GSM:

⁸ **64QAM:** La modulación 64QAM involucra la variación simultánea de la amplitud y fase de la portadora, cada 6 bits de entrada, proporciona 64 estados de modulación únicos.

Tabla 2 Bandas de frecuencia para redes GSM.

Banda	Frecuencia	
	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
1900	1850.0–1910.0	1930.0–1990.0
1800	1710.2–1784.8	1805.2–1879.8
900	870.4–876.0	915.4–921.0
900	876.0–914.8	921.0–959.8
900	880.0–914.8	925.0–959.8
850	824.0–849.0	869.0–894.0

Fuente: Frecuencias Redes GSM. Modificado de http://wiki.bandancha.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil.

La banda de frecuencia para el Ecuador y la mayoría de países de América del Sur es GSM- 1900 MHz, este rango de frecuencia indica la cantidad de MHz con la que los teléfonos móviles envían y reciben datos entre sí a través de una estación base. Los rangos de frecuencia se dividen en dos bandas:

- La frecuencia downlink que corresponde a la frecuencia más alta, utilizada para descargar datos en el dispositivo móviles; y
- La frecuencia uplink que es de menor valor y utilizada por el móvil para el envío de datos a la estación base.

2.8 TECNOLOGÍA 4G – LTE

Actualmente el uso de dispositivos inteligentes o smarthpones es más común en la sociedad, así también como es inevitable encontrarse en pancartas, letreros, anuncios, publicidad, entre otros, acerca de la telefonía móvil que existente a nivel mundial. Así pues, LTE está llamado a revolucionar el mundo de las telecomunicaciones, debido a las diversas características que lo hacen tan atractivo, entre las principales LTE promete a los consumidores un nuevo nivel de acceso de banda ancha móvil al tiempo que logre garantizar que los operadores de red alcancen una mayor eficiencia operativa y reduzcan los costes del servicio, ofreciendo altas velocidades de transmisión de datos con una menor latencia de paquetes en comparación con las tecnologías móviles anteriores.

2.8.1 Reseña histórica hasta llegar a LTE

Actualmente LTE se ubica como la tecnología en despliegue y evolución para 3GPP. Según (Toskala, 2009) , la evolución por la que pasaron las tecnologías móviles a través de varias versiones o Release para llegar a LTE son las que se muestran a continuación y están son la que facilitan el entendimiento del progreso de cada tecnología móvil con el paso de los años.

- ✓ **Release 99:** se publicó en diciembre de 1999 y contenía los aspectos básicos de WCDMA. A partir del año 2001 el 3GPP dejó de nombrar los releases por el año de publicación e inició una nueva nomenclatura.
- ✓ **Release 4:** su realización se la terminó en 2001 y contenía la versión de TDD y TD-SCDMA para baja capacidad.
- ✓ **Release 5:** culminó en marzo de 2002 y estaba enfocado a HSDPA.
- ✓ **Release 6:** se publicó en diciembre de 2004 y hacía referencia a HSUPA.
- ✓ **Release 7:** finalizó en junio de 2007 y presentaba ciertas mejoras tanto en HSDPA como en HSUPA.
- ✓ **Release 8:** contiene mejoras en HSDPA/HSUPA, denominándolo HSPA y también contiene las primeras especificaciones de LTE.
- ✓ **Release 9:** describe a LTE y su desarrollo a la par con el Release 10 que define la tecnología 4G, la cual cumple con las especificaciones de IMT-Advanced⁹ de la ITU.

En la figura 5 se muestra la evolución de los estándares 3GPP.

⁹**IMT-Advanced:** International Mobile Telecommunication Advanced (Telecomunicaciones internacionales móviles avanzadas).

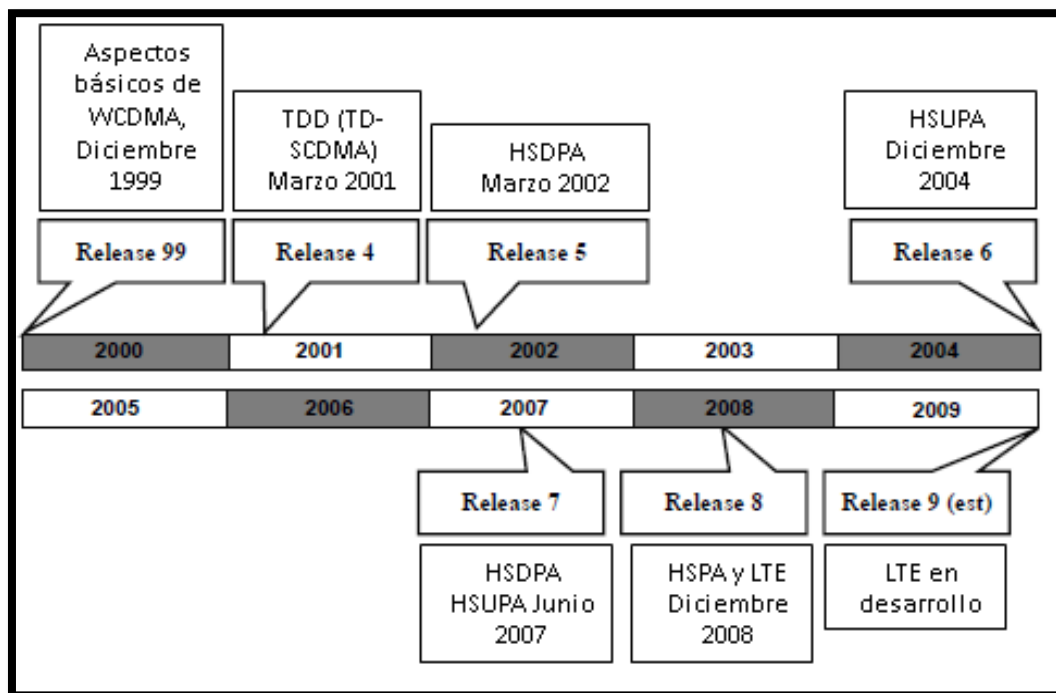


Figura 5 Línea de evolución en el tiempo de los estándares 3GPP.

Fuente: Recuperado de Toskala, Harri Holma and Antti (2009). LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. John Wiley & Sons Ltd.

2.8.2 Definición LTE

El principal objetivo de la tecnología LTE es satisfacer las necesidades del usuario, el cual da un gran uso de la tecnología móvil actual, a través de un equipo terminal el que permite gozar de todas las capacidades con la que cuenta dicha red.

El 3GPP lo denominó Long Term Evolution por el proceso de transición que han sufrido los diferentes estándares correspondientes a numerosas tecnologías móviles. Por consiguiente los requisitos para LTE se pueden resumir de la siguiente manera:

- ✓ Reducción del retardo, tanto en términos de establecimiento de la conexión y latencia de la transmisión.
- ✓ Aumento de las tasas de datos móviles de usuario.
- ✓ Aumento de la tasa de bits celular de última generación, para la uniformidad de la prestación de servicios.
- ✓ Reducción del coste por bit, lo que implica una mayor eficiencia espectral.

- ✓ Mayor flexibilidad de uso del espectro en las nuevas como pre-existentes bandas de frecuencia.
- ✓ Arquitectura de red mucho más práctica que las anteriores.
- ✓ Movilidad sin grietas, incluso entre diferentes tecnologías de acceso de radio.
- ✓ Consumo de energía razonable para el terminal móvil. (Toskala, 2009)

2.8.3 Fundamentos del funcionamiento de LTE

Después de varios años de investigación para la evolución técnica y física de las redes móviles, se estableció parámetros que hacen que cada eslabón en la evolución tenga su propia particularidad, estableciendo diferentes protocolos, arquitecturas de red, formas de acceso al medio y técnicas de transmisión, todo esto con la finalidad de conseguir una integración más eficiente de los servicios y aplicaciones que pueda ofrecer la red móvil de cuarta generación.

Los esquemas de acceso múltiple se realizó por parte de la 3GPP en el año 2005 como se lo señala en (Stefania Sesia, 2009), concluyendo que la técnica de acceso múltiple OFDMA sea seleccionada para el enlace descendente o recepción de datos; mientras que SC-FDMA para el enlace ascendente o envío de información. Ambos esquemas trabajan en el dominio de la frecuencia con el fin de aportar flexibilidad al sistema LTE.

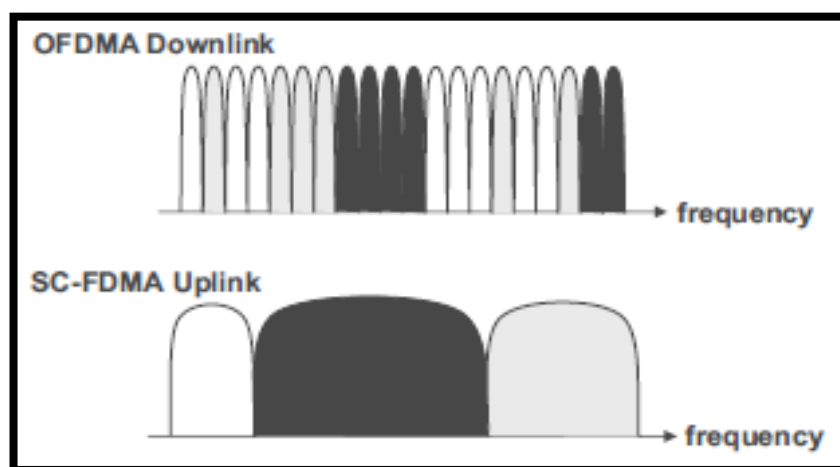


Figura 6 Dominio de la frecuencia de las tecnologías de acceso múltiple LTE.

Fuente: Recuperado de Stefania Sesia, Matthew Baker and Issam Toufik (2009). LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice. John Wiley & Sons LTd.

2.8.3.1 Interfaces de red E-UTRAN: X2

La interfaz X2 es la encargada de interconectar eNodo Bs entre sí, esta interfaz permite coordinar la interferencia entre celdas, proporcionar información sobre el estado de los recursos, la sobrecarga y la situación de tráfico entre diferentes eNodo Bs. Al realizarse la conexión entre eNodo Bs, el eNodo B origen utilizará la interfaz X2 para enviar el mensaje de solicitud de traspaso al eNodo B de destino.

Al igual que la interfaz S1, X2 tiene un plano de control y plano de usuario. En el plano de usuario se realiza la transferencia de datos de usuario entre eNodo Bs a través del proceso denominado handover, en el cual los paquetes que han sido almacenados en el eNodo B anterior son intercambiados hacia el eNodo B nuevo.

Por otra parte, en el plano de control se realiza el control de la transferencia de paquetes IP que han sido enviados por parte del plano de usuario; además mediante la interfaz X2 del plano de control, los eNodo B pueden transferir información relacionada a la gestión de recursos de radio entre sus celdas vecinas.

2.8.4 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.

2.8.4.1 REDES SMALL CELL

2.8.4.1.1 Introducción a 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 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.

2.8.4.1.2 Técnicas y desafíos en el despliegue de las Redes Small Cell

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

2.8.4.1.2.1 AUTO-ORGANIZACIÓN

Como se menciona en (Quek, de la Roche, Guvenç, & Kountouris, 2013) algunas celdas como son picocells¹⁰ y femtocells¹¹ serán desplegados sin supervisión del

¹⁰ **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.

¹¹ **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.

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.

2.8.4.1.2.2 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.

2.8.4.1.2.3 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 traspasos 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 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.

2.8.5 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 / SCAPI, 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 de (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.

2.8.5.1 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. Para el despliegue exitoso de las Urban Small Cell se requiere de una buena comprensión de los siguientes parámetros:

- ✓ **Conductores de Mercado:** la motivación principal para desplegar Urban Small Cell según (Small Cell Forum, Urban Small Cells, 2014) es proporcionar un aumento global de la capacidad, con el fin de ofrecer mayores velocidades de datos y permitir nuevos servicios. Mejorar la cobertura y reducir el costo de la entrega de datos también fueron citados como factores importantes.
- ✓ **Desafíos claves:** las preocupaciones principales de los operadores como tal son proporcionar backhaul y asegurar el funcionamiento óptimo de los sitios implementados.
- ✓ **Caso de negocio:** los beneficios de las Small Cell es mayor que los costos para producir un modelo de negocio global positivo, aun cuando el operador planea desarrollar tanto la capacidad macrocelda y las tenencias de espectro según (Small Cell Forum, Urban Small Cells, 2014). Aunque la sincronización y la cantidad de despliegue varían notablemente entre los operadores, que, sin embargo, vemos que una capa de Small Cell con todas las funciones será un componente esencial de las redes futuras.
- ✓ **Interoperabilidad:** es reconocido como un ingrediente esencial en el desarrollo de un ecosistema competitivo alrededor de las tecnologías Small Cell.
- ✓ **Acceso Radio:** auto configuración y optimización de la radio de Small Cell fue un factor clave para el plug and play de las Small Cell residenciales, y es igualmente necesario en el entorno urbano para de esta manera garantizar el despliegue a gran escala de éxito. Se discuten las arquitecturas y los flujos de procesos para una serie de casos de uso SON, que abarca el despliegue y la configuración inicial a través de la optimización y mantenimiento.

- ✓ **Arquitectura de red:** como el objetivo principal es mejorar la capacidad, tendrán que estar estrechamente integradas en las redes celulares existentes que son las macro células.
- ✓ **Seguridad:** la seguridad es especialmente importante para las Small Cell donde el factor de forma y el despliegue más estrecho para al usuario los hace blancos potenciales de diversos ataques.
- ✓ **Backhaul:** el coste total de propiedad de las Small Cell y su red de retorno son alrededor de una décima parte de eso por un macrocelda, produciendo un caso de negocio global positivo según plantea (Small Cell Forum, Urban Small Cells, 2014).
- ✓ **Despliegue:** Se describe las personas, herramientas y procesos necesarios para planificar, diseñar, construir y mantener las redes Urban Small Cell.
- ✓ **Servicios de valor añadido:** las Small Cell son capaces de soportar aplicaciones personalizadas que pueden agregar valor para los operadores. Se incluye el aumento de la precisión de la información de ubicación o el almacenamiento en caché de las células para mejorar la QoE suscriptor y reducir el tráfico de red de retorno.
- ✓ **Casos prácticos de implementación:** Se describe y comparte aprendizajes a partir de una serie de líderes del mercado 'despliegues en aeropuertos, parques temáticos, centros deportivos, metros y al nivel de la calle. Estos ilustran cómo las asociaciones en varios países ya se están llevando las Small Cell a nuevos entornos. Tales despliegues también están reuniendo a Small Cell con un número de otras tecnologías para afrontar los retos específicos que plantea el entorno urbano.

2.8.5.1.1 La Radio y la Capa Física

El objetivo general del SON es permitir la configuración, implementación, optimización, operación y mantenimiento de las redes densas a través de múltiples escalas

con el aporte muy bajo o retroalimentación. En los siguientes temas se abordan los casos de uso de SON:

- ✓ Urban SON, casos de uso que abordan las dos tecnologías de acceso de radio predominantes - UTRAN y EUTRAN.
- ✓ Casos de uso de SON que abordan el ciclo de vida completo de la red - desde el despliegue inicial y la configuración a través de auto-optimización, así como los aspectos de mantenimiento.
- ✓ Áreas de Funcionalidad de SON que abordan específicamente como el 3GPP identificó como auto-configuración, auto-optimización (descubrimiento de vecinos, los parámetros de optimización, el intercambio de recursos para la gestión de la interferencia y la optimización de la capacidad como metas finales, balanceo de carga, transferencia robusta y parámetro de optimización RACH) y la auto-sanación.
- ✓ Son relacionadas con casos de uso de mantenimiento.

Las preocupaciones sobre la interoperabilidad entre las Small Cell y las macro células son múltiples. Un área clave de la normalización necesaria para apoyar las Small Cell se relaciona con procedimientos para ayudar a la coordinación con macroceldas de interfaz 'X2' de LTE.

Se hace recomendaciones con respecto a soluciones o cambios en los estándares que se pueden adoptar para mejorar la interoperabilidad. Los resultados son consistentes de acuerdo con la NGMN de MLB y MRO en sus "métodos recomendados para el despliegue SON multi-vendor", y también proporcionan un análisis adicional del ICIC y eICIC Interoperabilidad.

Las Small Cells requieren que los operadores tengan una amplia variedad de equipos interoperables entre una gama de proveedores desde la que construyen sus redes heterogéneas.

La interoperabilidad de los ecosistemas requiere tanto de normas de buena calidad como también que el equipo que se ajuste a ellos. El SCF, ETSI y la alianza NGMN han

trabajado juntos desde el año 2010 para llevar a cabo Plugfests para acelerar el uso de las tecnologías de red de Small Cells.

2.8.5.1.2 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 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.

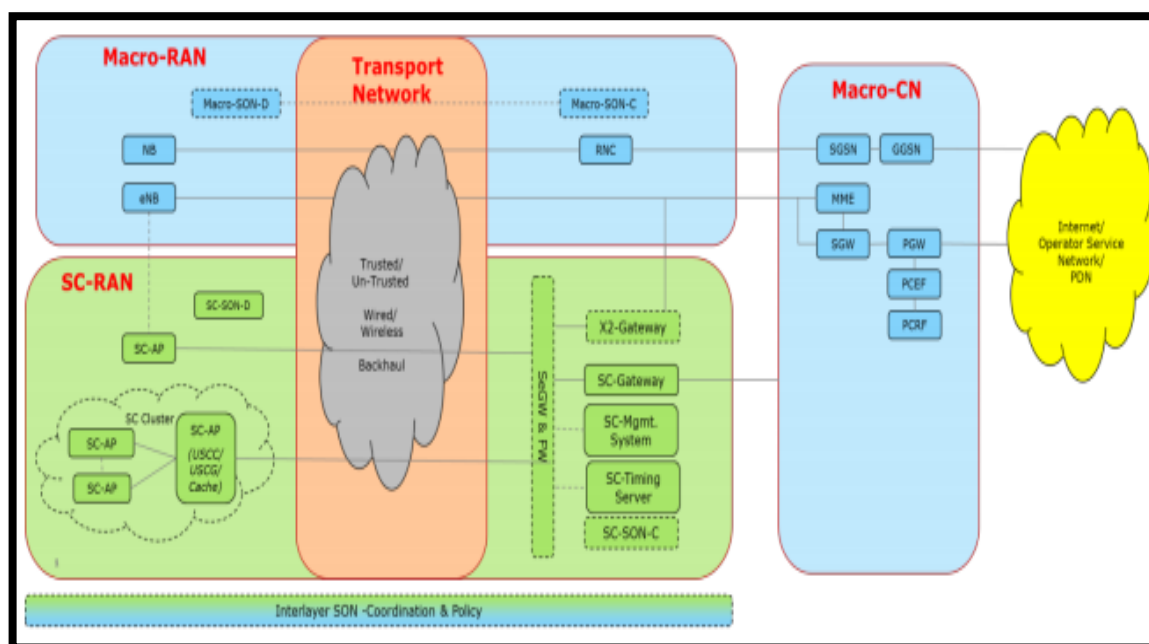


Figura 7 Generic end-to-end urban small cell network

Fuente: Urban Small Cells (June 05 2014). Small Cell Forum. Recuperado de http://scf.io/en/documents/104_-_Urban_small_cells_Release_Four_overview.php

“Es un marco que permite especificar arquitecturas que se construirán para escenarios específicos. El marco identifica una serie de "dominios de arquitectura", tales como la Small Cells RAN, la macro RAN, transporte backhaul y operator core network. Cada uno de estos dominios se compone de varias entidades funcionales, que a continuación se enumeran y describen. Esto es seguido por discusiones individuales en diversas «marcos sub-arquitectónicos", como X2-support (incluidos los aspectos relacionados con el X2-gateway están introduciendo en 3GPP Release 12), SON-support y Backhaul-considerations (por ejemplo, uso de VLAN, QoS etc.)”. (Small Cell Forum, Urban Small Cells, 2014)

El documento analiza los retos de escalabilidad de las Urban Small Cell, el examen de las interacciones y los requisitos de señalización consecuentes de la implementación de Small Cell para hacer frente a los casos de uso de cobertura. Urban Small Cell tienen la posibilidad de realizar diferentes tipos de servicios y aplicaciones, que están siendo abordados por el Grupo de Trabajo de Servicio del SCF. Por tal motivo, los aspectos arquitectónicos de las Small Cell menciona los aspectos de apoyo local y contenido almacenado en caché, así como la ubicación exacta.

Otro tema relacionado con la arquitectura de la red que los operadores destacan es cómo se logra realmente la sincronización. Esta es un área de estudio de muchos años que se dirigió en versiones anteriores y específicamente en Synchronization for LTE small cells [SCF075] como se menciona en (Small Cell Forum, Urban Small Cells, 2014).

2.8.6 GNEX U-NET

El software U-Net es una plataforma de planeación de redes propietaria de Huawei la cual será la herramienta para la realización de predicciones de sitio en análisis. GNEX U-net está orientado a la planificación y diseño de redes de nueva generación, proporcionando funciones integrales de planificación de la red, una arquitectura de software flexible, un sistema de información geográfica avanzada (SIG), recursos de datos enriquecidos, e interfaces de usuario fáciles de usar.

2.8.6.1 Características del software:

Las siguientes características permiten a los ingenieros de planificación de redes mejorar la eficiencia en el trabajo de manera significativa.

- ✓ **Tecnología de simulación de planificación avanzada LTE:** El U-Net soporta la planificación de vecindades entre celdas, la planeación de frecuencias, el identificador físico de celda (PCI), canales códigos y física de acceso aleatorio (PRACH). Además, proporciona la optimización profesional de la red LTE mediante la incorporación de tecnologías avanzadas.
- ✓ **Algoritmos de planificación avanzadas:** El U-Net ayuda a los usuarios a realizar con flexibilidad la co-planificación de redes GSM, UMTS y LTE-FDD, haciendo un uso apropiado de los recursos existentes del sitio.
- ✓ **Tecnología de simulación semi-dinámica avanzada:** Al proporcionar la predicción de red de alta precisión, el U-Net ayuda a estimar con precisión las necesidades de la red y proporcionar una solución de bajo costo, lo que reduce de manera efectiva el costo general de despliegue de red.
- ✓ **Función de planificación de red de gran alcance y fácil de usar:** El U-Net proporciona algoritmos y modelos matemáticos fáciles para la simulación del comportamiento de la red, además de ajustes de los parámetros de planificación. Esto mejora la eficiencia en el trabajo de manera efectiva mediante la reducción de los requisitos técnicos de la optimización de la red y asegura la calidad de la planificación de red.

2.8.6.2 Escenario de aplicación

U-Net es aplicable en despliegue, optimización y expansión de la red. Durante el despliegue de red U-Net ayuda a planificar correctamente los parámetros de ingeniería, datos de celdas vecinas, y los datos de frecuencia de la red; proporcionando así orientación para la implantación real del proyecto.

Durante la optimización y ampliación de la red, U-Net ayuda a optimizar los parámetros de la red y verificar los resultados mediante la comparación del rendimiento de la red antes y después de la optimización. En la tabla 3 se describen las principales funciones proporcionadas por U-Net.

Tabla 3 Principales funciones de U-Net.

Función	Descripción
Despliegue del sitio	Después de especificar el área de despliegue de un sitio, el sitio puede ser rápidamente desarrollado en una plantilla de un mapa previamente cargado. U-Net soporta la importación de datos de los mapas en capas y la importación rápida de los datos de los mapas. Además, U-Net obtiene automáticamente la información de la proyección.
Calibración del modelo de propagación	El modelo de propagación se puede ajustar manualmente o automáticamente en la base de los datos. El U-Net muestra el modelo en el sistema de información geográfica avanzada (SIG) para analizar el error en el cálculo basado en el modelo.
Planificación de parámetros de red	U-Net ayuda en la configuración de los parámetros primordiales de red, como aquellos relacionados con las celdas vecinas, la frecuencia, PCI, PRACH, y TA's.
Predicciones	U-Net inicia la predicción después de importar el mapa y la configuración de datos de la red, modelo de servicio y modelo de propagación. Mediante el análisis del resultado de la predicción, se evalúa el desempeño de la red.
Capacidad de simulación	Después de que los parámetros de tráfico se configuran y el mapa de tráfico se ha establecido de acuerdo con la planificación, el U-Net realiza el cálculo de simulación basado en el mapa del tráfico. En la simulación de la capacidad, U-Net analiza el rendimiento de la celda y el usuario. Además, se analiza la cobertura de los canales comunes y canales de tráfico sobre la base de la carga de red específico proporcionado en los resultados del cálculo de simulación.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

2.8.6.3 Estructura del Sistema U-Net

Se divide básicamente en las aplicaciones del sistema que son las que proveen de funciones de planificación de parámetros, simulación, predicción y análisis de resultados. Por otra parte se encuentra la plataforma U-Net, la cual proporciona la gestión de todos

los datos que ingresan al sistema, además de ofrecer funciones como el sistema de información geográfica (SIG), modelos de servicio, modelos de propagación, de esta manera U.Net gestiona todas sus funciones en base a esta plataforma.

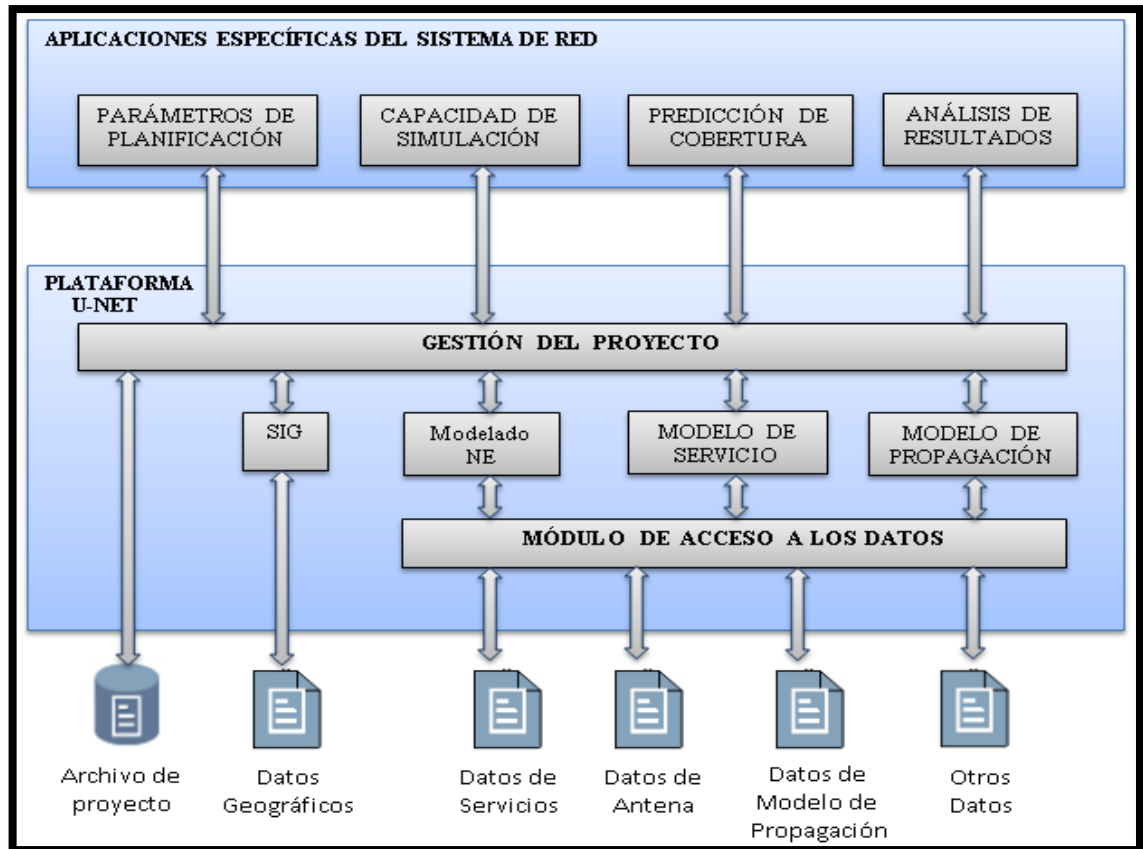


Figura 8 Arquitectura Software U-Net.
Fuente: Adaptado de GENEX U-Net V300R008C00.

CAPITULO III

INGENIERIA DEL PROYECTO

Para el desarrollo de este capítulo es de mucha relevancia conocer los aspectos más importantes acerca de la tecnología móvil con la que cuenta el sector de los túneles de San Juan ya que así facilita realizar el estudio que permite determinar que la tecnología Small Cell a implementarse sea óptima para brindar servicios móviles.

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



Figura 9 Planificación ingeniería de proyecto
Fuente: Base de datos Huawei

3.1. RECOPIACION DE INFORMACIÓN

En este Ítem es necesario conocer los parámetros básicos que se necesitan conocer para el desarrollo del análisis del tema en estudio; para esto se detallan a continuación.

3.1.1. Asignación De La Banda De Frecuencias Para CNT EP.

3.1.1.1. Espectro utilizado en UMTS

En el Ecuador y en la mayoría de países de América del Sur, se ha designado la banda GSM- 1900 MHz. El rango de frecuencia indica la cantidad de MHz con la que los teléfonos móviles envían y reciben datos entre sí a través de una estación base.

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 4 Bandas de frecuencias 3G usadas.

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

Fuente: Frecuencias Redes GSM. Modificado de:
http://wiki.bandaancha.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil.

Según la resolución ARCOTEL-2015-000100 estipula que se mantiene la asignación de frecuencias 1900MHz, de acuerdo a resolución TEL-738-26-CONATEL-2014, misma que estipula que se autorice la extensión del Contrato de Alquiler del Espectro Radioeléctrico en las mismas condiciones autorizadas por la CONATEL(2007-2012).

“ARTÍCULO UNO.- Con el propósito de garantizar la continuidad y calidad en la prestación del servicio y fundamentada en lo dispuesto en la Resolución TEL-738-26-CONATEL-2014, prorrogar la vigencia de los Contratos de Alquiler del Espectro Radioeléctrico y de Roaming Nacional suscritos entre CNT EP. y OTECEL S.A, con las mismas condiciones técnicas, económicas y comerciales que pactaron la CNT EP. y

OTECCEL S.A, el 30 de abril de 2014, por un plazo de seis meses contados a partir del vencimiento del plazo otorgado por el CONATEL en la mencionada Resolución.

ARTÍCULO DOS.- La prórroga de la vigencia de los contratos podrá finalizar cuando exista un acuerdo o una disposición de Roaming Nacional automático en el caso del Contrato de Roaming Nacional y cuando OTECEL S.A deje de utilizar el espectro que alquila a la CNT EP. en el caso del contrato de alquiler del Espectro Radioeléctrico”. (ARCOTEL, 2015)

3.1.1.2. Espectro utilizado en LTE

Según la resolución TEL-084-29-CONATEL-2012, mediante oficio SNT-2012-1537 de 07 de diciembre de 2012, el señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones remitió para conocimiento y resolución de los señores miembros del CONATEL el informe Técnico-Jurídico elaborado por las Direcciones Generales de Gestión del Espectro Radioeléctrico y Jurídica de la SENATEL, en el cual se presentan las siguientes disposiciones:

“Artículo tres: Adoptar la siguiente canalización para las bandas de 700 MHz, AWS 1700/2100 MHz:

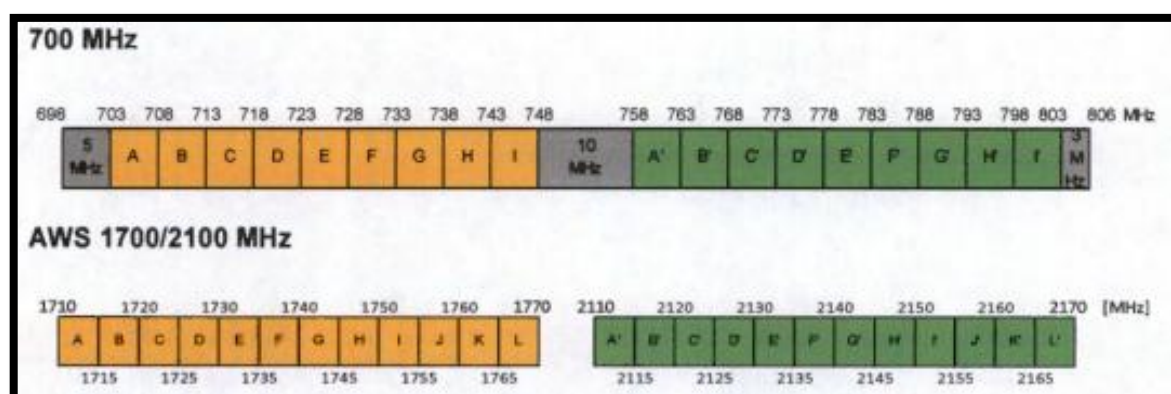


Figura 10 Canalización de bandas 700 MHz y AWS 1700/2100 MHz

Fuente: Resolución TEL-084-29-CONATEL-2012. Recuperado de http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf

Artículo cuatro: Autorizar a la empresa pública CNT E.P. en la banda de 700 MHz los bloques G – G’, H – H’ e I – I’ correspondiente a los rangos 733 – 748 MHz (uplink) y 788 – 803 MHz (downlink) a nivel nacional.

Artículo cinco: Asignar y autorizar a la empresa pública CNT E.P. en la banda AWS 1700/2100 MHz los bloques A –A´, B – B´, C – C´ y D – D´ correspondiente a los rangos 1710 – 1730 MHz (uplink) y 2110 -2130 MHz (downlink) a nivel nacional.”

“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 5. (CONATEL & ARCOTEL, 2012)

Tabla 5 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

Fuente: Banda de frecuencia AWS-CNT EP. Recuperado de http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf

3.1.2. Potencia recibida de la señal de código (RSCP)

Al igual que en cualquier otra tecnología celular, la cobertura es siempre un indicador de probabilidad de obtener un buen nivel de servicio, es decir, de cobertura óptima. La señal de referencia de la potencia recibida es una medida común que puede proporcionar el nivel de calidad de la cobertura.

Aunque la interferencia entre celdas no se reflejará por nivel RSCP, todavía es un fuerte indicador de nivel de rendimiento, siempre y cuando la red de radio inicial haya sido diseñada correctamente. El valor de RSCP varía de acuerdo a la posición, de esta manera el valor de RSCP cerca a la celda es -85 dBm, en medio de la celda es: -95dBm y en el borde de la celda es -105 dBm. Se lo expresa en [dBm] y sus relaciones son las siguientes tal como se lo expresa en (Physical layer - Measurements(FDD), 3GPP TS 25.215 V3.13.0, febrero 2005):

- ✓ 0 dBm a -85 dBm: Señal óptima.
- ✓ -85 dBm a -95 dBm: Señal muy aceptable.
- ✓ -95 dBm a -105 dBm: Señales no aceptables.
- ✓ -105 dBm o dBm menores: Señales malas con pésima calidad.

3.1.3. Energía de Canal CPICH sobre Interferencia (EC/IO)

Este es un parámetro muy importante para el análisis de áreas de cobertura. Esta relación indica la calidad del servicio que se está brindando por parte del proveedor. El valor de E_c/I_o es un valor variable debido a que depende de la interferencia inmersa en el canal piloto, además de la carga de tráfico. (Physical layer - Measurements(FDD), 3GPP TS 25.215 V3.13.0, febrero 2005) establece los rangos de valores para calificar a la calidad de la señal:

- ✓ 0 dB a -10 dB: Calidad señal óptima.
- ✓ -10 dB a -12 dB: Calidad de señal muy aceptable.
- ✓ -12 dB a -15 dB: Calidad de la señal no aceptable.
- ✓ Menores a -15 dB: Pésima calidad de la señal.

3.2. 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 el 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 test¹², 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.

¹² **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 través de mensajería. Recibe y decodifica mensajes como El nivel de señal recibida, control de canales, las células vecinas, etc.

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.

Los elementos para realizar pruebas de Drive Test se detallan a continuación:

- ✓ Computador Portátil con el software de Drive Test
- ✓ Escáner de frecuencias
- ✓ Modulo receptor GPS que proporciona la posición
- ✓ Vehículo
- ✓ Dos teléfonos móviles
- ✓ Modem o Smartphone con datos

3.2.1. Computador Portátil

Este es uno de los dispositivos más importantes para la realización de un Drive Test, ya que su traslado de un lugar a otro es fácil y a su vez contiene el software conectado un escáner de frecuencias y un receptor GPS que permiten la recopilación de información requerida, permitiendo procesar y almacenar la información. Las características mínimas con las que debe contar un computador portátil para realizar Drive Test son las siguientes:

- ✓ Procesador Pentium IV de 1.8 GHz
- ✓ Windows 2000, Windows XP Professional, Windows Vista, Windows 7
- ✓ 256 Megabytes de RAM
- ✓ 32 Megabytes de Video en RAM
- ✓ 40 Gigabytes de espacio libre en el disco duro



Figura 11 Computadora para Drive Test.

Fuente: Recuperado de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/dortega/2007/10/13/drive-test/>

3.2.2. Escáner de Frecuencias

El escáner de frecuencias está diseñado para medir la radiación y el nivel de potencia que se emite en un rango de frecuencias en intervalos de tiempo, de acuerdo a su configuración. El escáner de frecuencias es conectado al computador para así poder manipular y almacenar los datos medidos por el mismo.



Figura 12 Escáner de frecuencias para Drive Test.

Fuente: Recuperado de <http://tm.livingstong.es/p-bv-systems/telecomunicacionesradiocomunicaciones/drive-test-medidas-de-cobertura/bv-systems-004025ac/>

3.2.3. Modulo Receptor GPS

El Sistema de Posicionamiento Global GPS permite localizar uno o varios puntos geográficos en determinados lugares donde la empresa de telefonía móvil celular brinda

cobertura y por ende donde se hayan reportado problemas técnicos del el servicio que brinda. El modulo receptor GPS con los datos del escáner de frecuencias, ayudan a construir un mapa de niveles de potencia. El GPS indica el dato de posición geográfica, mientras que el escáner de frecuencias muestra el nivel de potencia es ese punto.



Figura 13 Módulo de posicionamiento global para Drive Test.

Fuente: Recuperado de http://g02.a.alicdn.com/kf/HTB1_H1iHVXXXXXEXVXXq6xXFXXH/UB-353-PC-Laptop-USB-head-GPS-Receiver-Navigation-Receiver-Positioning-Module-GMOUSE-Road-Test-antenna.jpg

3.2.4. Vehículo

Para poder trasladar los equipos y poder cubrir una zona determinada es necesario de un vehículo.

3.2.5. Teléfonos Móviles

Los teléfonos móviles son de suma importancia ya que cumplen una función importante en el proceso de Drive Test. Se utiliza 2 teléfonos, uno de ellos funciona en modo ingeniería y este se conecta con el computador portátil y mediante una configuración adecuada del teléfono y del computador se empiezan a realizar llamadas cada cierto intervalo de tiempo, las llamadas se las realiza para comprobar el problema de cobertura reportado y así verificar que el problema existe. Los datos que el teléfono recibe y envía, se almacenan en el computador. La figura 14 muestra los teléfonos utilizados en Huawei.



Figura 14 Teléfonos de prueba de Drive Test
Fuente: Elaborado por autor

Una vez almacenada la información obtenida, el computador realiza un post procesamiento mostrando los datos en graficas en las que se puede interpretar los problemas que se deben solucionar posteriormente.

La figura 15 muestra la ubicación física del sitio, una vez situados en dicho lugar se procede a obtener los datos necesarios para la ubicación del nuevo sitio que son Latitud y Longitud, esto se obtiene mediante el GPS, con el mismo se obtuvo los datos del sector al que se está realizando el estudio como se puede ver en la tabla 6.

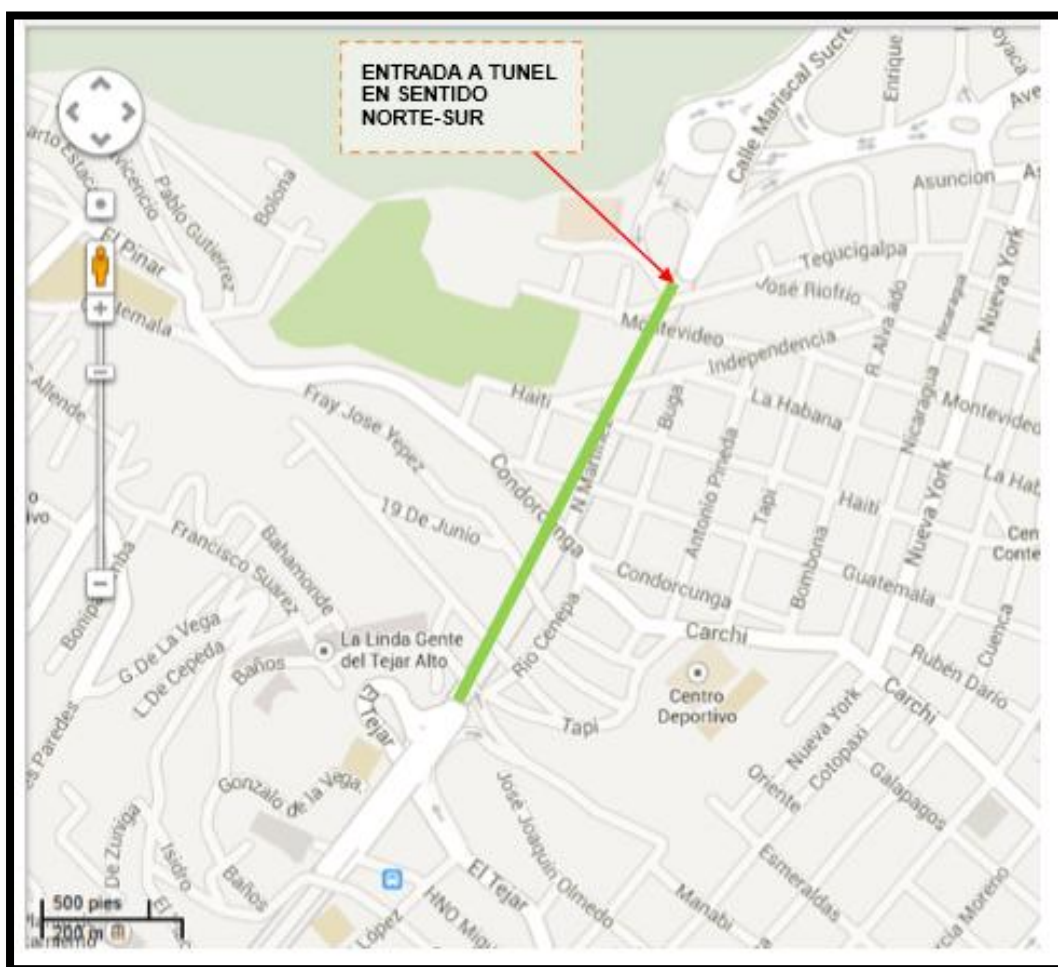


Figura 15 Ubicación del objetivo extremo norte
Fuente: Elaborado por autor

Tabla 6 Ubicación del Sitio

FASE: INICIAL	LATITUD: S 0° 12'25.85''
CIUDAD / PROVINCIA: Quito / Pichincha	LONGITUD: W 78° 30'45.23''
FECHA DE LA VISITA: 2015/06/06	DIRECCIÓN: Av. Occidental – Extremo Norte del Túnel San Juan.

Fuente: Base de datos Huawei

**Figura 16** Ubicación geográfica de la zona de cobertura

Fuente: Base de Datos Huawei

La figura 16 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 17 la cobertura no

es óptima en todo 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.

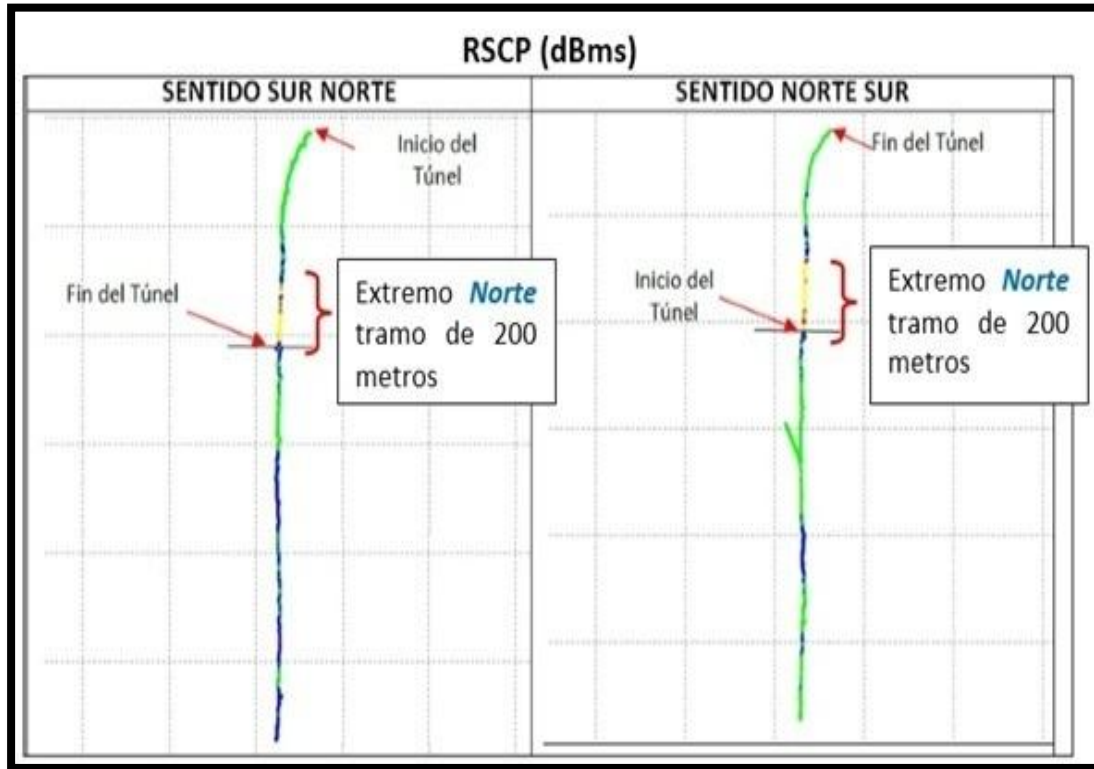


Figura 17 Niveles de Cobertura RSCP existentes en los túneles de San Juan
Fuente: Base de datos Huawei

Tabla 7 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%	66,28%	Aceptable
$-95 > x \geq -105$	3845	23,23%		No aceptable
$x < -105$	1923	10,49%	33,72%	Pésimo
Total	13971		100%	

Fuente: Base de datos Huawei.

Tabla 8 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%	54,09%	Aceptable
$-95 > x \geq -105$	3789	26,45%		No aceptable
$x < -105$	2026	19,46%	45,91%	Pésimo
Total	12058		100%	

Fuente: Base de datos Huawei.

En la figura 17 y en la tabla 7, se puede ver ciertos parámetros que hay que tomar en cuenta, como son las mediciones en las que se puede garantizar la cobertura, es decir a partir de los -85 a -95 dBm de RSCP, de tal manera que los resultados sean satisfactorios.

La tabla 8 especifica valores de RSCP obtenidos por el UE durante el Drive Test Inicial realizado, estos valores tienen un total de porcentaje semejante a los valores obtenidos por el escáner, para el análisis se tomarán en cuenta los valores adquiridos por el escáner.

El número de muestras tomadas por el Escáner en el Drive Test Inicial fue de 13971 (tabla 7), 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 17. 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 7, 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.

3.3. PROPUESTA Y ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN 3G/LTE

Para definir la solución 3G/LTE adecuada para corregir el problema de cobertura a lo largo de los túneles de San Juan se analizan dos propuestas que ayudarán a mejorar el problema existente en la zona de 200 m de los túneles de San Juan - Quito:

- Solución A.- eRelay Small Cell
- Solución B.- RRUs 3G y LTE en Poste

El motivo por el cual se escogen estas dos soluciones fue por su flexibilidad de ubicación ya que no necesita de un gran espacio físico para la instalación, esto se determina mediante una inspección técnica en sitio poniendo a discusión las ventajas y desventajas (ubicación, infraestructura, tomas de energía, equipos a utilizar, altura de equipos, medio de transmisión, entre otros) que presenta el sector conjuntamente con las áreas funcionales de Huawei que son radiofrecuencia, wireless, ingeniería civil y energía, para de esta manera concluir si es posible la instalación de este tipo de soluciones móviles en dicho sector.

Al ubicarse en los túneles de San Juan se puede observar que el espacio físico es una gran limitante por varios factores, como: su ubicación (Av. Occidental), permisos que se deben solicitar en caso de instalar equipos dentro de la estructura de los túneles, instalación de nuevos medidores y ubicación de bastidores para equipos de transmisión; por este motivo la primera propuesta de instalación de una BTS se descartó puesto que para esta infraestructura es necesario contar con un espacio físico amplio donde permita

ubicar los equipos dentro de un minishelter¹³ o rack, como también la estructura que soportará el sistema radiante, ya sea monopolo, torreta, torre o mástiles.

Para la solución planteada, el espacio es limitado ya que es una avenida, además para poder instalar esta solución es necesario cumplir con requisitos impuestos por el Municipio de Quito por ser un espacio físico público; los requisitos a cumplir son los siguientes: permisos para uso de espacio físico, análisis estructural, estudio de suelos y un pago de arriendo por uso de espacio físico, además una mimetización que ayude a contrarrestar el impacto visual que generaría la BTS.

Todos estos procesos requieren de mucho tiempo, dinero y una obstrucción de tránsito en la avenida occidental, ocasionando problemas de movilización en el sector; por tal motivo esta solución se descartó ya que el principal limitante fue el espacio adecuado que se necesita para este tipo de infraestructura.

3.3.1. Solución A. - eRelay Small Cell

El sistema eRelay proporciona la transmisión PTMP utilizando la tecnología OFDM NLOS y Capa 2 de reenvío de paquetes. Estas tecnologías permiten que el sistema eRelay proporcione backhaul para dispositivos en todo tipo de entornos inalámbricos y redes de transmisión. El sistema eRelay trae los siguientes beneficios para los operadores:

- ✓ El eRelay BS se despliega en el mismo sitio que la estación macro base que proporciona cobertura en un radio de más de 1,5 km, en el cual se puede implementar las estaciones Small Cell para garantizar la coordinación macro y micro y de esta manera ampliar la capacidad de la red. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015)
- ✓ El sistema eRelay puede desplegarse rápidamente usando los recursos de transmisión ya existentes en las estaciones macro, al integrar este sistema en la

¹³ Minishelter: cumple las mismas funciones que un shelter convencional para equipamiento electrónico, reduciendo el tamaño de su instalación al permitir que el operador trabaje desde fuera del mismo. Tiene climatización por ventilación forzada o abierta, aire acondicionado de precisión, o intercambiador de calor aire-aire.

red existente, la red de transmisión es fácil de desplegar puesto que utiliza la infraestructura ya existente.

- ✓ La RRN es un dispositivo de telecomunicaciones, con una disponibilidad del 99,99% y el tiempo medio entre fallos (MTBF) de 400.000 horas según (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015)
- ✓ El eRelay BS se puede actualizar a un eNodoB LTE TDD, este sistema se puede implementar en varios sitios, porque es compatible con las tecnologías PTMP y LOS / NLOS y puede ser desplegado en el mismo sitio que las estaciones macro base; a su vez puede ser gestionado en el M2000, esto facilita el mantenimiento y reduce los costos para las operadoras.
- ✓ El M2000 es ejecutable en PCs de gama baja, esto reduce el costo de implementación del sistema de operación y mantenimiento (O&M). En una célula, la velocidad de datos máxima es de 80 Mbit/s en el enlace descendente y 50 Mbit/s en el enlace ascendente en un ancho de banda de 20 MHz. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015)

Una vez analizados los beneficios que esta solución presenta se procede a detallar los equipos que se puede utilizar en este tipo de soluciones:

✓ **M2000**

El Huawei M2000 es el sistema de gestión de elementos (EMS) de la solución eRelay. El M2000 implementa la gestión de configuración, gestión de seguridad, gestión de fallos y la gestión del rendimiento de la solución eRelay.

✓ **eRelay BS**

La eRelay BS es el nodo central del enlace punto a multipunto (PTMP) de backhaul inalámbrico. En este equipo se integra la gestión de recursos inalámbricos, gestión de acceso RRN y proporciona interfaces de transmisión para la red de transporte.

✓ RRN

Nodo remoto eRelay (RRN) son nodos remotos del sistema de backhaul inalámbrico PTMP. Un RRN proporciona servicios de red de retorno para las estaciones base Small Cell, trabajando con el eRelay BS sobre la interfaz aérea.

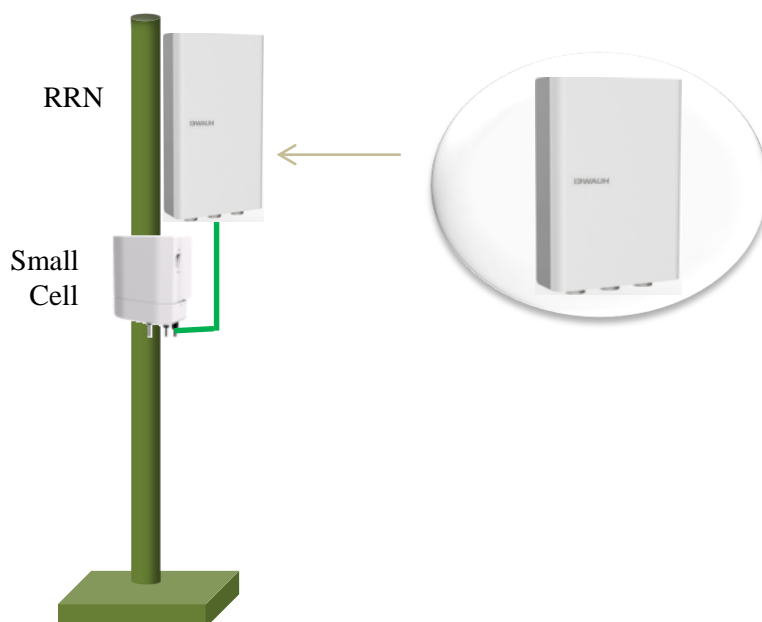


Figura 18 Equipo RRN y Small Cell
Fuente: Elaborado por autor

✓ Small Cells

Las Small Cells, pequeñas estaciones base celulares o células pequeñas, son puntos de acceso de radio de baja potencia que mejoran la cobertura de redes 3G y LTE, con el fin de aumentar la capacidad y el tráfico de red de retorno a un menor costo. Al emitir con menos potencia se reducen las interferencias entre celdas próximas, a la vez que aumenta la calidad de la señal transmitida/recibida, disminuyendo en un menor consumo de las baterías de los teléfonos celulares.

Para poder deducir si esta solución era factible instalarla en este sector se analizaron varios puntos entre las áreas pertinentes:

✓ Energía

Actualmente en un poste junto al extremo Norte del Túnel existe un medidor eléctrico para CNT, de la misma forma en el interior del extremo norte del Túnel, existe la Toma de Energía tanto 110V como 220V.

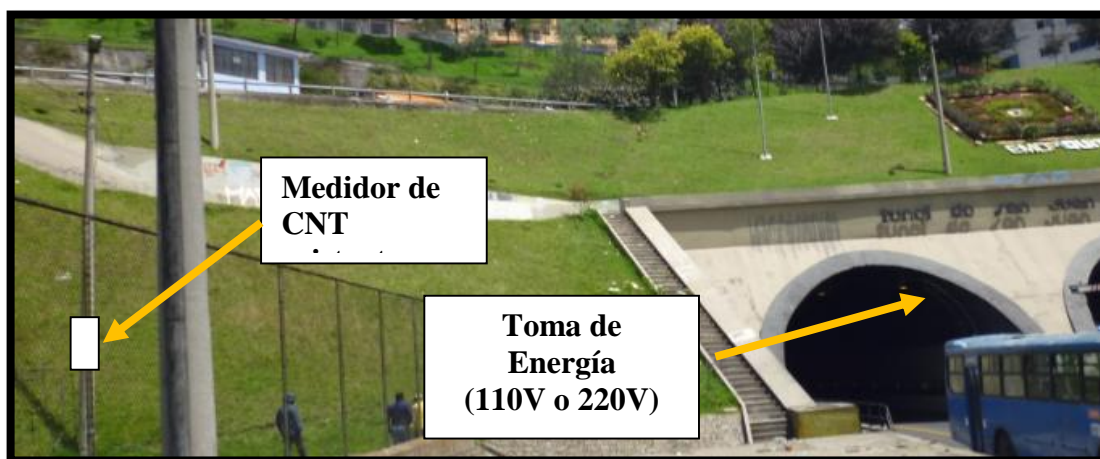


Figura 19 Tomas de Energía
Fuente: Elaborado por autor

✓ Acometida AC

El recorrido para la acometida AC ya existe que es desde el medidor de CNT existente en un poste ubicado en el extremo de la boca de salida del túnel Sur – Norte, esta acometida se usará directamente ya que los equipos a utilizar en la solución eRelay funcionan con 110VAC.

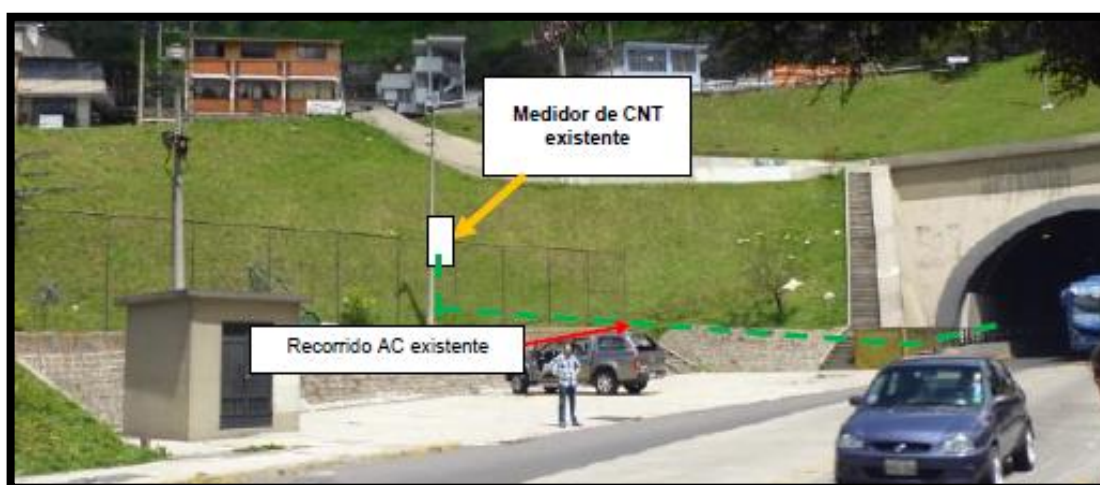


Figura 20 Recorrido de acometida AC
Fuente: Elaborado por autor

✓ **Trasmisión (eRelay)**

No es necesario un ODF en el Bastidor que actualmente se encuentra instalado en el Extremo Sur ya que la transmisión proporcionada por el equipo RRN es PTMP utilizando la tecnología OFDM NLOS y Capa 2 de reenvío de paquetes.

✓ **Sistema radiante y Configuración de RF**

El sistema Radiante (RRN, Small Cell 3G/LTE, 1 Antena Panel Dual) se pretende implementar en un poste ubicado frente a la entrada del extremo norte de los túneles de San Juan ya que así se puede cubrir directamente el objetivo de cobertura ya que según el Drive Test Inicial realizado indica que existe deficiencia de cobertura los 200 m iniciales en el extremo norte de los túneles. Para la elección de la distancia que debe tener el poste desde la boca de los túneles se realiza un análisis, dicho análisis se lo realiza una vez determinada la solución a implementar. El poste que se puede observar en la figura 21 es una referencia para indicar el tipo de estructura en donde se van a instalar los equipos del sistema radiante.

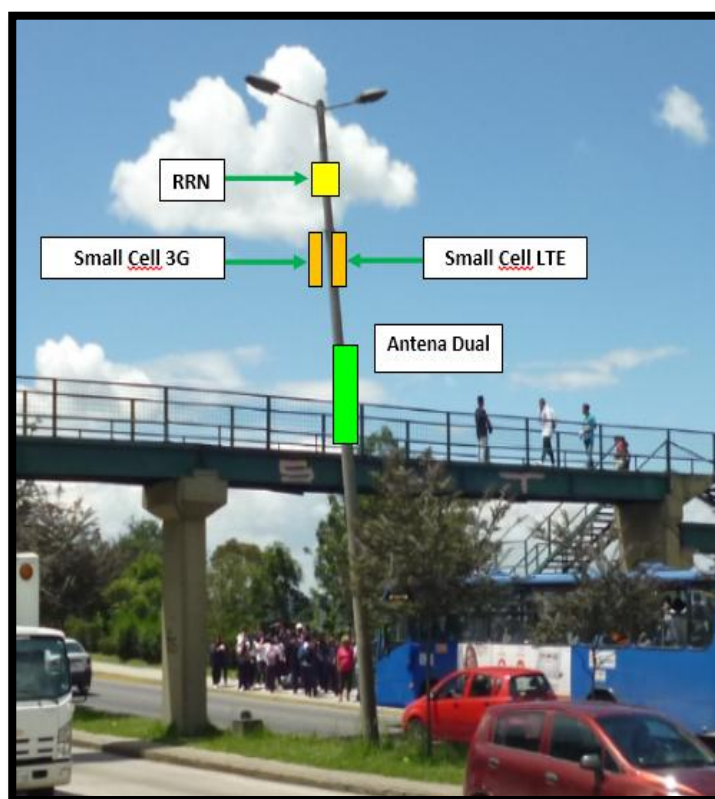


Figura 21 Configuración de RF en poste
Fuente: Elaborado por autor

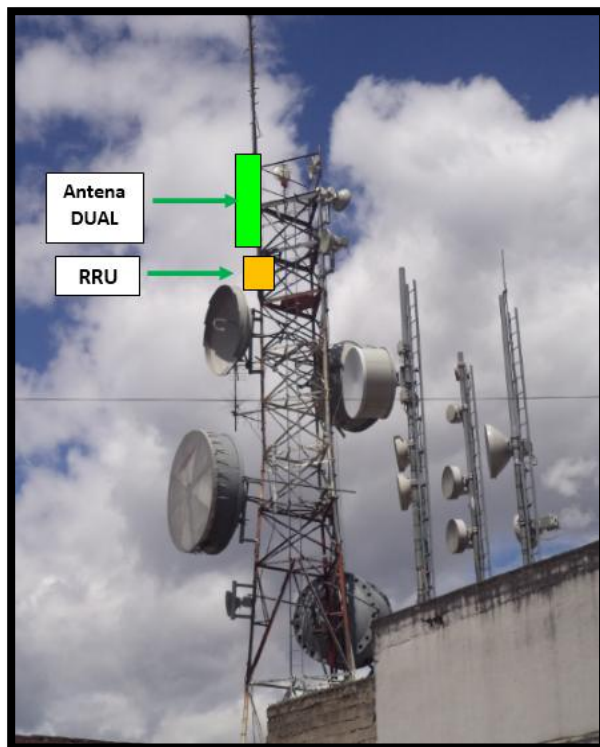


Figura 22 Configuración de RF en estación SAN JUAN
Fuente: Elaborado por autor



Figura 23 Ubicación de DCU y BBU en estación SAN JUAN
Fuente: Elaborado por autor

3.3.2. Solución B.- RRUs 3G y LTE en Poste

Este tipo de solución comprende a una nueva estación macro base, esta estación al igual que la anterior sería implementada en un poste, su medio de transmisión sería fibra óptica ya que se pretende utilizar un bastidor que se encuentra instalado en el extremo sur, este bastidor permite adecuar los equipos de transmisión (rectificadores y BBU) para que los equipos del sistema radiante puedan funcionar.

Para poder deducir si esta solución era factible instalarla en este sector se analizaron varios puntos entre las áreas pertinentes:

✓ **Energía**

Actualmente en un poste junto al extremo Norte del Túnel existe un medidor eléctrico para CNT, de la misma forma en el interior del extremo norte del Túnel, existe la Toma de Energía tanto 110V como 220V.

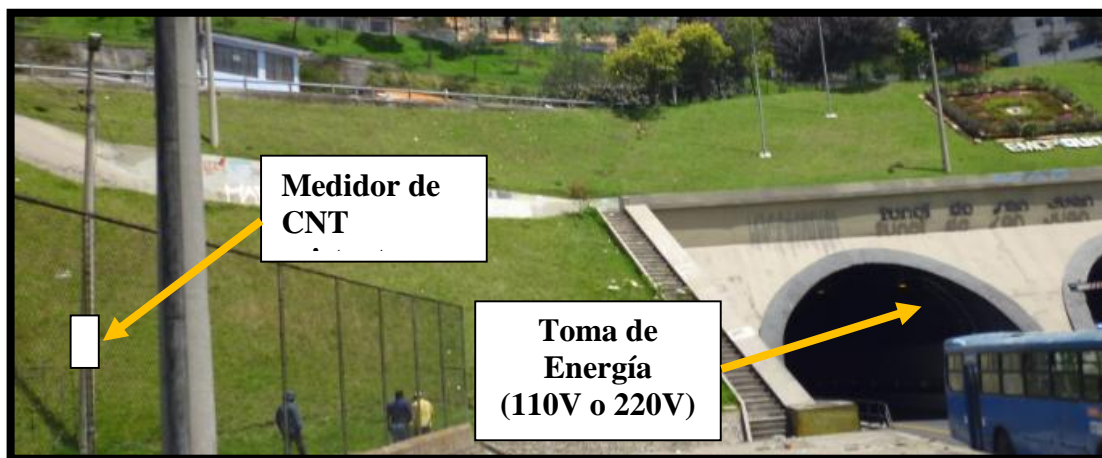


Figura 24 Tomas de Energía
Fuente: Elaborado por autor

✓ **Bastidor (BBU + Rectificador)**

Se sugiere desmontar el Bastidor (BBU + Rectificador) que actualmente se encuentra instalado en el Extremo Sur, y colocarlo sobre una caseta existente en el Extremo Norte del Túnel San Juan.

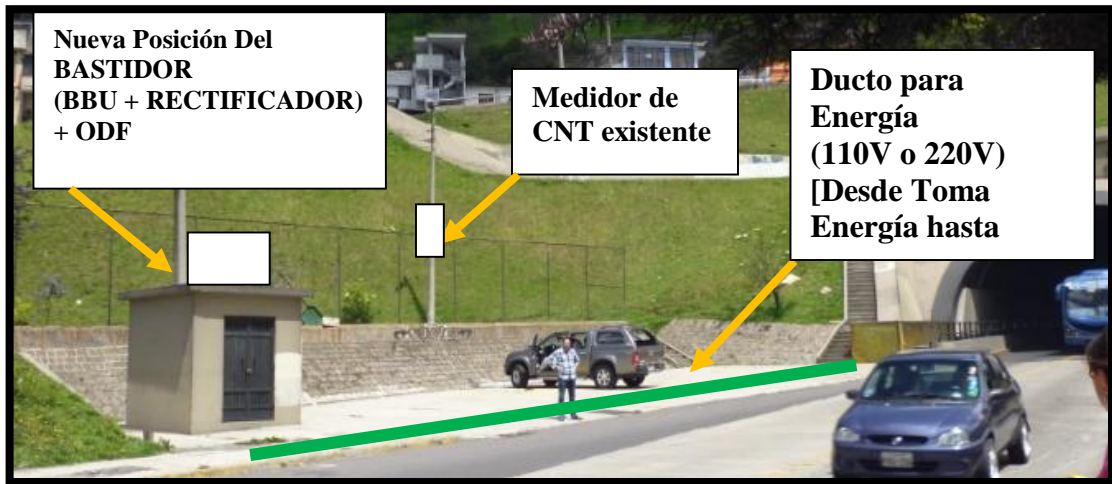


Figura 25 Reubicación de Bastidor sobre caseta existente
Fuente: Elaborado por autor

✓ Trasmisión (Fibra Óptica)

Se deberá solicitar a CNT el cambio del ODF a la nueva posición del Bastidor (Sobre Caseta Existente (Extremo NORTE del Túnel San Juan)).



Figura 26 Nueva ubicación de Bastidor
Fuente: Elaborado por autor

✓ Sistema radiante y Configuración de RF

El sistema Radiante (2 RRU y 1 Antena Panel Dual de 45°) se sugiere implementar en el Poste frente a la Entrada de los Túneles.

Para la configuración de los equipos de radiofrecuencia se decidió que se lo realizaría en un poste ubicado en el ingreso de la zona norte de los túneles de San Juan

ya que así se podría cubrir directamente desde el ingreso Norte hacia el ingreso Sur en ambos sentidos ya que según el Drive Test Inicial realizado indica que existe deficiencia de cobertura los 200m en el extremo norte de los túneles.

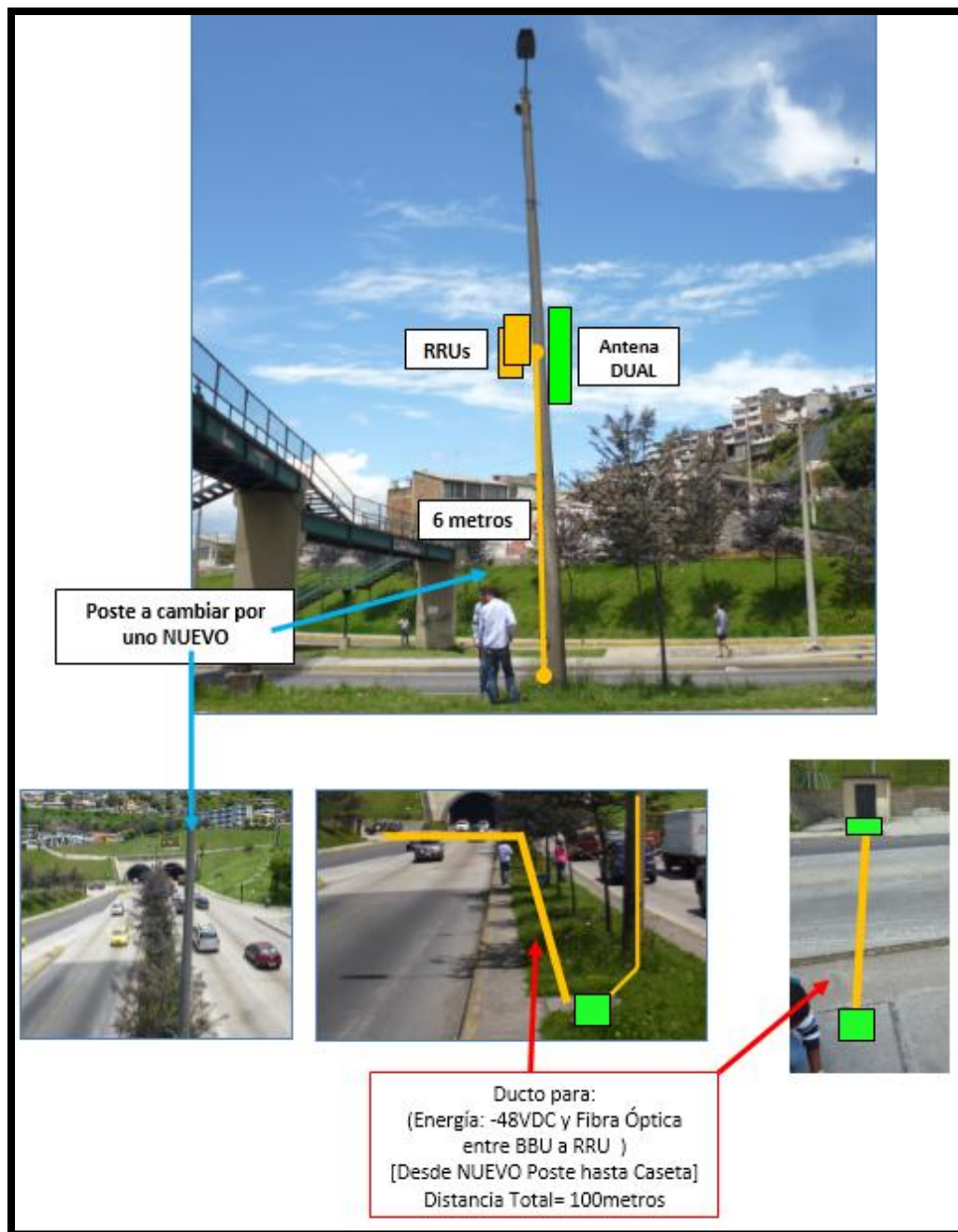


Figura 27 Configuración de RF
Fuente: Elaborado por autor

Al analizar las dos soluciones 3G/LTE se puede hacer una comparación para determinar cuál sería la mejor dentro de las implicaciones técnicas y modificaciones en el espacio físico donde se pretende instalar dicha solución.

El análisis realizado a estas soluciones 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.

Tabla 9 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

Fuente: Elaborado por autor

Según los parámetros analizados en la tabla 9 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 la estación 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.

3.4. 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.

3.4.1. Elección de distancia entre túnel – poste y altura de antenas

Para determinar la altura de la antena se realizó un análisis de la zona con falencias de cobertura, infraestructura y ubicación del sistema radiante perteneciente a la solución eRelay Small Cell.

Para poder determinar la ubicación exacta de la solución eRelay se analizaron 3 posibles ubicaciones de la solución radiante, en 3 longitudes diferentes 100, 150 y 200 m, estas distancias fueron analizadas entre las 4 áreas funcionales de Huawei ya que mucho depende de las tomas de energía existentes en el sector y de la estructura donde se pueda instalar sin mayor dificultad.

Se empezó a analizar a partir de los 100 m puesto que a distancias menores existen soluciones de telefonía de otras operadoras ya instaladas (50 m) y no era factible instalar postes puesto que los permisos llevan trámites a largo plazo.

En la figura 28 se puede visualizar que a distancias menores no se cuenta con una infraestructura existente para instalar equipos y que a los 50m ya existe instalada una solución de otra operadora.



Figura 28 Vista a distancias menores de 100m desde los túneles
Fuente: Elaborado por autor

A una distancia de 150 m está instalado un sistema de vigilancia y ya existe la obstrucción del puente peatonal (figura 29) y lo más importante ya no tiene línea de vista óptima por la distancia lo que complicaría la penetración del lóbulo de radiación principal en los túneles.

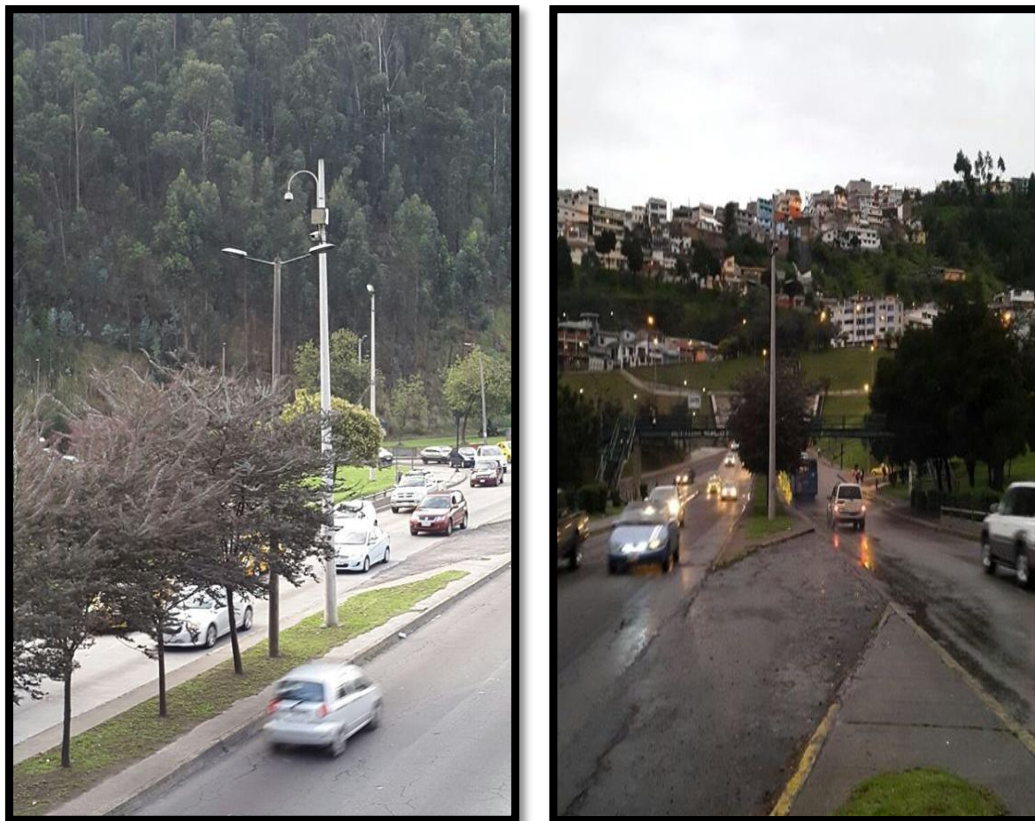


Figura 29 Vista a una distancia de 150m desde los túneles
Fuente: Elaborado por autor

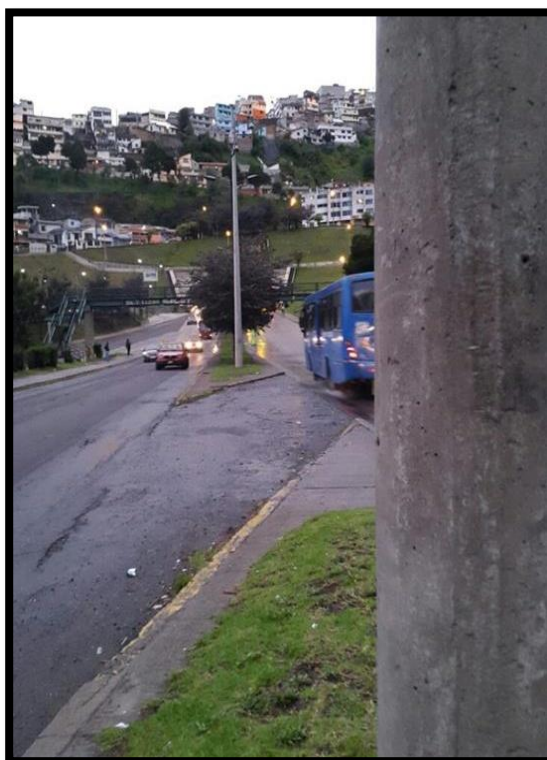


Figura 30 Vista a una distancia de 200m desde los túneles
Fuente: Elaborado por autor

A una distancia de 200 m, figura 30, se pierde completamente la línea de vista directa con los túneles y existen obstrucciones tanto de árboles como la del puente peatonal por lo tanto se determinó que a 100 m es la distancia adecuada para la instalación de la solución eRelay puesto que descarta la obstrucción del puente peatonal y la gran ventaja es que existe la infraestructura de un poste ya instalado y cuenta con línea de vista directa hacia la boca de los túneles. En la figura 31 se puede ver con mayor claridad lo antes explicado.

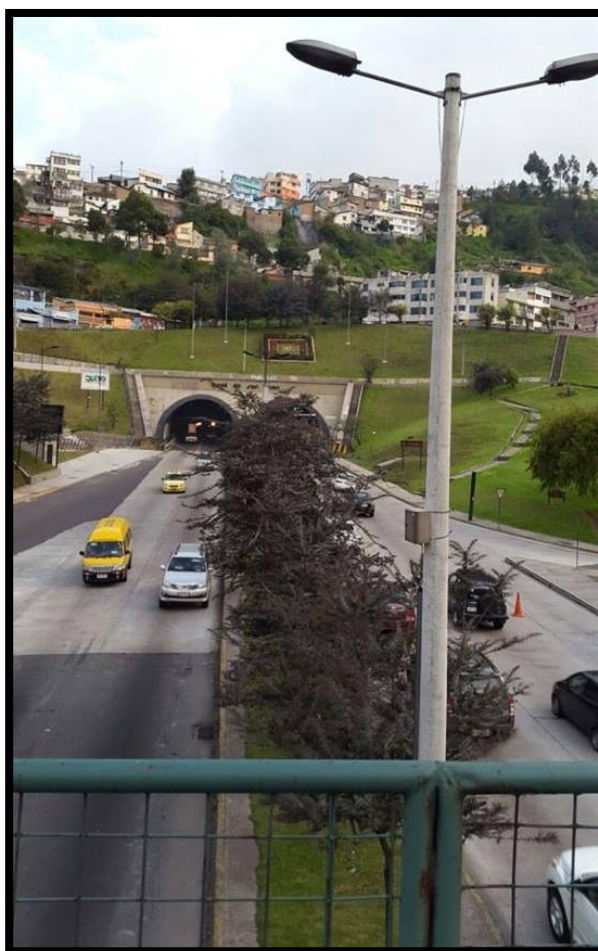


Figura 31 Vista a una distancia de 100m desde los túneles
Fuente: Elaborado por autor

La zona con problemas de cobertura se encuentra en la entrada norte de los túneles de San Juan (los primeros 200 m como se pudo comprobar en el Drive Test inicial realizado) los mismos que tienen una altura de 6 m como se visualiza en la figura 32, por lo que se determinó en campo que la ubicación idónea para la antena que se colocará en un poste a 100 m de los túneles de San Juan es a una altura no mayor a la altura total del túnel es decir a 6 m.

Desde la ubicación propuesta visualizada en la figura 33 se puede determinar que se tiene línea de vista directa hacia la entrada del túnel, lo cual permite garantizar que el lóbulo frontal de radiación se propague hacia la entrada del túnel y no se vea atenuado por diferentes obstrucciones que se encuentren en la zona.



Figura 32 Altura túneles de San Juan
Fuente: Elaborado por autor

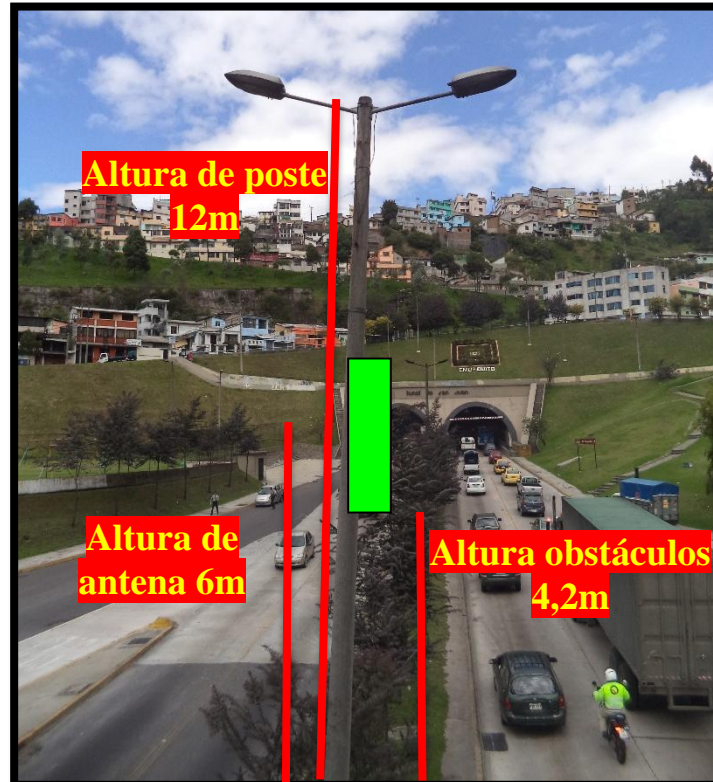


Figura 33 Altura de obstáculos frente a poste
Fuente: Elaborado por autor

La torre que se encuentra en la estación San Juan es el punto más alto de este sector y el lugar donde fácilmente se puede colocar los equipos para la transmisión de la solución en estudio. De igual manera, para la ubicación de la antena que se pretende instalar en la torre de la estación San Juan se realiza una inspección técnica ya que se necesita saber si desde este punto se tiene línea de vista directa con el poste donde se va a instalar la solución eRelay, el objetivo de instalar esta antena es para que la eRelay BS tenga comunicación con la RRN, este equipo se encarga de la transmisión PMTP desde el poste hasta la estación San Juan, a pesar de que la RRN no necesita línea de vista es preciso tenerla porque así existe una comunicación directa entre el nodo remoto y la eRelay BS.



Figura 34 Altura de antena en estación San Juan
Fuente: Elaborado por autor

Mediante una visita de campo se determina que la ubicación idónea para esta antena es a una altura de 22m (figura 34) ya que desde la ubicación propuesta visualizada en la figura 35 se puede deducir que tiene línea de vista directa hacia el poste donde se encuentra el nodo remoto Small Cell, lo cual permite garantizar que el lóbulo frontal de radiación se propague hacia la RRN y no se vea atenuado por diferentes obstrucciones que se encuentren en la zona y de esta manera exista una transmisión exitosa sin pérdidas durante la trayectoria.



Figura 35 Línea de vista directa desde la Antena de la estación San Juan hasta la RRN ubicada en el poste del sistema radiante.

Fuente: Elaborado por autor

3.4.2. Azimuth

El valor del azimut 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. 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 36.

Tabla 10 Coordenadas para cálculo de azimuth

Coordenadas	Coordenadas
Poste radiante	Túneles
LATITUD:	LATITUD:
S 0° 12'25.85''	S 0° 12'28.45''
LONGITUD:	LONGITUD:
W 78° 30'45.23''	W 78° 30'46.08''

Fuente: GPS

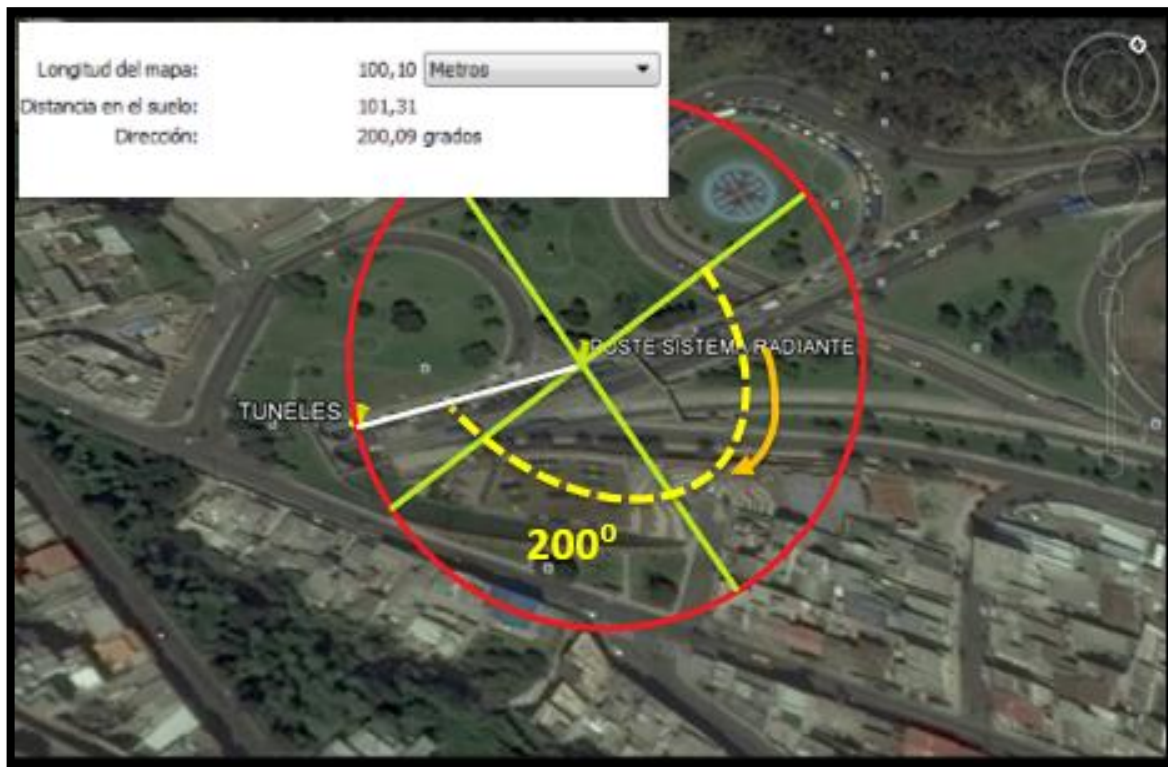


Figura 36 Ángulo de azimut de antena del poste del sistema radiante
Fuente: Elaborado por autor

El mismo procedimiento se realiza para el cálculo de azimuth de la RRN que va dirigida hacia la estación San Juan. Obtenemos las coordenadas de la estación San Juan y del poste radiante como indica la tabla 11.

Tabla 11 Coordenadas para cálculo de azimuth

Coordenadas Poste radiante	Coordenadas Estación San Juan
LATITUD: S 0° 12'25.85''	LATITUD: S 0° 12'39.3''
LONGITUD: W 78° 30'45.23''	LONGITUD: W 78° 30'51.4''

Fuente: GPS



Figura 37 Ángulo de azimut de RRN del poste del sistema radiante en dirección a la estación San Juan
Fuente: Elaborado por autor

El ángulo medido es de la RRN ubicada en el poste del sistema radiante, este equipo se encuentra en dirección a la estación San Juan y es de 206° como se puede visualizar en la figura 37.

De igual forma se realiza para el cálculo de azimuth de la antena de la estación San Juan que va dirigida hacia la RRN del poste del sistema radiante. Con las mismas coordenadas ya obtenidas anteriormente se realiza el cálculo.

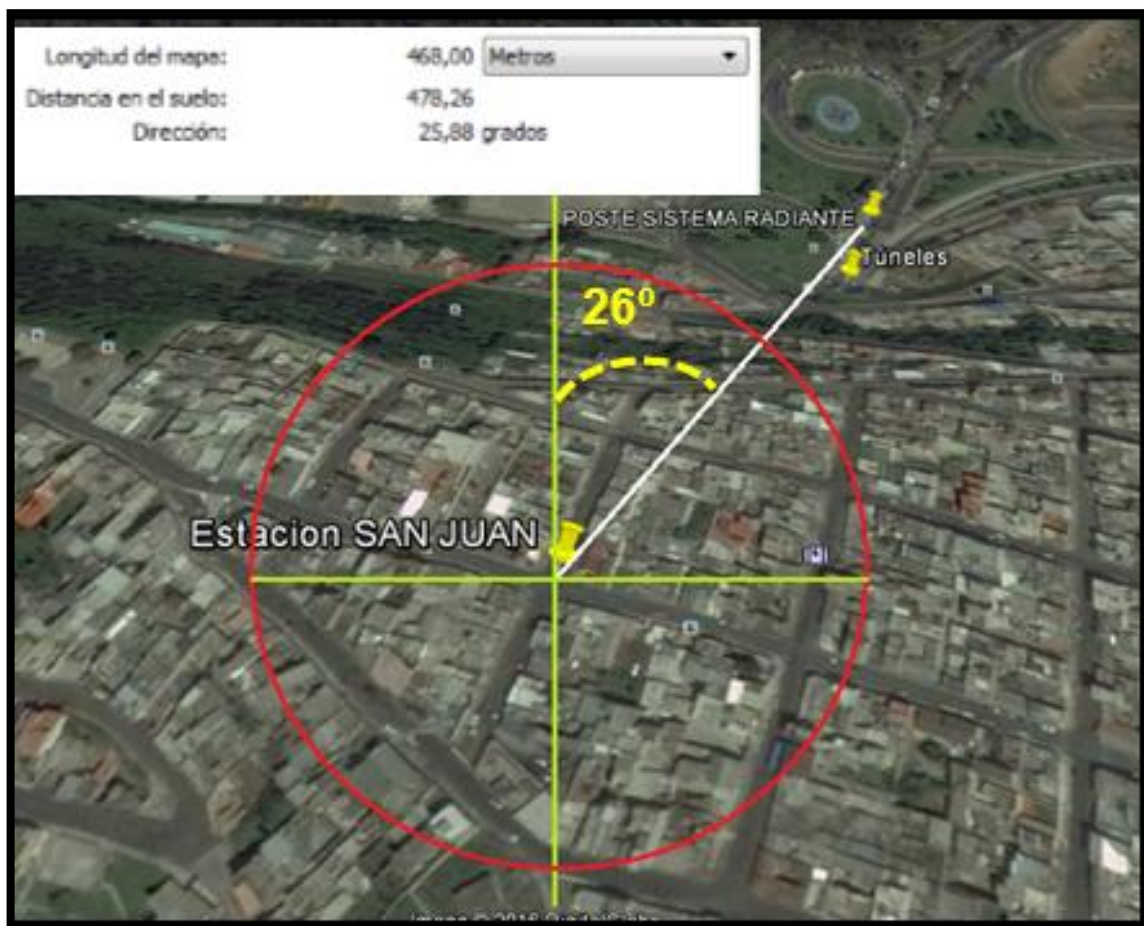


Figura 38 Ángulo de azimut de antena de la estación San Juan
Fuente: Elaborado por autor

El ángulo de azimuth medido es de la antena que se encuentra en la estación San Juan y está en dirección a la RRN del poste del sistema radiante y es de 26° como se puede visualizar en la figura 38.

3.4.3. Inclinación mecánica e Inclinación eléctrica de las antenas

Uno de los principales parámetros para el ajuste de antenas es la inclinación de las mismas con relación al eje horizontal, debido a que ayuda a delimitar el radio de la celda reduciendo así la interferencia entre celdas.

Al variar la inclinación la energía se está concentrando en una nueva dirección. Existen dos tipos de inclinaciones; si la antena está inclinada hacia abajo se la llama downtilt; ésta es la más común para enlaces de telefonía móvil, y cuando la antena se

encuentra inclinada hacia arriba, se llama uptilt. En la figura 11 se muestra de forma gráfica de cómo afecta la inclinación de la antena.

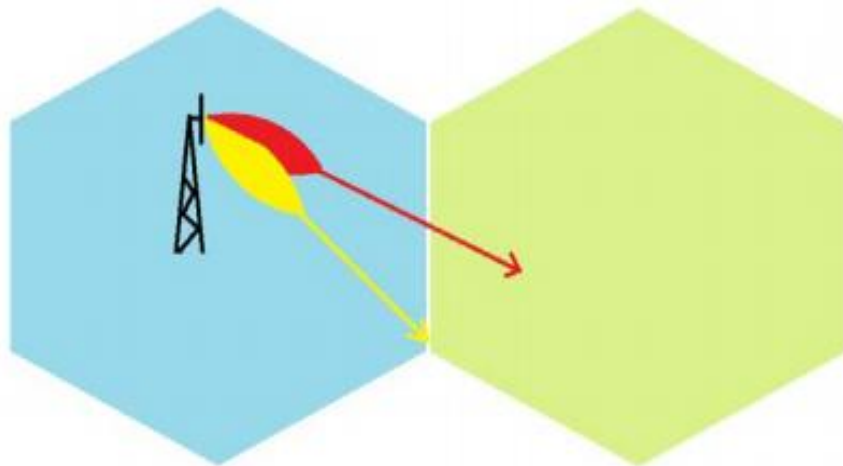


Figura 39 Variación de la inclinación de la antena.

Fuente: Recuperado de <http://www.telecomhall.com/es/que-es-tilt-electrico-y-mecanico-de-la-antena-y-como-lo-usa.aspx>

3.4.3.1. Downtilt

Representa el ángulo de inclinación hacia abajo de la antena en relación con el eje en el que fue instalada. El tilt se utiliza cuando queremos reducir las interferencias y / o cobertura, de manera que cada célula sólo cumple con su área proyectada. Existen dos tipos de tilt: tilt eléctrico y tilt mecánico.

El tilt eléctrico se obtiene de la modificación de la fase de la señal de cada elemento de la antena, puede ser un valor fijo o variable, el ajuste se lo puede hacer manual o remotamente a través de un accesorio (perno con marcas), su aplicación produce que el área de cobertura sufra una reducción uniforme en la ganancia.

El tilt mecánico indica la inclinación de la antena mediante accesorios propios de la misma sin cambiar la fase de la señal de entrada, su aplicación reduce el área de cobertura en dirección central, pero el área de cobertura en las direcciones laterales son mayores.

Para tener más claro se muestra en la figura 12 el diagrama de irradiación horizontal a una antena con apertura horizontal de 65 grados para así entender de mejor manera cómo cada tipo de tilt afecta el resultado final en cobertura.

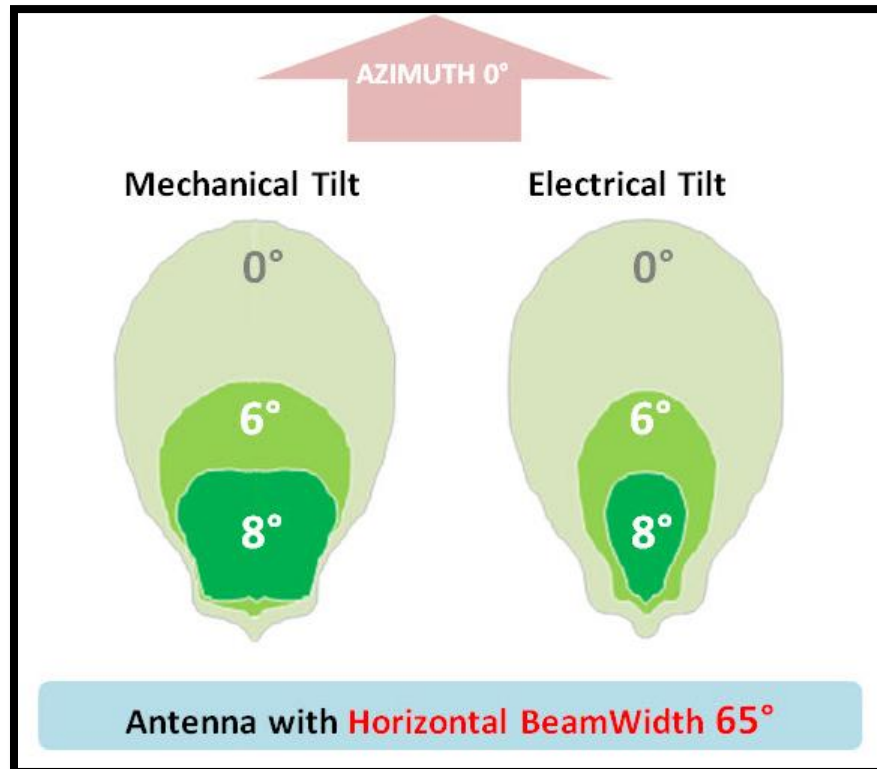


Figura 40 Ejemplo de modificación de Tilt Mecánico y Tilt Eléctrico

Fuente: Recuperado de <http://www.telecomhall.com/es/que-es-tilt-electrico-y-mecanico-de-la-antena-y-como-lo-usa.aspx>

3.4.3.1.1. 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.

$$\begin{aligned} \text{Tang}(a) &= \frac{b}{d} \\ a &= \text{ArcTang}\left(\frac{b}{d}\right) \\ a &= c \end{aligned}$$

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)

A continuación se realizará el cálculo de tilt mecánico tanto para la antena del sistema radiante del poste y la antena que se ubicará en la torre de la estación San Juan:

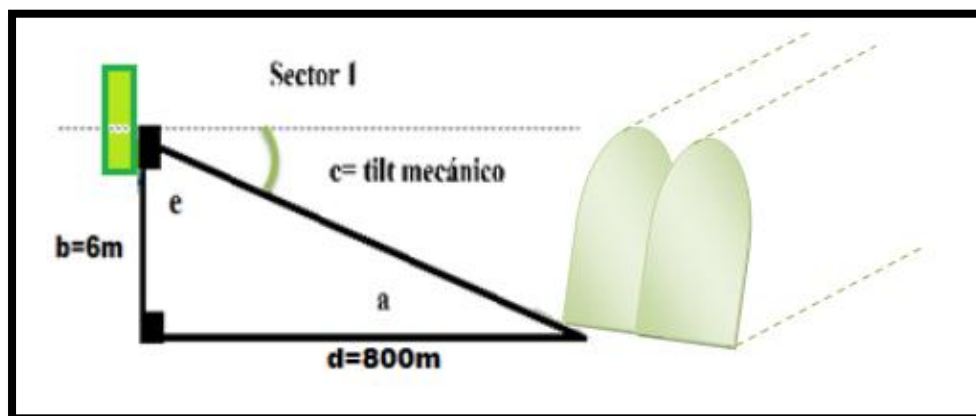


Figura 41 Cálculo de Tilt mecánico en antena del poste del sistema radiante.
Fuente: Elaborado por autor

$$a = \text{ArcTang}\left(\frac{6}{800}\right)$$

$$a = 0.43 \text{ grados}$$

$$\Sigma \text{Ángulos internos} = 180 \text{ grados}$$

$$90 + 0.43 + e = 180$$

$$e = 180 - 90 - 0.43$$

$$e = 89.57 \text{ grados}$$

$$\Sigma(e + c) = 90 \text{ grados}$$

$$89.57 + c = 90$$

$$c = 90 - 89.57$$

$$c = \mathbf{0.43 \text{ grados}}$$

Por lo tanto:

$$a = c$$

$$c = \mathbf{0.43 \text{ grados}}$$

El valor de tilt mecánico para la antena que se ubicará en el poste es calculado matemáticamente y da un valor de 0.43 grados, el valor que se toma en cuenta para las predicciones es de 0 grados.

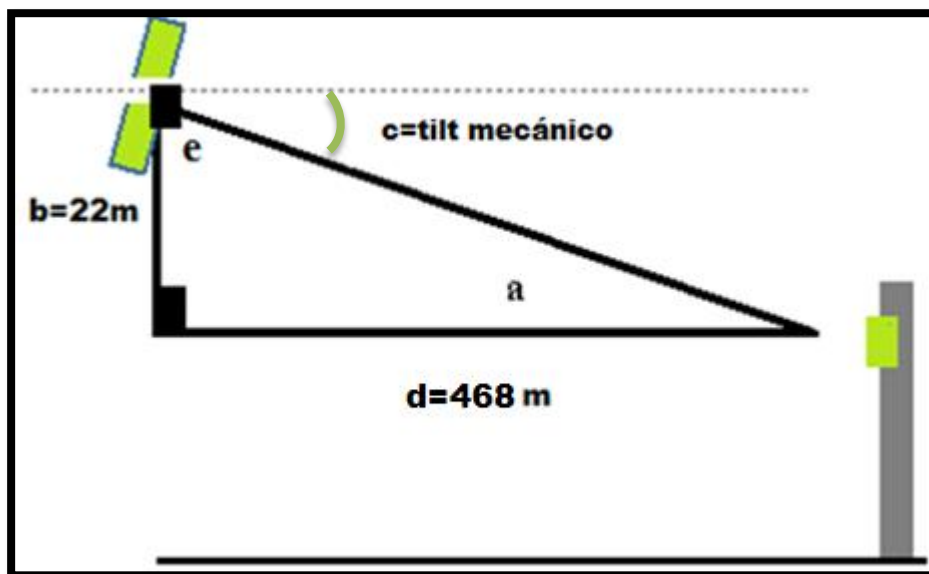


Figura 42 Cálculo de Tilt mecánico de la antena ubicada en la torre de la estación San Juan.
Fuente: Elaborado por autor

$$a = \text{ArcTang}\left(\frac{22}{468}\right)$$

$$a = 3 \text{ grados}$$

$$\Sigma \text{Ángulos internos} = 180 \text{ grados}$$

$$90 + 3 + e = 180$$

$$e = 180 - 90 - 3$$

$$e = 87 \text{ grados}$$

$$\Sigma(e + c) = 90 \text{ grados}$$

$$87 + c = 90$$

$$c = 90 - 87$$

$$c = 3 \text{ grados}$$

Por lo tanto:

$$a = c$$

$$c = 3 \text{ grados}$$

3.4.3.1.2. 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. A continuación se realizará el cálculo de tilt eléctrico tanto para la antena del sistema radiante del poste y la antena que se ubicará en la torre de la estación San Juan:

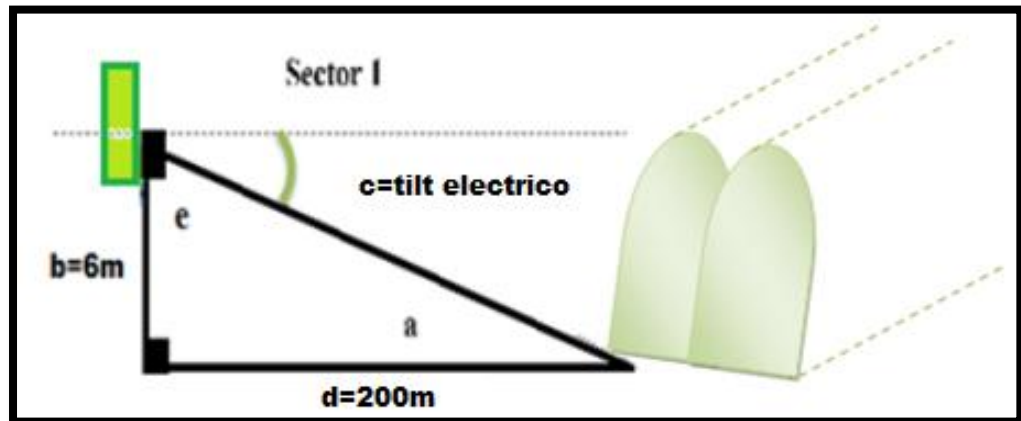


Figura 43 Cálculo de Tilt eléctrico de la antena ubicada en el poste del sistema radiante.
Fuente: Elaborado por autor

$$a = \text{ArcTang}\left(\frac{6}{200}\right)$$

$$a = 2 \text{ grados}$$

$$\Sigma \text{Ángulos internos} = 180 \text{ grados}$$

$$90 + 2 + e = 180$$

$$e = 180 - 90 - 2$$

$$e = 88 \text{ grados}$$

$$\Sigma(e + c) = 90 \text{ grados}$$

$$88 + c = 90$$

$$c = 90 - 88$$

$$c = 2 \text{ grados}$$

Por lo tanto:

$$a = c$$

$$c = 2 \text{ grados}$$

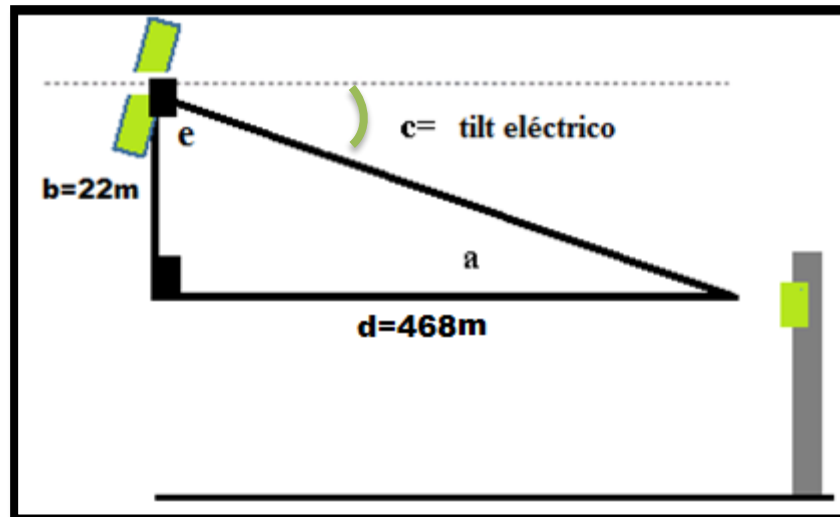


Figura 44 Cálculo de Tilt eléctrico de la antena ubicada en la torre de la estación San Juan.
Fuente: Elaborado por autor

$$a = \text{ArcTang}\left(\frac{22}{468}\right)$$

$$a = 3 \text{ grados}$$

$$\Sigma \text{Ángulos internos} = 180 \text{ grados}$$

$$90 + 3 + e = 180$$

$$e = 180 - 90 - 3$$

$$e = 87 \text{ grados}$$

$$\Sigma(e + c) = 90 \text{ grados}$$

$$87 + c = 90$$

$$c = 90 - 87$$

$$c = 3 \text{ grados}$$

Por lo tanto:

$$a = c$$

$$c = 3 \text{ grados}$$

3.4.4. Presupuesto de Enlace (Link Budget) y Planeación de cobertura

3.4.4.1. 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).

A continuación se enumeran los modelos más usados en sistemas móviles:

- ✓ Modelo Cost-Hata 231
- ✓ Modelo de propagación estándar SPM
- ✓ Modelo Okumura - Hata

3.4.4.1.1. Modelo Cost-Hata 231

Este modelo de propagación se puede utilizar en células macro, el campo de aplicación es la siguiente como lo menciona (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011):

- ✓ Banda de frecuencia: 1500 MHz a 2000 MHz.
- ✓ Altura de la estación base: 30m a 200m. La estación base debe ser superior a los edificios circundantes.
- ✓ Altura de la antena terminal: 1 metro a 10 metros.
- ✓ Distancia entre el transmisor y el receptor: 1 km hasta 20 km.

El modelo Cost-Hata 231 se puede expresar mediante la ecuación 2 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011):

$$Total = L - a(Hss) + Cm$$

$$L = 46.3 + 33.9 \times \lg(f) - 13.82 \times \lg(HBS) + (44.9 - 6.55 \times \lg(HBS)) \times \lg(d) \quad (2)$$

Cuando, f indica la frecuencia de trabajo del sistema, la unidad es MHz. HBS indica la altura de la antena de la estación base, la unidad es m. HSS indica la altura de la antena del terminal, la unidad es m, d indica la distancia entre el terminal y la estación base, la unidad es km. $a(Hss)$ indica la función de la ganancia terminal, esta función está relacionada con la altura de la antena y la frecuencia de trabajo del terminal y el medio ambiente. El valor de Cm depende del tipo de terreno. Los valores de Cm en el estándar Cost-Hata 231 son los siguientes (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011):

- ✓ En grandes ciudades: $Cm = 3$ (se define como ciudad urbana grande)
- ✓ En ciudades medianas: $Cm = 0$ (se define como ciudad urbana pequeña)
- ✓ En las zonas suburbanas: $Cm = -2 (\log (f / 28)) ^ 2 - 5.4\text{dB}$ (se define como ciudad suburbana)
- ✓ En las zonas rurales abiertas: $Cm = -4,78 \times (\lg (f)) ^ 2 + 18.33 \times \lg (f) - 40.94$
- ✓ En autopistas: $Cm = -4,78 \times (\lg (f)) ^ 2 + 18.33 \times \lg (f) - 35.94$

3.4.4.1.2. Modelo de propagación estándar (SPM)

El modelo de propagación estándar es un modelo que se deduce a partir de la fórmula del modelo Hata, 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 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011), se basa en la ecuación 3:

$$P_R = P_{Tx} + G_{Tx} - (K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(H_{T_{\text{reff}}}) + K_4 \text{Diffraction nLoss} + K_5 \log(d) \log(H_{T_{\text{reff}}}) + K_6 H_{R_{\text{reff}}} + K_7 \log(H_{R_{\text{reff}}}) + K_{\text{clutter}f}(\text{clutter}) + K_{\text{hill,LOS}} \quad (3)$$

Donde:

- ✓ P_R : Potencia recibida (dBm)
- ✓ G_{Tx} : Ganancia de la Antena (dBi)

- ✓ P_{Tx} : Potencia transmitida (EIRP) (dBm)
- ✓ K_1 : Constante offset (dB)
- ✓ K_2 : Factor multiplicador para $\log(d)$
- ✓ d : Distancia entre el receptor y el transmisor (m)
- ✓ K_3 : Factor multiplicador para $\log(H_{Txeff})$
- ✓ H_{Txeff} : Altura efectiva de la antena transmisora (m)
- ✓ K_4 : Factor multiplicador para cálculos de difracciones, K_4 debe ser un número positivo
- ✓ ***Diffraction nLoss***: Pérdidas por difracción y obstrucciones en la propagación (dB)
- ✓ K_5 : Factor multiplicador para $\log(d) \log(H_{Txeff})$
- ✓ K_6 : Factor multiplicador para H_{Rxeff}
- ✓ K_7 : Factor multiplicador para $\text{Log}(H_{Rxeff})$
- ✓ H_{Rxeff} : Altura de la antena móvil o antena receptora (m)
- ✓ $K_{clutter}$: Factor multiplicador para $f(clutter)$
- ✓ $f(clutter)$: Pérdida efectiva para el clutter.
- ✓ $K_{hill,LOS}$: Factor de corrección para las regiones montañosas (= 0 en caso de NLOS)

Este modelo utiliza el perfil del terreno, los mecanismos de difracción y tiene en cuenta las clases de ocupación del suelo (Clutter) y las alturas efectivas de las antenas con el fin de calcular la pérdida de trayectoria.

La precisión del modelo SPM se basa generalmente en torno a la modificación de factores K_n , los cuales están definidos por la herramienta de predicción GNEX U-net y ayudan a acercar el modelo a la realidad, la tabla 12 muestra algunos posibles valores para las constantes utilizadas en la fórmula del modelo SPM. (Forks, Febrero 2011)

Tabla 12 Valores de factores multiplicativos SPM (Urbano).

Parámetros	Mínimo	Valor Típico	Máximo
K1	Variable	Variable	Variable
K2	20	44.9	70
K3	-20	5.83	20
K4	0	0.5	0.8
K5	-10	-6.55	0
K6	-1	0	0
K7	-10	0	0

Fuente: Recuperado de Measurements and Model Calibration Guide, Forks, 2011

Donde:

- ✓ K1 es una constante que depende de la frecuencia de radio (tabla 13).
- ✓ K2 indica el estado de K1 y K2 en la línea de vista.
- ✓ K3 indica un coeficiente relacionado con la altura efectiva del transmisor.
- ✓ K4 indica un coeficiente relacionado con la pérdida de difracción.
- ✓ K5 indica un coeficiente relacionado con la distancia de propagación y la altura efectiva del transmisor.
- ✓ K6 indica un coeficiente relacionado a la altura del receptor.
- ✓ Kclutter indica un coeficiente relacionado con la pérdida de clutter.

Se recomienda ajustar K6 en 0 y utilizar K7 en lugar de K6. K6 es un coeficiente multiplicativo en dB, lo que significa que ligeras variaciones en K6 tienen un impacto considerable en la pérdida de trayectoria. K1 es una constante y su valor depende de la frecuencia de radio. Su valor tiene gran influencia en los valores dados a las pérdidas de clutter como se puede ver en la tabla 13 y tabla 14.

Tabla 13 Constante K1 depende de la frecuencia de operación.

Frecuencia (MHz)	K1
935	12.5
1805	22
1930	23
2110	23.8

1900	23
2300	24.7
2500	25.4
2700	26.1
3300	27.8
3500	28.3

Fuente: Recuperado de Measurements and Model Calibration Guide, Forks, 2011

Tabla 14 Descripción de las pérdidas de clutter.

Pérdidas de Clutter	fclutter
Denso Urbano	4 a 5
Bosque	2 a 3
Urbano	0
Suburbano	-5 a -3
Industrial	-5 a -3
Abierto en zonas urbanas	-6 a -4
Abierto	-12 a -10
Agua	-14 a -12

Fuente: Recuperado de Measurements and Model Calibration Guide, Forks, 2011

El promedio de las pérdidas de clutter, f (clutter), se define mediante la ecuación 4 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011):

$$f(\text{clutter}) = \sum_{i=1}^n L_i X W_i$$

(4)

Donde:

L: pérdida debido a clutter

W: peso

n: número de puntos que se toman en cuenta sobre el perfil

Para determinar cuál es la ganancia de transmisión se recomienda utilizar antenas direccionales doblemente polarizadas de 65° de 18 dBi tanto para las estaciones base que se distribuyen en áreas urbanas densamente pobladas y áreas urbanas comunes. Las

antenas direccionales de 90° o 65° se pueden utilizar para las estaciones base en las zonas suburbanas. Se recomienda que antenas omnidireccionales de 11 dBi se utilicen para zonas rurales, especialmente en los pueblos aislados. Las antenas de anchura de haz horizontal de 33° se pueden utilizar para la cobertura en carreteras, la ganancia de este tipo de antenas puede llegar a 21 dBi, lo que ayuda a aumentar la cobertura de radio. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011)

3.4.4.1.3. Modelo Okumura-Hata

Este modelo de propagación fue basado en un extensivo plan de mediciones tomadas por Okumura en la ciudad de Japón. Hata proporciona ecuaciones que describen los datos recolectados por Okumura, los cuales fueron procesados y presentados en formato gráfico.

El modelo Hata como lo menciona (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011) es válido para:

- ✓ 150 MHz a 1500 MHz.
- ✓ Altura de la antena del dispositivo móvil entre 1m y 10m.
- ✓ Altura de la antena de la estación celular entre 30m a 200m.
- ✓ Antena de la estación celular bien definida en un tipo de clutter.
- ✓ Radio de la celda entre 1km y 20km.

Existen 4 tipos de morfologías (clutter) de terreno que se usan dentro del modelo Hata:

- ✓ **Denso Urbano:** Urbano denso, morfología de ciudad, típicamente contiene edificios, centros de negocios, altos rascacielos, crecimiento notable en la construcción de edificios conteniendo una alta densidad de abonados.
- ✓ **Urbano:** Urbano, pesadamente construido, abarrotado con edificios medianamente altos, multifamiliares, residencias, muchas casa, largas villas con poca densidad de bosques y una población medianamente instalada.
- ✓ **Suburbano:** Suburbano, compuesto de villas, carreteras o autopistas con pocas casas, pequeños edificios y árboles con un volumen de población mínimo.

- ✓ **Rural:** Rural, pocos obstáculos como árboles o pequeños edificios para el camino de la propagación de la señal, con claras áreas entre 300 a 400 m libres o de campo abierto.

Fórmula del modelo Hata para áreas urbanas:

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log(h_B) - C_H + [49.9 - 6.55 \log h_B] \log d \quad (5)$$

Para pequeñas y medianas ciudades:

$$C_H = 0.8 + (1.1 \log f - 0.7)h_M - 1.56 \log f \quad (6)$$

Para grandes ciudades:

$$\begin{aligned} C_H &= 8.29(1.1 \log(1.54h_M))^2 - 1.1, & \text{si } 150 \leq f \leq 200 \\ C_H &= 3.2(1.1 \log(11.75h_M))^2 - 4.97, & \text{si } 200 < f \leq 1500 \end{aligned} \quad (7)$$

Donde:

L_u = Pérdida de trayecto en áreas urbanas (dB)

h_B = Altura de la estación base (m)

h_M = Altura de la antena del UE (m)

f = frecuencia de transmisión (MHz)

C_H = Factor de Corrección de la altura de la antena

d = Distancia entre la estación base y el UE (Km)

Una vez analizados todos los modelos se elige 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. En la figura 17 muestra el recorrido con los niveles de señal recolectados en los túneles.

3.4.4.1.4. Cálculo para encontrar la potencia de transmisión del canal CPICH para los túneles de San Juan mediante el modelo SPM.

P_R : nivel que garantiza el servicio 3G que es de -85 a -95

G_{Tx} : 18 dBi

K_1 : 23 dB

K_2 : 44.9 dB

d : 800m (distancia de cobertura máxima)

K_3 : 5.83 dB

$H_{Tx\text{eff}}$: 6m

K_4 : 0.4 dB

Diffraction nLoss: 0 (=1 de existir área densamente construida)

K_5 : -6.55 dB

K_6 : 0

K_7 : 0

$H_{Rx\text{eff}}$: 2(m

$K_{clutter}$: 1

$f(clutter)$: 0

$K_{hill,LOS}$: 0

De la ecuación 3, despejamos P_{Tx} y se tiene:

$$P_{Tx} = P_{Rx} - G_{Tx} + (K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(H_{T_{xeff}}) + K_4 \text{Diffraction } nLoss + K_5 \log(d) \log(H_{T_{xeff}}) + K_6 H_{R_{xeff}} + K_7 \log(H_{R_{xeff}}) + K_{clutter} f(clutter) + K_{hill,LOS}$$

Reemplazando los valores,

$$P_{Tx} = -90 - 18 + (23 + 44.9 \log(800) + 5.83 \log(6) + 0.5 (0) - 6.55 \log(800) \log(6) + 0 (2) + 0 \log(2) + 1 (0) + 0)$$

$$P_{Tx} = -90 - 18 + (23 + 130.35 + 4.54 + 0 - 14.8 + 0 + 0 + 0 + 0)$$

$$P_{Tx} = -90 - 18 + 143.09$$

$$P_{Tx} = \mathbf{35.09 \text{ dBm}}$$

✓ Convirtiendo de dBm a Watts:

$$P(W) = 1W \cdot 10^{(P(\text{dBm}) / 10)} / 1000 \quad (8)$$

Reemplazando los valores,

$$P(W) = 1W \cdot 10^{(35.09 / 10)} / 1000$$

$$P(W) = 1W \cdot 10^{(35.09 / 10)} / 1000$$

$$P(W) = 1W \cdot 3228.49 / 1000$$

$$P(W) = 3228.49 / 1000$$

$$P(W) = \mathbf{3.228 \text{ W}}$$

Una vez realizados los cálculos y obteniendo resultados quiere decir q con la configuración y perdidas establecidas se tendrá en la zona una potencia de transmisión de 35.09dBm o en su caso 3.228W que es la potencia de transmisión del canal CPICH con la que se trabajará para la predicción de la solución eRelay Small Cell.

3.4.4.1.5. 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

Para la potencia del canal CPICH que se calculó en el modelo de propagación SPM tenemos;

$$\text{CPICH} = 3.228 \text{ W} - 35.09 \text{ dBm}$$

Entonces;

- ✓ MaxTxPotencia= $3.228 \text{ W} \cdot 10 = 32.28 \text{ W}$
- ✓ Convirtiendo de Watts a dBm:

$$\text{MaxTxPotencia(dBm)} = 10 \cdot \log_{10}(1000 \cdot P(W) / 1W) \quad (9)$$

Reemplazando los valores,

$$\text{MaxTxPotencia(dBm)} = 10 \cdot \log_{10}(1000 \cdot 32.28 / 1W)$$

$$\text{MaxTxPotencia(dBm)} = 10 \cdot \log_{10}(1000 \cdot 32.28 / 1W)$$

$$\text{MaxTxPotencia(dBm)} = 45.09\text{dBm}$$

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.

3.4.4.2. 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.

3.4.4.2.1. Potencia de transmisión o CPICH

Los diseñadores de telefonía móvil terminal han estandarizado la potencia en 4 niveles de potencias: 33dBm, 27dBm, 24dBm y 21dBm. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011) Pero en este caso la potencia de transmisión utilizada es de 35.09 dBm según los cálculos realizados en el ítem 3.4.6.1.5.

3.4.4.2.2. Ganancia de la Antena de Receptor

La ganancia de la antena del teléfono varía según el modelo del teléfono por lo tanto no es un standard, esta ganancia casi siempre se la descarta por lo tanto se la determina como 0dBm. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011)

3.4.4.2.3. Ganancia de la Antena de Transmisor

La ganancia de la antena cuantifica el grado en el cual una antena transmite la potencia de entrada. La ganancia de la antena se calcula con la ecuación 10:

$$G(Tx) = 10 \log\left[\frac{32000}{(A * B)}\right] \quad (10)$$

Donde:

G_{Tx} : Ganancia de la antena Transmisora (dBi)

A : 200°, Ancho de haz horizontal con respecto al ángulo de Azimuth (°)

B : tiltmec=0, tiltelec=2, Ancho de haz vertical con respecto a los Tilts configurados (°)

Reemplazando:

$$G(Tx) = 10 \log\left[\frac{32000}{(200 * (0 + 2))}\right]$$

$$\mathbf{G(Tx) = 19 dBi; Antena poste sistema radiante}$$

Donde:

G_{Tx} : Ganancia de la antena Transmisora (dBi)

A : 26°, Ancho de haz horizontal con respecto al ángulo de Azimuth (°)

B : tiltmec=3, tiltelec=3, Ancho de haz vertical con respecto a los Tilts configurados (°)

Reemplazando:

$$G(Tx) = 10 \log\left[\frac{32000}{(26 * (3 + 3))}\right]$$

$$\mathbf{G(Tx) = 23 dBi; Antena estación San Juan}$$

Como se puede apreciar en los cálculos realizados para establecer la ganancia que se necesita para cubrir la zona de cobertura, estima una ganancia mayor a 18dBi, tomando en cuenta que la solución eRelay se encuentra en una zona urbana la ganancia debe ser de 18dBi como lo menciona (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011) acoplándose a la ganancia calculada, por lo tanto la ganancia que se estimará para esta solución es la recomendada por Huawei que es de 18dBi.

3.4.4.2.4. Pérdidas de cables y conectores (L_{BS})

Las pérdidas por cable son causadas por varios elementos que se encuentran conectados en el recorrido desde la antena hacia la estación base involucrando el conector. La pérdida total del cable y conector se reduce en gran medida aproximadamente a 0,5 dB. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011).

3.4.4.2.5. Pérdidas por el cuerpo

La pérdida del cuerpo indica la pérdida generada debido al bloqueo de la señal y la absorción cuando una antena terminal está apegada al cuerpo. Las pérdidas causadas por el cuerpo son consideradas para el servicio de voz y su valor aproximado es de 3 dB. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011)

3.4.4.2.6. Pérdida por penetración

Indica el desvanecimiento de las señales desde un terminal (indoor) hacia una estación base, debido a la obstrucción causada por los edificios. Para que mantener la comunicación normal, la señal debe ser lo suficientemente fuerte.

En el cálculo del link budget, los valores de pérdida de penetración dependen del escenario de cobertura, para el caso de este proyecto se trata de un escenario tipo Urbano, cuyas características se describen a continuación en la tabla 18, tomando un valor de 15dB debido a que no existen edificios que interfieran en la zona de cobertura (túneles).

Tabla 15. Pérdida por penetración para un escenario urbano.

Escenario	Descripción	Pérdida por penetración
Urbano	En este escenario, la altura media de los edificios es de aproximadamente 20 m, estas zonas contienen un cierta cantidad de espacios abiertos y zonas verdes.	15 – 18 dB

Fuente: Recuperado de Lin Guangpu, Dong Fei, Ying Weimin, He Gang and Tan Zhu. (2011) *Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide*.

3.4.4.2.7. Ganancia de Procesamiento

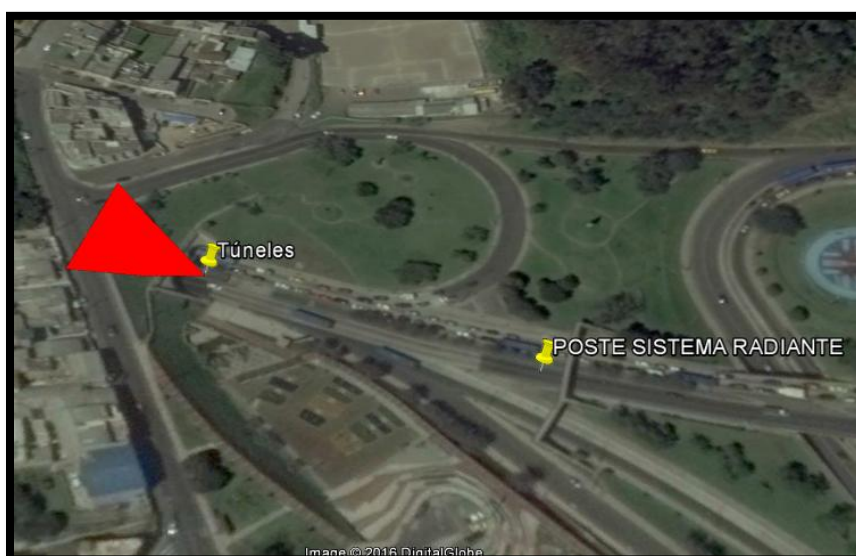
Indica la ganancia obtenida en las pruebas estáticas, verificando el tráfico o Throughput existente en el punto estático con referencia a la boca de los túneles de San Juan.

La Tabla 16 y Figura 45, muestran los puntos seleccionados para las pruebas estáticas así como el resultado de las mismas, estas muestras son referenciadas en el documento RF5 Huawei – CNT.

Tabla 16 Datos Geográficos del Punto Estático

Puntos Estáticos	Referencia	Longitud (°)	Latitud(°)
1	Boca de los túneles de San Juan	78°30'46.08"O	0°12'28.45"S

Fuente: Base de datos Huawei

**Figura 45** Ubicación Geográfica del Punto Estático donde se realizan las pruebas de Throughput

Fuente: Base de datos Huawei

Una vez determinado los puntos estáticos se procede a verificar los valores máximo y promedio del UMTS Throughput obtenido durante el Drive Test Inicial, visualizados en la figura 46 y detallados en la tabla 17.

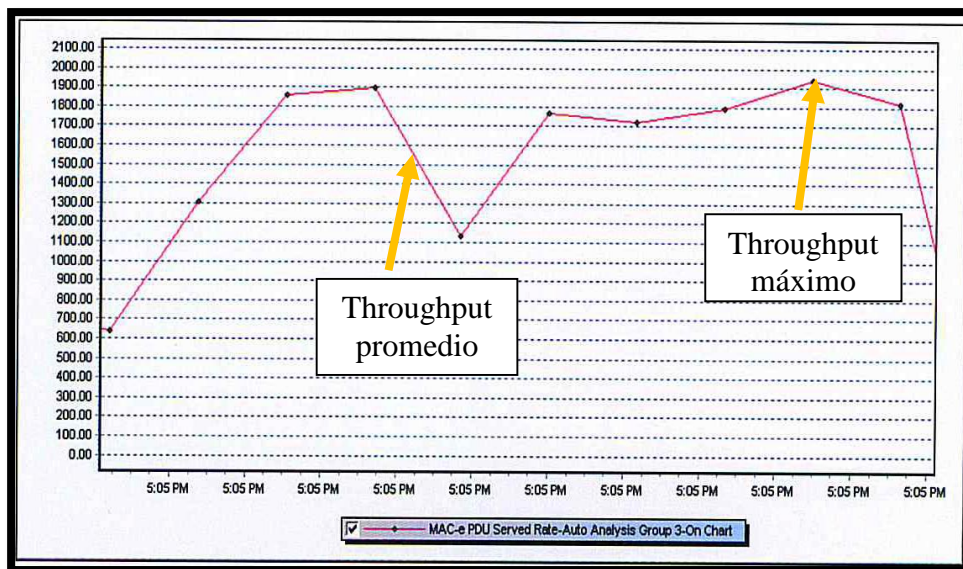


Figura 46 Throughput UL existente en el punto estático.

Fuente: Base de datos Huawei

Tabla 17 Valores Máximo y Promedio del UMTS Throughput

Puntos Estáticos	Throughput UL	Máximo (kbps)	Promedio (kbps)
1	Prueba Estática UMTS	1938.62	1503.32

Fuente: Base de datos Huawei

Una vez determinados los valores máximo y promedio se remplazan en la siguiente ecuación:

$$G_p = 10 \log \left(\frac{\text{Valor Máximo de Throughput UL (kbps)} * 1000}{\text{Valor Promedio de Throughput UL (kbps)}} \right) \quad (11)$$

Reemplazando los valores,

$$G_p = 10 \log \left(\frac{1938.62 \text{ kbps} * 1000}{1503.32 \text{ kbps}} \right)$$

$$G_p = 31.10 \text{ dB}$$

3.4.4.2.8. EIRP

Es la potencia que da como resultado de la resta de las potencias de transmisión menos las pérdidas de cables y conectores y más la ganancia de la antena.

$$\text{EIRP (dBm)} = \text{PS (dBm)} - L_{BS} + \text{GT (dB)} \quad (12)$$

Donde:

PS: potencia radiada desde la antena

GT: ganancia de la antena de transmisión.

L_{BS} : pérdidas del cable y conectores

Reemplazando:

PS: 3.228 W = 35.09 dBm

GT: 18 dBi

$L_{\text{CABLE Y CONECTOR}}$: 2dB (4 jumper de 1/2")

$$\text{EIRP} = 35.09 \text{ dBm} - 2\text{dB} + 18 \text{ dBi}$$

$$\text{EIRP} = 52.09(\text{dBm})$$

3.4.4.2.9. Potencia de Ruido Térmico

Es un ruido generado por el movimiento molecular dentro de un nodo B. Se basa en la ecuación 13:

$$P_N = 10 \log(K * T * \text{Valor Máximo de Throughput UL (kbps)} * B) + 30 \quad (13)$$

(dBm)

Donde:

K: Constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J / K.

T: Indica la temperatura absoluta en un valor de 290 °K

B: Ancho de Banda de la portador = 5MHz

Reemplazando:

$$P_N = 10 \log(290^\circ\text{K} * 1.38 * 10^{-23} \frac{\text{J}}{^\circ\text{K}} * 449.29 \text{ kbps} * 5000000 \text{ Hz}) + 30 \text{ (dBm)}$$

$$P_N = -111.86 + 30 \text{ (dBm)}$$

$$P_N = -81.86 \text{ dBm}$$

3.4.4.2.10. Factor de ruido (NF)

Es la degradación de la relación señal/ruido provocada por los equipos instalados en el nuevo nodo. Este valor es recomendable en 4 dB según lo menciona (Gallegos Rodríguez G. H., 2006).

3.4.4.2.11. Target Eb/No

Es la densidad de energía en el ruido espectral, se mide en el receptor e indica qué tan fuerte es la señal. Este valor es recomendable en 4.5 dB según lo menciona (Gallegos Rodríguez G. H., 2006).

3.4.4.2.12. Carga Máxima (Fc)

El valor en porcentaje de la carga de tráfico o la potencia total usada específica de acuerdo a los criterios empíricos usados por los proveedores y operadores es tener una carga supuesta de 50% o del 100% de la carga total, como valores típicos mínimo y máximo. Este factor se determina como la sobrecarga de usuarios a partir del 50% según lo definido en (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011).

3.4.4.2.13. Sensibilidad del Receptor

Es el nivel mínimo de señal de radiofrecuencia que puede detectarse en la entrada del receptor y a su vez producir una señal de información demodulada y se determina esencialmente el alcance del sistema. Este valor se puede verificar a través de la ecuación 14: (Gallegos Rodríguez G. H., 2006)

$$P_{in_{BS}} = (10 \log(K * T * Valor \text{ M\u00e1ximo de Throughput UL}(kbps) * B) + 30) + NF + Eb/Nt - Gp \quad (14)$$

Reemplazando:

$$P_{in_{BS}} = -81,86 \text{ dBm} + 4 \text{ dB} + 4,50 \text{ dB} - 31,10 \text{ dB}$$

$$P_{in_{BS}} = -104,46 \text{ dBm}$$

3.4.4.2.14. Margen de desvanecimiento

Son las variaciones exageradas que toma la se\u00f1al y depende de las caracter\u00edsticas de ubicaci\u00f3n o movilizaci\u00f3n del UE, afirma un valor de desvanecimiento de 8 dB por zona Urbana. (Gallegos Rodr\u00edguez G. H., 2006).

3.4.4.2.15. Desviaci\u00f3n est\u00e1ndar por sombra o desviaci\u00f3n est\u00e1ndar compuesta

Son las variaciones exageradas que toma la se\u00f1al y depende de las caracter\u00edsticas de ubicaci\u00f3n o movilizaci\u00f3n del UE, el margen de desvanecimiento indica el ocultamiento interpuesto por obstrucci\u00f3n debido a un edificio o una caracter\u00edstica natural del espacio geogr\u00e1fico. La tabla 18 muestra la desviaci\u00f3n est\u00e1ndar de margen de desvanecimientos t\u00edpicos para cada escenario.

Tabla 18 Valores de desviaci\u00f3n est\u00e1ndar de margen de desvanecimientos

Escenario	Desviaci\u00f3n est\u00e1ndar de margen de desvanecimientos
\u00c1rea urbana densamente poblada	10dB
\u00c1rea urbana	8dB
\u00c1rea suburbana	6dB
\u00c1rea rural	6dB

Fuente: Recuperado de LTE Radio Network Planning Guide, Huawei Technologies. 2011

3.4.4.2.16. Margen de Interferencia (Mi)

Este par\u00e1metro determina el balance del enlace, tomando en cuenta el factor de carga de las celdas influyendo sobre la cobertura de la celda, es decir, que mientras mayor

es la carga de la celda, mayor es el margen de interferencia que se debe aplicar, ya que cada usuario conectado a las celda del nodo representan una interferencia para el resto de usuarios conectados en el misma celda.

Por tal motivo si la carga es mayor, las interferencias son mayores y por ende menor será la cobertura de la celda del nodo. Se sugiere utilizar un margen de interferencia menor, ya que la limitación en el tamaño de la celda se determina por la máxima pérdida de propagación en el enlace y no por la capacidad en la interfaz de aire. La ecuación 15 indica como calcular el margen de interferencia. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011)

$$MI = -10 \log\{1 - FC\} \quad (15)$$

Donde:

$$FC = 0.5 \text{ dB}$$

Reemplazando:

$$MI = -10 \log\{1 - 0.5\}$$

$$\mathbf{MI = 3,01 \text{ dB}}$$

3.4.4.2.17. Ruido de Fondo (RF)

El ruido de fondo es la medida de la señal creada a partir de la suma de todas las fuentes de ruido y las señales no deseadas dentro de un sistema de medición. Este parámetro es muy importante ya que (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2011) afirma que es el resultado de la Potencia de ruido térmico más el factor de ruido y más el margen de interferencia, tal como se muestra en la ecuación 16.

$$RF = PN + NF + MI \quad (16)$$

Reemplazando:

$$RF = -81,86 \text{ dBm} + 4 \text{ dB} + 3,51 \text{ dB}$$

$$\mathbf{RF = -74,35 \text{ dBm}}$$

3.4.4.2.18. Resultados Link Budget

Los resultados obtenidos en la tabla 19 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 19. 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 (dBi)	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

Fuente: Elaborado por autor

3.4.4.3. Planeación de Celda

El sistema de comunicación móvil 3G/LTE está formado por varias celdas, estas celdas constituyen la unidad básica de cobertura en que se divide un sistema celular, cada red celular necesita una planificación de celdas con el fin de asegurar la cobertura y evitar la interferencia entre ellas. El proceso de planificación de las celdas se compone de los siguientes parámetros descritos a continuación. Estos parámetros fueron citados de (Alvarez Paredes, 2014)

3.4.4.3.1. Planeación Cell_ID

El Cell_ID es el identificador de una celda perteneciente a un nodo B, para el nuevo sitio Small Cell se ha definido un valor de Cell_ID de 1 a 3, esto se hace dependiendo del número de sectores que contenga este sitio, en este caso sería 1.

3.4.4.3.2. Planeación del Nombre de la Celda

La nomenclatura de la celda se define de la siguiente manera:

Provincia_Ciudad_Nombre_CellID

3.4.4.3.3. Planeación del nombre del nodo B

Se define la siguiente nomenclatura:

Provincia_Ciudad_Nombre+L19

Donde:

- *Provincia y Ciudad*: Se refiere a la región en donde pertenece el Nodo B.
- *Nombre*: Corresponde al sector al cual pertenece el Nodo B
- *L*: Se refiere a la tecnología en cual se va a trabajar, en este caso Small Cell.
- *19*: Hace referencia a la banda de frecuencia en la que se va a operar, 1900 MHz.

3.4.4.3.4. Nodo B ID

Este parámetro es utilizado para identificar un Nodo B de forma única dentro de una Red Móvil Terrestre Pública (PLMN). El Nodo B ID consta de 20 bits, es decir ocupa un rango de 0 a 1048575.

En la práctica, los clientes pueden proporcionar reglas de numeración para las diferentes áreas y ciudades. Si los clientes no tienen requisitos adicionales, el único principio de la planificación Nodo B ID es confirmar que es único en toda la red.

Por tal razón para el presente diseño, se tomará el valor de Nodo B correspondiente a los sitios 3G, añadido un 5 al inicio. El rango de ID's para la red UMTS/HSPA+ es de 4000 a 4999, de tal manera que al anteponer un 5 en el nuevo sitios Small Cell, el nuevo rango será de 54000 a 54999. (Alvarez Paredes, 2014)

3.4.5. Selección de equipos a utilizar

Para definir los equipos necesarios en la solución eRelay Small Cell, se realizó el análisis bajo los criterios y recomendaciones establecidas en el documento sugerido por (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015) que indica que los equipos destinados para este tipo de soluciones pertenecen a la familia de equipos para soluciones outdoor Small Cell recomendados por la Small Cell Forum, tomando en cuenta que el valor de los costos son referenciales y aproximados a los valores reales ya que es confidencial de la empresa la divulgación de la información del valor de cada uno de sus equipos.

Para definir que equipos se debe utilizar se realiza una tabla con las características relevantes con las que deben cumplir para la solución eRelay en estudio. Los requerimientos nombrados en la tabla 20 son valores y características obtenidas anteriormente.

Tabla 20 Requerimientos para elección de equipos

REQUERIMIENTO DE EQUIPOS	
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere una estructura fija de por lo menos 6 metros de altura a 100 m de la entrada norte de los túneles de San Juan, la estructura elegida es un poste de 12 m.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> Para energizar los equipos se debe contar con una toma de 110 VAC la cual se encuentra a 110 m desde el poste elegido por lo tanto se sugiere que los equipos trabajen a este voltaje para omitir la instalación de un rectificador dentro de un bastidor.
Monitoreo y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> El nodo debe contar con un gestor de red que facilite el mantenimiento, con la finalidad de reducir costos es decir un equipo que permita gestión de configuraciones, gestión de seguridad, gestión de fallos y gestión de rendimiento de la solución eRelay.
Transmisión	<ul style="list-style-type: none"> El medio de transmisión es inalámbrico por lo tanto se necesita un equipo que maneje conexión PMTP/NLOS por la tecnología eRelay empleada.
Voz y Datos	<ul style="list-style-type: none"> Es necesario contar con servicio de voz y datos tanto para 3G (UMTS) y LTE con una modulación QPSK y 16QAM correspondiente para cada tecnología.
Rangos de Frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> Se trabaja con la frecuencias de 1900 / 1700 - 2100 MHz asignadas a la operadora CNT EP para cada tecnología.
Tipos de antenas	<ul style="list-style-type: none"> Para telefonía móvil y escenarios outdoor en áreas urbanas es recomendado utilizar antenas sectoriales panel de 65° y en este caso como utiliza 2 tecnologías se requiere una antena panel dual de 65°.

Tipos de conectores	<ul style="list-style-type: none"> Los conectores utilizados por las antenas sectoriales son tipo DIN 7/16 hembra.
Max Tx Potencia	<ul style="list-style-type: none"> La potencia de transmisión máxima calculada para el nodo eRelay Small Cell es de 45.09 dBm.
Ganancia de la antena	<ul style="list-style-type: none"> La ganancia de la antena debe ser de 18 dBi según los cálculos y las recomendaciones realizadas anteriormente.
Rangos de Tilt mecánico	<ul style="list-style-type: none"> 0° - 10°
Rangos de Tilt Eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> 2° - 10°
Ancho de banda	<ul style="list-style-type: none"> El ancho de banda será fijo de 5MHz.
Sensibilidad del receptor	<ul style="list-style-type: none"> El valor calculando es de -104.46 dB.

Fuente: Elaborado por autor

El documento *eRelay Solution* de Huawei que forma parte primordial de la solución eRelay Small Cell de este estudio, menciona que la eRelay BS está conformada por la DBS3900, la misma que tiene componentes importantes tales como: BBU3900 y una RRU3332 que ayudan a mantener la gestión adecuada mediante el gestor M2000, su equipo de transmisión es la RRN3301 el que permite una conexión PMTP/NLOS de manera inalámbrica. Este equipo de transmisión tiene una interfaz de aire mejorada que incluye lo siguiente:

- Configuración de la banda de frecuencia: 10 MHz o 20 MHz
- Modos de modulación: QPSK, 16QAM, 64QAM, tanto para el enlace ascendente y el enlace descendente

Por lo tanto estos equipos se utilizan directamente para la solución eRelay; los equipos por determinar son las antenas y las BTS Small Cell. En la tabla 21 se especifica 2 tipos de antenas que posiblemente sean parte de la solución tomando en consideración los puntos requeridos en la tabla 20.

Para la elección de la antena, un parámetro muy importante es la ganancia que se necesita para la solución, la ganancia calculada para la antena que se conectará con las Small Cell es de 19dBi pero según las recomendaciones de (HUAWEI

TECHNOLOGIES CO., 2011) afirma que la ganancia de antena para áreas urbanas es de 18dBi como se muestra en la tabla 20. Por tal motivo se analizan 2 tipos de antenas sectoriales panel duales que integran dos tecnologías 3G y LTE como se requiere para la solución eRelay Small Cell.

Tabla 21. Comparación de Antena

ANTENAS SECTORIALES		
Fabricante	HUAWEI	COMMSCOP
Modelo	AGISSON DUAL ADU451819	ANDREW HWXX-6516DS- VTM
Rangos de Frecuencia (MHz)	1710 - 2200	1710 - 2690
Polarización (°)	45; -45	45; -45
Ganancia (dBi)	18	17.7
Ancho Lóbulo Horizontal 3dB (°)	64	65
Ancho Lóbulo Vertical 3dB (°)	7.5	7.5
V_{swr} / Pérdida de Retorno	< 1.5 / -14	< 1.5 / -14
Impedancia (Ω)	50	50
Máx. potencia por entrada (dBm)	54,77	55,44
Velocidad máx. del Viento Operativo (Km/h)	250	241
Conector	4x7/16 DIN hembra	4x7/16 DIN hembra
Tilt Eléctrico (°)	2 - 12	-
Tilt Mecánico (°)	0 - 16	0 - 10
Costo (USD)	\$2500	\$3000

Fuente: Elaborado por autor

Una vez analizado los parámetros que necesita cumplir este equipo (tabla 20), se elige la antena Huawei Agisson Dual ADU451819 porque cumple con tres puntos importantes tales como: Rango de frecuencias, Ganancia y Costo, estas características son casi similares entre las dos antenas de la tabla 21, tomando en cuenta que la ganancia de la antena sectorial Agisson es superior y el costo es menor, también se puede observar los rangos de tilt permitidos en esta antena, estando de acuerdo a los tilt mecánico y eléctrico calculados anteriormente como se puede ver en la tabla 20 definidos para cada antena.

En las Tabla 22 y 23, de igual manera se analizan las características técnicas más relevantes de los dos tipos de Small Cells con fabricantes Huawei y Alcatel para dos tecnologías así como 3G y LTE; en este caso la elección de los equipos se consideraron cuatro parámetros importantes tales como: Rango de frecuencias, ganancia de la antena, Potencia de Salida y Costo, tomando en cuenta que es una empresa de telecomunicaciones a nivel mundial y el costo de sus equipos son flexibles en sus valores no tan elevados en el mercado, facilitando en gran mayoría la adquisición de sus equipos, por lo tanto el costo es un parámetro primordial en la elección de equipos ya que las características técnicas pueden ser similares o superiores dependiendo del rendimiento que cumplan a las soluciones en las que se integren, como este caso una solución eRelay Small Cell propietaria de Huawei Technologies.

Tabla 22 Comparación de Small Cell UMTS

SMALL CELL UMTS		
Fabricante	HUAWEI	ALCATEL
Modelo	BTS3902E	BTS9363V2
Rangos de Frecuencia AWS (MHz)	1850 - 1990	850 -1900
Sensibilidad de la Dual-Antena Recptora (dBm)	-125,8	-107
Ganancia (dBi)	6	4
Vswr	< 2	< 3
Máxima Potencia tx (dBm)	47	24
Máximo Consumo de Potencia (W)	136	25
Energía de Entrada (V)	110/220 VAC rango 90 V a ±290 V ; -48 VDC rango -36 V a -57 V	110/220 V AC a -48 V DC
Costo	\$1200	\$1700

Fuente: Elaborado por autor

Tabla 23. Comparación de Small Cell LTE

SMALL CELL LTE		
Fabricante	HUawei	ALCATEL
Modelo	BTS3202E	BTS9764V1
Rangos de Frecuencia AWS (MHz)	1710 - 2155	1800 - 2100
Sensibilidad de la Dual-Antena Receptora (dBm)	-104,8	-98
Ancho de Banda (MHz)	5,10,15 0 20	-
Ganancia (dBi)	4	7
Vswr	< 2	< 2
Máxima Potencia tx (dBm)	47	30
Máximo Consumo de Potencia (W)	160	25
Energía de Entrada (V)	110/220 V AC rango 90 V a ± 290 V	110/240 V AC
Energía de Salida (V)	Puerto POE: -52V, 25 W	-
Costo	\$1560	\$1890

Fuente: Elaborado por autor

Según los valores que se tiene en la tabla 20 los equipos elegidos cumplen con los requerimientos establecidos y están dentro de los rangos de valores que se necesita para que la solución eRelay Small Cell cumpla con el objetivos de cobertura planteado.

3.4.6. 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 24 presenta los parámetros físicos determinados para la solución eRelay Small Cell:

Tabla 24 Tabla de 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

Fuente: Elaborado por autor

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 48 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.

La figura 47 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 47 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.

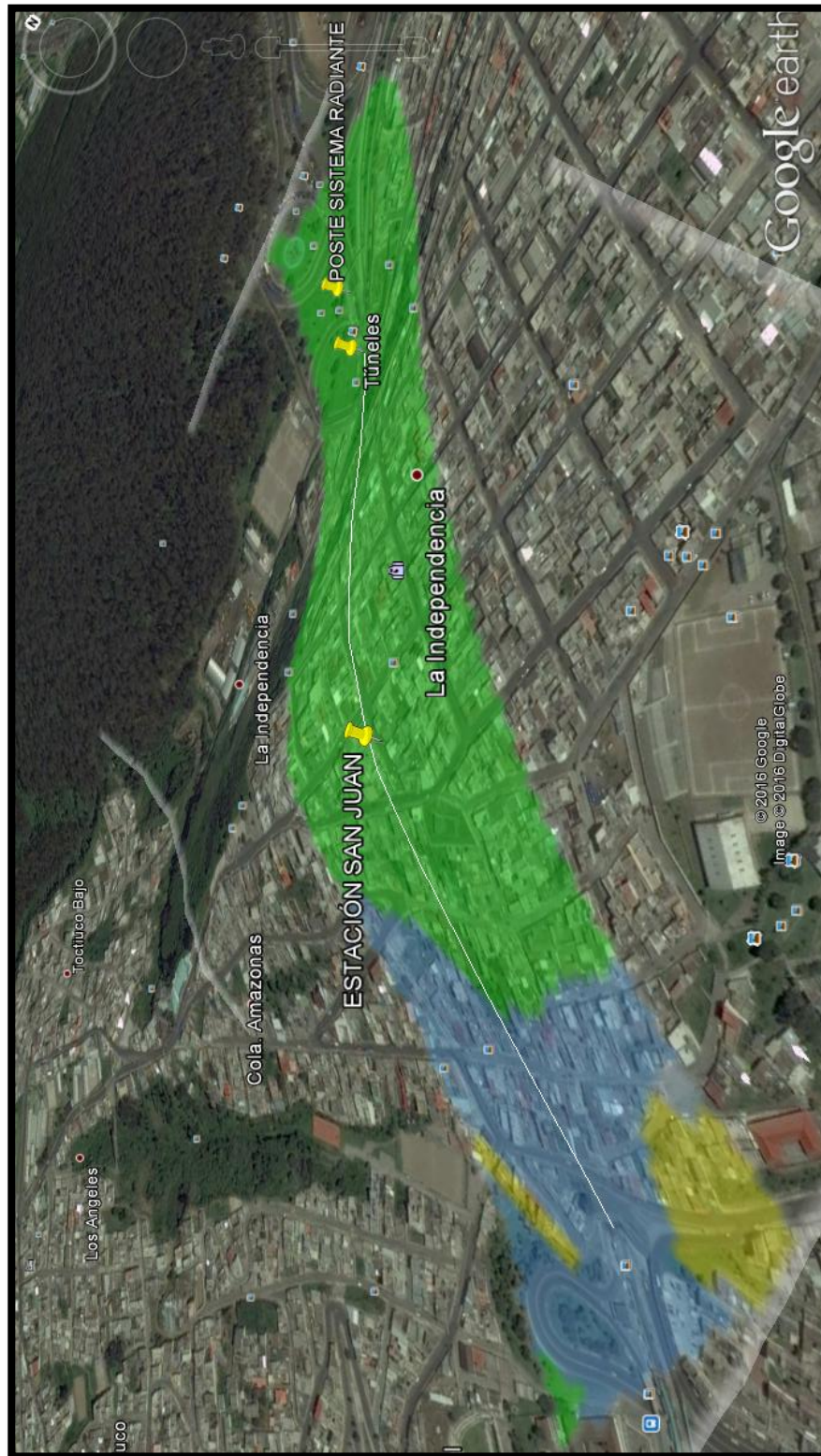


Figura 47 Predicción final RSCP Small Cell túneles de San Juan
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

3.5. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA SOLUCIÓN OUTDOOR ERELAY SMALL CELL TÚNELES DE SAN JUAN

El siguiente paso para el diseño de la red, es establecer los equipos a utilizar, estos equipos son propios de Huawei y son destinados para este tipo de tecnologías. Según las indicaciones establecidas por la Small Cell Forum y el Release 4 para Urban Small Cell, se dice que una red Small Cell puede ser heterogénea, soportando varias tecnologías a la vez, por lo tanto, la tecnología 3G y LTE trabaja dualmente en los equipos Small Cell, en este caso en los equipos Huawei a emplearse.

El diseño propuesto, figura 48, para el análisis de la tecnología Small Cell en los túneles de San Juan se basó en los requerimientos del operador, que es dar cobertura a esta zona donde la infraestructura y tecnología convencional de las macro celdas empleada en zonas urbanas no llega.

El sistema empleado para los túneles de San Juan es mediante una solución eRelay que ofrece la transmisión (point to multipoint) PTMP utilizando la tecnología OFDM NLOS y Capa 2 reenvío de paquetes. Estas tecnologías permiten que el sistema eRelay proporcione backhaul¹⁴ para dispositivos en todo tipo de entornos inalámbricos y redes de transmisión. Por ejemplo, el sistema puede proporcionar eRelay backhaul para las estaciones base de Small Cell y redes empresariales internas. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015)

La figura 48 muestra cómo el sistema eRelay ofrece backhaul de datos para estaciones de base Small Cell. El sistema eRelay se puede implementar tanto en la línea de vista (LOS) y escenarios que no poseen línea de vista (NLOS). Esto permite que el sistema eRelay utilice el medio ambiente para ampliar la cobertura de las redes de macro. La estación base eRelay (BS) se puede implementar en el mismo sitio que la estación base macro. La RRN es un dispositivo pequeño y ligero que se puede montar en un poste o en la pared, lo que facilita la instalación y reduce los costos. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015)

¹⁴ **Backhaul.**- es una red de retorno, es la porción de una red jerárquica, que comprende los enlaces intermedios entre el núcleo o backbone, y las subredes en sus bordes.

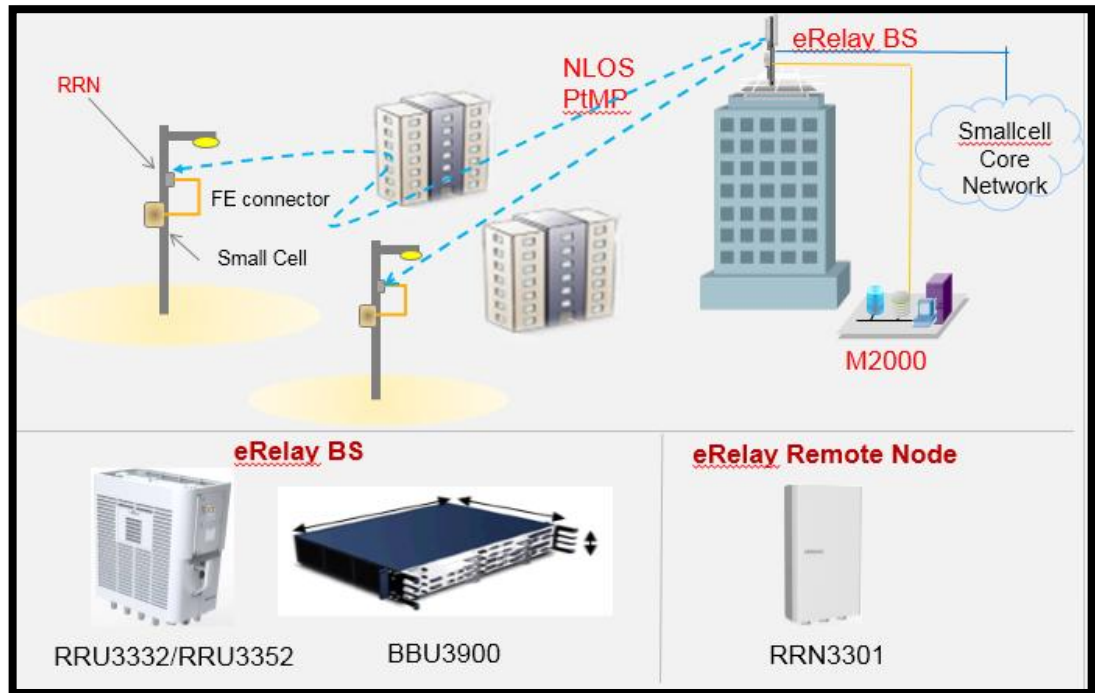


Figura 48 Backhaul for small-cell base stations
Fuente: Elaborado por autor

Para la solución denominada eRelay solution, Huawei muestra una topología de Red propia para la tecnología Small Cell, como se muestra la figura 49.

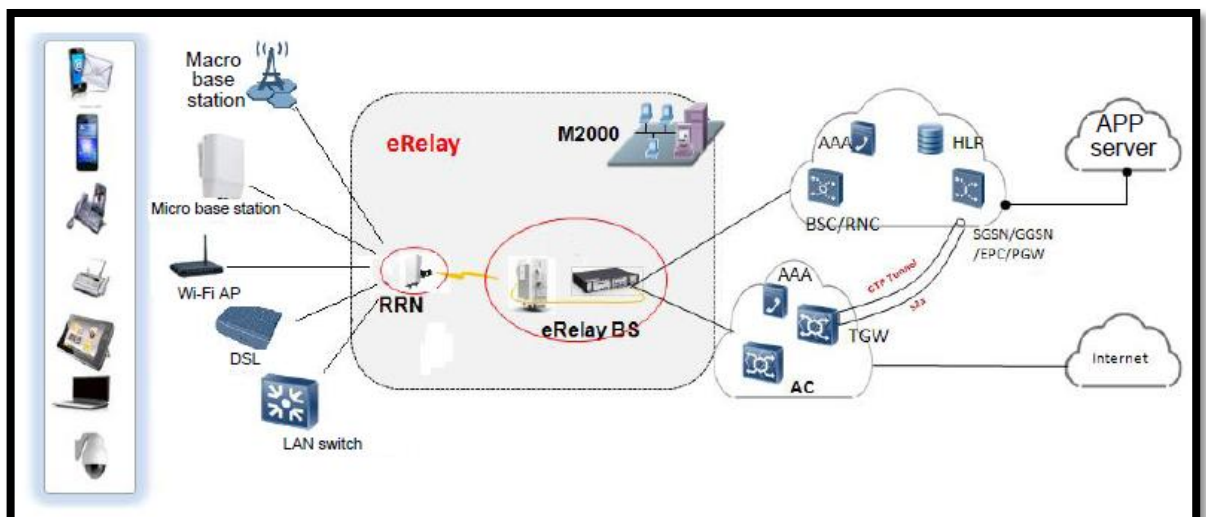


Figura 49 Network topology for the eRelay system
Fuente: Base de datos Huawei

El sistema eRelay forma parte de la eRelay BS, RRNs y servidor M2000. El eRelay BS y RRNs están conectados a través de interfaces de aire para proporcionar backhaul de

datos y el servidor M2000 es el centro del sistema eRelay O&M. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015)

3.5.1. Dispositivos de red empleados en la solución eRelay Small Cell.

Con el avance agigantado de las tecnologías de comunicaciones móviles, los operadores de red durante la construcción de nuevas redes de comunicación, se apoyan en la innovación y la integración de múltiples tecnologías al momento de ofrecer una solución de infraestructura. Este enfoque ayuda a los operadores móviles a ofrecer una red móvil rentable y orientada al futuro.

Con el concepto de innovación continua en base a las necesidades de los clientes, Huawei ofrece estaciones base bajo el concepto de dos soluciones: Single RAN y Single BTS.

- ✓ Single BTS se refiere a la infraestructura física de las estaciones base denominada DBS 3900 la cual está formada fundamentalmente por los módulos BBU y RRU.
- ✓ Single RAN provee la capacidad de integrar varias tecnologías en una sola infraestructura; de tal manera que constituye una solución escalable y compacta a la vez.

La estación San Juan con la que se va a tener comunicación, se encuentra ya instalada bajo la solución Single BTS y Single RAN, lo que quiere decir que se puede integrar una BBU para la eRelay BS, por lo tanto la infraestructura existente se mantendrá igual.

En la solución eRelay Small Cell existirán dos escenarios de instalación, el primer escenario se encarga de difundir la señal emitida por la antena que se instalará en el poste a 100m de los túneles y este también contará con un equipo que se encarga de la transmisión hacia la estación San Juan en la cual se encuentra el escenario 2 en donde está la eRelay BS la cual integra la gestión de recursos inalámbricos, gestión de acceso RRN y proporciona interfaces de transmisión para la red de transporte.

Los escenarios son los siguientes:

✓ **Escenario 1.- En poste sobre la Av. Occidental:**

- Dos BTS 3902E/3202E(3G/LTE)
- Una RRN 3301
- Una Antena Panel Dual AGISSON
 - Altura Sector 1: 6.00m

Tabla 25 Tabla de Elementos en Escenario 1

Elemento	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
Descripción	BTS	RRN	Antena Panel Dual AGISSON
Marca/Modelo	3902E / 3202E	3301	ADU451819
Tamaño alto x ancho x espesor (mm)	300x270x120	1306x199x69	1311x323x89
Peso (kg)	11	10.2	12.8

Fuente: Base de Datos Huawei

✓ **Escenario 2.- En estación SAN JUAN:**

- Una unidad de radio remota (RRU)
- Una Antena Panel ARGUS
 - Altura: 22.00m
- Una BBU
- Una DCDU

Tabla 26 Tabla de Elementos en Escenario 2

Elemento	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6	Equipo 7
Descripción	RRU	Antena Panel Dual AGISSON	BBU	DCDU
Marca/Modelo	Huawei 3332	ADU451819	3900	DCDU 12B
Tamaño alto x ancho x espesor (mm)	480x270x140	1311x323x89	86x442x310	44x442x310
Peso (kg)	19.5	12.8	≤ 12	2.80

Fuente: Base de Datos Huawei

Para instalar el Escenario 2 el responsable es directamente CNT ya que es una central o estación propietaria de la operadora, la configuración de equipos lo hace el área de transmisiones y radiofrecuencia de CNT con los valores de configuración de antenas antes calculados.

3.5.1.1. Equipos Escenario 1 (Solución Outdoor)

3.5.1.1.1. RRN (3301)

Los Nodos Remotos E-Relay (RRNs) son nodos remotos del sistema de backhaul inalámbrico PTMP. Un RRN ofrece servicios de backhaul para las estaciones base de células pequeñas, trabajando con la eRelay BS sobre la interfaz aérea.

Un RRN proporciona dos puertos FE para proporcionar backhaul de datos para dos dispositivos. Uno es el puerto PoE Data0, que también proporciona la energía para la RRN, y el otro es el puerto Data1. La velocidad de datos máxima de un RRN es de 80 Mbit / s en el enlace descendente y 50 Mbit / s en el enlace ascendente con un ancho de banda de 20 MHz. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015)



Figura 50 Especificaciones técnicas de la RRN 3301
Fuente: Base de datos Huawei

3.5.1.1.2. BTS 3902E (3G)

Una estación base WCDMA consta de la unidad de transceptor y de la unidad de procesamiento de banda base inalámbrica, el BTS3902E se comunica con el RNC y UEs a través de la interfaz Iub y la interfaz Uu, respectivamente. Se lleva a cabo el

procesamiento de protocolo de capa física, incluyendo la difusión frecuencia y supresión de expansión, la modulación y demodulación, la codificación y decodificación de canal, y la conversión entre señales (RF) de banda base y radio frecuencia. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., 2015)

Es una estación base micro all-in-one, la BTS3902E ofrece todas las funciones básicas necesarias mediante el uso de un solo módulo.

BTS3902E se compone principalmente de la unidad principal de procesamiento, unidad de interfaz de transmisión, unidad de procesamiento de señal de banda base, la frecuencia de radio (RF) unidad de procesamiento de señales, y módulo de potencia. La Figura 51 muestra la estructura lógica del BTS3902E.

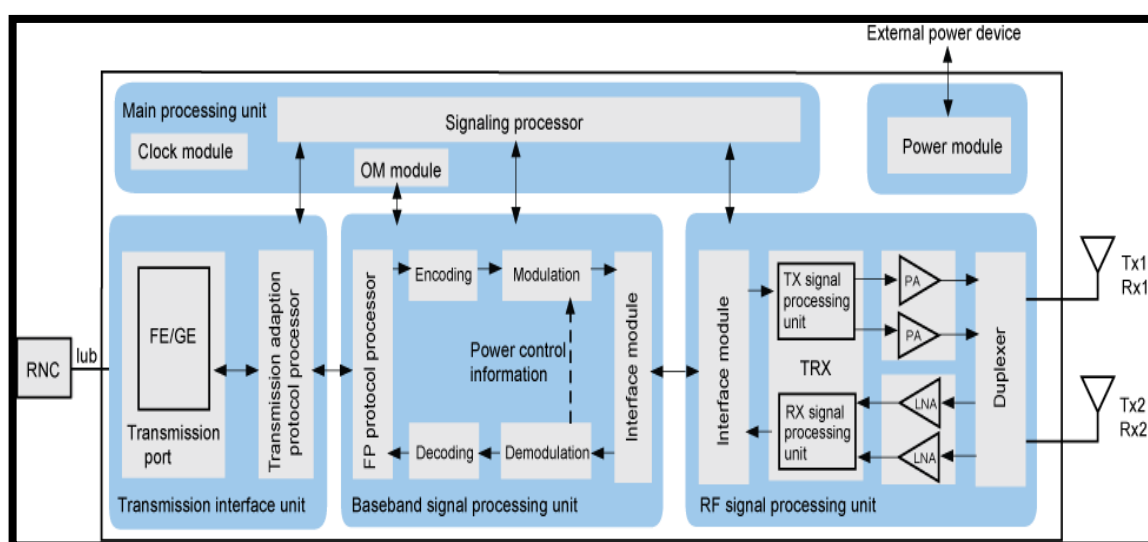


Figura 51 Logical structure of BTS3902E

Fuente: Base de datos Huawei

✓ Modos compatibles y Bandas de Frecuencia

En la tabla 27 se enlista los modos y bandas de frecuencia soportadas por un BTS3902E.

Tabla 27 Modos y bandas de frecuencia soportadas por un BTS3902E.

Type	Mode	Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	TX Frequency Band (MHz)
BTS3902E	UMTS	1900	1850 to 1910	1930 to 1990
		2100	1920 to 1980	2110 to 2170
		AWS	1710 to 1755	2110 to 2155

Fuente: Base de Datos Huawei

✓ Especificaciones RF

En la tabla 28 se enlista las especificaciones de radio frecuencia (RF) de un BTS3902E.

Tabla 28 Especificaciones RF BTS3902E

Type	Capacity	Receiver Sensitivity (dBm)	
		1-way receiver sensitivity	2-way receiver sensitivity
BTS3902E	Two cells		
	• Uplink: 192 CEs	-123.0	-125.8
	• Downlink: 192 CEs		

Fuente: Base de Datos Huawei

3.5.1.1.3. BTS 3202E (LTE)

El BTS3202E realiza las siguientes funciones:

- ✓ Gestiona todo el sistema en términos de operación, mantenimiento, señalización de procesamiento de mensajes, y el reloj del sistema.
- ✓ Procesos de señales de enlace ascendente y enlace descendente de banda base, y recibe y transmite señales de frecuencia (RF) de radio.
- ✓ Proporciona puertos de comunicación para la recepción y expedición señales de dispositivos Control Medioambiental.
- ✓ Proporciona puertos de comunicación para el intercambio de información entre el eNodoB y la red de transporte.
- ✓ Proporciona un canal de OM entre el eNodoB y centro de mantenimiento y operación (OMC).

- ✓ Proporciona tomas de alimentación de AC y utiliza un módulo de conversión de una función de AC / DC para suministrar energía a los subsistemas de uranio empobrecido y el RU.
- ✓ Suministros de energía para el transporte de los dispositivos con una capacidad de PoE + (802.3at, 30 W).

- **MME**

Una MME tiene las siguientes funciones:

- ✓ Distribución de mensajes de paginación
- ✓ Control de seguridad
- ✓ Gestión de la movilidad en el modo inactivo
- ✓ Control de portador SAE
- ✓ Cifrado e integridad protección de los no-acceso estrato de señalización (NAS)

- **S-GW**

Un S-GW tiene las siguientes funciones:

- ✓ Reenvío de paquetes de datos
- ✓ Buffering de paquetes de enlace descendente para un UE en el modo INACTIVO de RRC y la interacción con el MME para activar paginación de la UE
- ✓ Apoyo a los trasposos plano de usuario causados por la movilidad de UE

- **OMC**

El centro de operación y mantenimiento (OMC) incluye el U2000, Configuration Management Express (CME), y la terminal de mantenimiento local (LMT). Los usuarios pueden utilizar el método abierto de coordinación para gestionar y mantener eNodo Bs. La Figura 52 muestra la estructura lógica del BTS3902E.

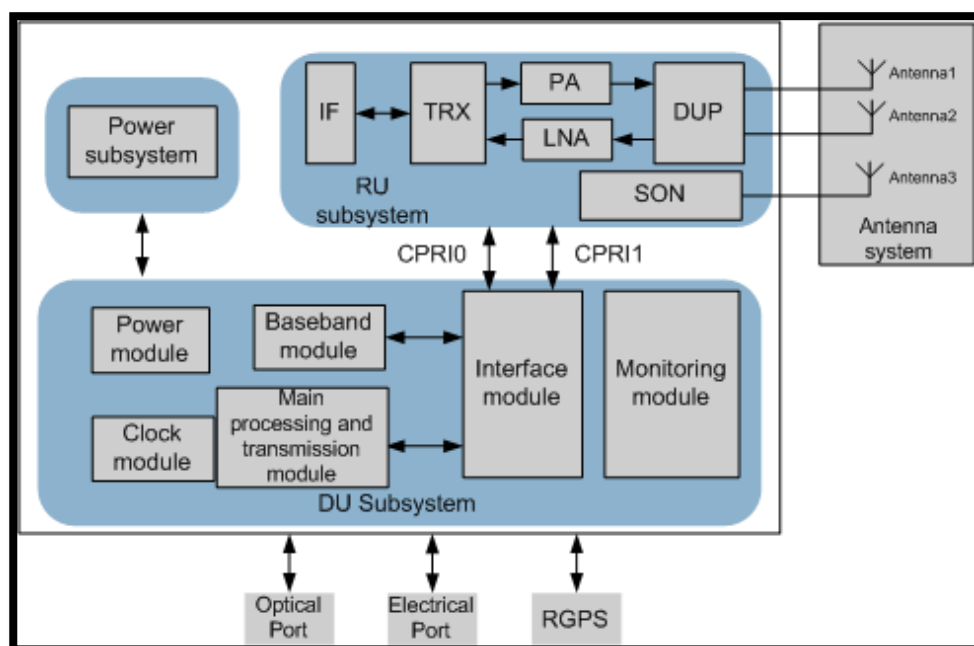


Figura 52 Estructura lógica de la BTS3202E

Fuente: Base de datos Huawei

✓ Bandas de Frecuencia

Las bandas de frecuencias que utiliza la BTS3202E.

Tabla 29 Bandas de Frecuencia

Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	TX Frequency Band (MHz)	Supported Bandwidth (MHz)
2600 (band 7)	2500 to 2570	2620 to 2690	5, 10, 15, or 20
AWS (band 4)	1710 to 1755	2110 to 2155	5, 10, 15, or 20
1800 (band 3)	1735 to 1785	1830 to 1880	5, 10, 15, or 20

Fuente: Base de Datos Huawei

✓ Especificaciones RF

Tabla 30 Bandas de Frecuencia

Item	Specifications		
	Frequency Band (MHz)	Single-antenna receive sensitivity (dBm)	Dual-antenna receive sensitivity (dBm)
Receive sensitivity	2600	-102.0	-104.8
	AWS	-102.0	-104.8
	1800	-102.0	-104.8

Fuente: Base de Datos Huawei

3.5.1.1.4. Antena Panel Dual AGISSON ADU451819



Figura 53 Antena AGISSON ADU451819

Fuente: Recuperado de Base Station Antenna Catalogue, Huawei Technologies CO., LTD.

Las características más sobresalientes de la antena AGISSON ADU451819 son:

Alto rendimiento: El rendimiento eléctrico de las antenas de Huawei Agisson es mayor que el nivel promedio de las otras antenas existentes en la industria. La supresión de lóbulos laterales superior y sus propiedades tanto eléctricas como mecánicas han alcanzado los estándares líderes internacionales.

En la tabla 31 y 32 se muestran las propiedades mecánicas y eléctricas de la antena AGISSON ADU451819.

Tabla 31 Propiedades eléctricas antena Agisson ADU451819.

Propiedades Eléctricas												
Rango de Frecuencia (MHz)	1770 – 1880			1850 - 1990			1920 - 2170			2170 - 2200		
Polarización	±45°											
VSWR	≤ 1.4											
Ganancia (dBi)	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°
	17	17.4	17.1	17.3	17.7	17.4	17,6	18	17.4	17.5	18	17.4
3dB ancho de haz (horizontal)	67°			64°			61°			60°		

3dB ancho de haz (vertical)	7.5°	7°	6.6°	6.2°
Aislamiento entre puertos (dB)	≥ 30			
Downtilt eléctrico	2° - 12°			
Max. Potencia de entrada (W)	300			
Impedancia (Ω)	50			
Toma puesta a tierra	Tierra DC			

Fuente: Recuperado de Base Station Antenna Catalogue, Huawei Technologies CO., LTD

Tabla 32. Propiedades mecánicas antena Agisson ADU451819.

Dimensiones (largo, ancho, espesor) (mm)	1311 x 323 x 89
Peso neto (Kg)	12.8
Downtilt mecánico	0° - 16°
Material principal	Fibra de vidrio
Temperatura de operación (°C)	-55 to +65
Max. velocidad de viento	200
Conector	4 x7/16 Conector DIN hembra

Fuente: Recuperado de Base Station Antenna Catalogue, Huawei Technologies CO., LTD

✓ Puertos de conexión 7/16 DIN Hembra

Las antenas duales tienen 4 puertos tipo 7/16 DIN Hembra en los cuales conectaremos los jumpers que saldrán de 2 BTSs Small Cell, la primera será la BTS LTE (utilizara la columna izquierda) mientras que la segunda será la BTS 3G (utilizara la columna derecha), se deberán conectar según la polarización +45/-45.

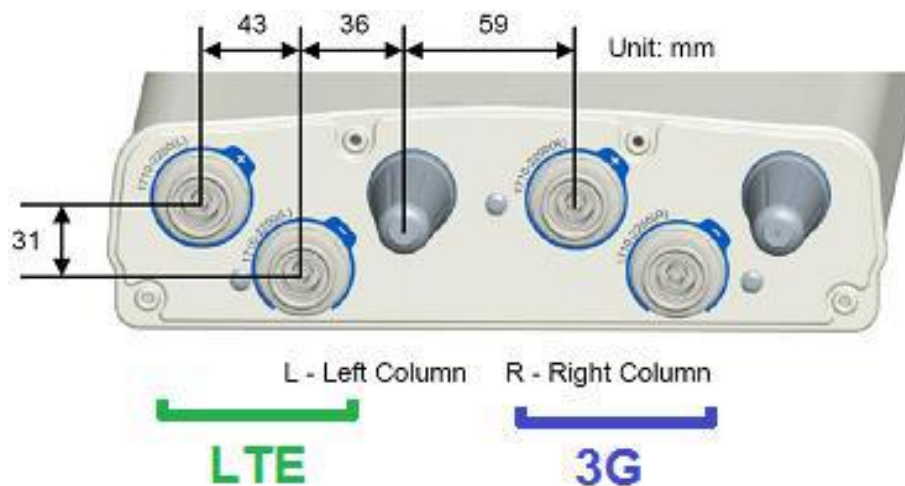


Figura 54 Puertos de conexión antena Dual (Vista inferior frontal)
Fuente: Recuperado de Base Station Antenna Catalogue, Huawei Technologies CO., LTD.

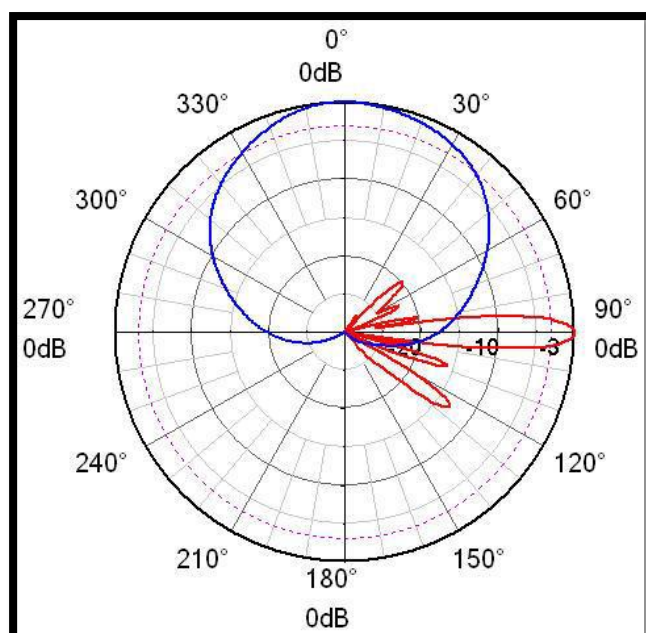


Figura 55 Lóbulo de radiación de Antena ADU451819
Fuente: Recuperado de Datasheet Antena Agissson ADU451819

3.5.1.1.5. DOCK

El DOCK es un módulo de la plataforma Atom. Este equipo proporciona energía para RRNs y soporta la transmisión y conmutación.

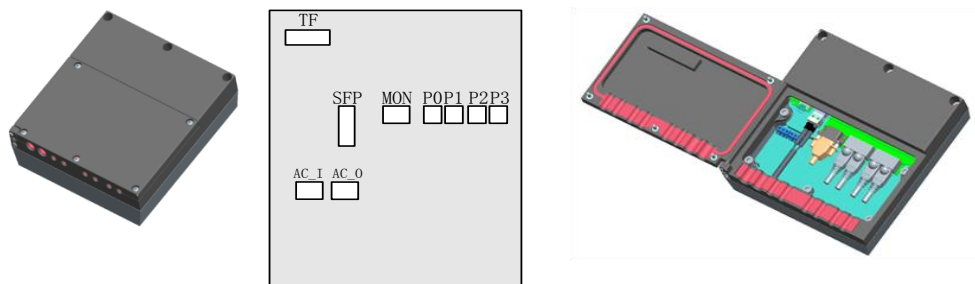


Figura 56 Apariencia física DOCK

Fuente: Recuperado de eRelay3.0_Site Solution Introduction, 2013.

- Puerto 0, 1, 2, o 3 se pueden utilizar como un puerto de mantenimiento de la red. Si los cuatro puertos están ocupados por los servicios al mismo tiempo, uno de ellos deben ser liberados de la ocupación de servicio para el mantenimiento del sitio. Las señales de entrada y de salida deben estar en correspondencia con las salidas de cable en la parte inferior.
- La dimensión de un módulo DOCK es de 200 mm (H) x 200 mm (W) x 60 (D) mm. Se compone de módulos de potencia AC / DC y de conmutación de interfaz y tarjetas Ethernet. El DOCK proporciona fuente de alimentación para los servicios externos y lleva a cabo la gestión y mantenimiento de los dispositivos. El módulo es también el centro de convergencia de transmisión de todos los canales de servicios. Además, proporciona puertos ópticos. FE/GE.
- La producción total de energía de AC/DC es de 330 W. 10 W son consumidos por placas de interfaz y fuentes de alimentación 320 W de dispositivos a través de cuatro puertos PoE. La potencia máxima de entrada en cada puerto aparece en la lista de puertos de alimentación PoE DOCK. Un módulo PSE se proporciona en el puerto 3 para negociar de forma automática con las interfaces externas acerca de si se debe proporcionar energía.

Power on DOCK PoE ports				
	P0	P1	P2	P3
Power	130 W	130 W	60 W	60 W

DOCK interface list		
Interface	Interface Type	Description
AC I	Cord end terminal	AC input port
AC O	Cord end terminal	AC output port
P0, P1	RJ45	PoE port, 130 w
P2, P3	RJ45	PoE port, 60 W
SFP	SFP	FE/GE optical port
TF	TF	TF card holder for data loading on the TF card
MON	DB15	One 485 and four dry contacts

Figura 57 Características DOCK

Fuente: Recuperado de eRelay3.0_Site Solution Introduction, 2013.

3.5.1.2. Equipos Escenario 2 (Estación San Juan)

3.5.1.2.1. E-Relay BS

En este equipo se integra la gestión de recursos inalámbricos, gestión de acceso RRN y proporciona interfaces de transmisión para la red de transporte.

Funcionando como una eRelay BS, la DBS3900 eRelay consiste en la BBU3900 (unidad de control de banda base) y RRU3332 (unidad de frecuencia de radio a distancia). El BBU3900 y RRU3332 están conectados a través de la interfaz de radio pública común (CPRI) utilizando fibras ópticas. El DBS3900 eRelay incluye los siguientes auxiliares:

- ✓ APM30H: módulo de alimentación (que apoya a la disipación de calor)
- ✓ TMC11H: gabinete de transmisión (que apoya a la disipación de calor)
- ✓ IBBS200D (refrigeración directa del sistema de energía de reserva) o IBBS200T (sistema de energía de reserva termoeléctrica-refrigeración)
- ✓ IMB03: mini caja de interior
- ✓ OMB: mini caja exterior

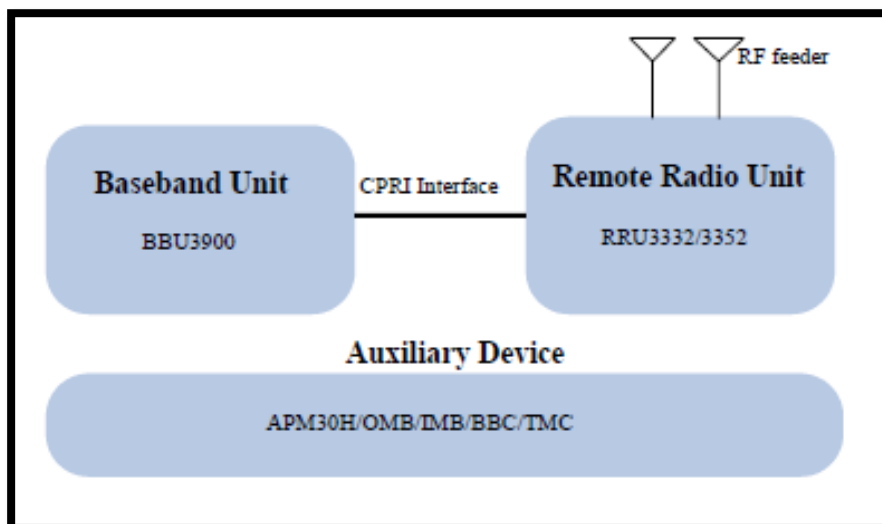


Figura 58 DBS3900 eRelay BS
Fuente: Base de datos Huawei

3.5.1.2.1.1. BBU3900

La BBU3900 es una unidad de control de banda base que transfiere señales entre la estación base y la red de núcleo. (Huawei Technologies CO., eRelay3.0_Site Solution Introduction, 2013)

- Proporciona puertos para la conexión a la Entidad de Gestión de Movilidad (MME), Servicio de puerta de enlace (S-GW) y los procesos relacionados con los protocolos de transmisión.
- Proporciona puertos CPRI para la comunicación con las RRU y procesa las señales de banda base en enlace Up Link y Down Link.
- Gestiona toda la estación base por medio de operación y mantenimiento (OM) y el procesamiento de mensajes de señalización.
- Proporciona la señal de reloj al sistema.
- Proporciona un canal de OM para la conexión a la terminal de mantenimiento local LMT o M2000.



Figura 59 Apariencia física BBU3900.

Fuente: Recuperado de eRelay3.0_Site Solution Introduction, 2013.

Las especificaciones técnicas de la BBU3900 se detallan en la Tabla 33.

Tabla 33 Especificaciones BBU3900.

Ítem	Especificación
Dimensiones	Espesor: 86 mm, Ancho: 310 mm, Largo: 442mm.
Peso	12Kg
Fuente de alimentación	-48 V DC. Rango de voltajes :-36V DC a -57 V DC
Temperatura de operación	-20°C to +55°C

Fuente: Recuperado de eRelay3.0_Site Solution Introduction, 2013.

3.5.1.2.1.2. RRU 3332

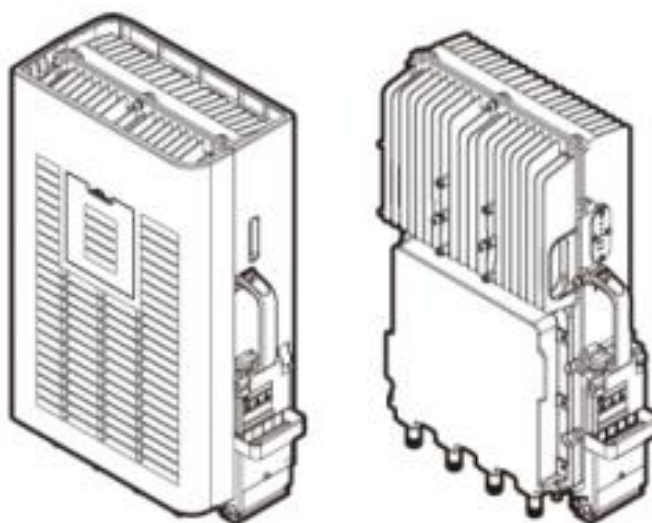


Figura 60 Apariencia física RRU3332.

Fuente: Recuperado de eRelay3.0_Site Solution Introduction, 2013.

La unidad de radio remota RRU 3332 proporciona funciones de modulación y demodulación de señales de banda base y de RF. A continuación se detalla la estructura lógica de la RRU 3332:

- **La interfaz CPRI:** Recibe datos de banda base en enlace Down Link desde la BBU y transmite datos de banda base en enlace Up Link hacia la BBU para las comunicaciones entre la RRU y la BBU.
- **TRX:** Proporciona dos canales de RX para las señales de RF en enlace Up Link, dos canales de TX para las señales de RF en enlace Down Link, y un canal de retroalimentación.
- Los canales RX convierten las señales recibidas en enlace Down Link y las amplifican a través de una conversión (A/D), mientras que los canales Transmisión realizan un filtrado de señales en enlace Down Link en conjunto con una conversión (D/A).
- **PA:** El amplificador de potencia amplifica las señales de radio frecuencia de baja potencia recibida desde el TRX.
- **LNA:** El amplificador de bajo ruido (LNA) amplifica las señales recibidas desde la antena.

Las conexiones necesarias para la RRU de (Huawei Technologies CO., eRelay3.0_Site Solution Introduction, 2013), afirma:

- **Cable de alimentación:** Es de -48V DC, con sección de $4mm^2$ en color negro o azul y recubierto por chaqueta negra.
- **Cable GND:** Es de color verde/amarillo con sección de $16mm^2$.
- **Fibra óptica:** Multimodo para conectar a los puertos CPRI de la BBU.
- **Cable RF:** Es el cable que conecta la RRU con la antena, éste puede tener diferente configuración; se utiliza sólo jumper sólo hasta distancias de 10m, y la combinación jumper/feeder/jumper para distancias mayores a 10m. Los cables jumper son de 1/2" y los feeders de 7/8".

3.6. Implementación de equipos en el sitio designado para la instalación

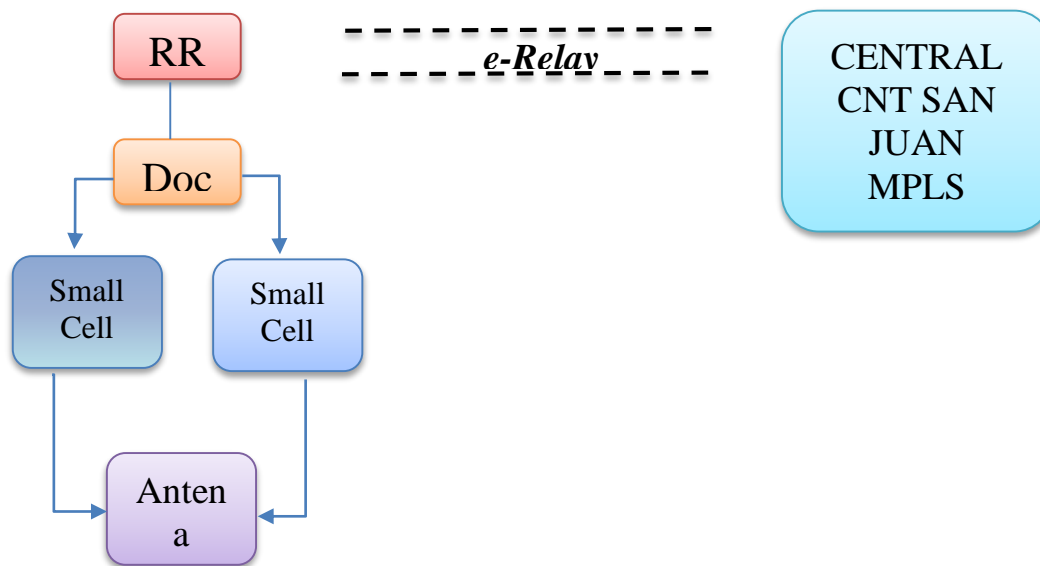


Figura 61 Diagrama solución Small Cell
Fuente: Elaborado por autor

Para la instalación de cada equipo se tomará en cuenta las características de RF con la que debe contar cada uno de ellos, estas características fueron determinadas mediante el estudio previo en campo donde se puntualiza la ubicación geográfica del poste donde se va a instalar la solución Small Cell para así poder analizar si la tecnología cumple con la función de brindar cobertura dentro de los túneles de San Juan.

Una vez analizado la ubicación de los equipos en el poste existente a 100m, se procede a la ubicación de cada equipo, la RRN estará situada en la parte superior del poste con un ángulo de Azimuth de 206° , este ángulo se lo ha determinado en base a la ubicación de la estación San Juan con la cual va a tener comunicación, ya que ahí se instalará la eRelay BS que se encargará de la gestión de acceso y la transmisión para la red de transporte, la RRN tendrá conexión con el DOCK mediante un cable eléctrico POE, este equipo contará con la conexión directa hacia el sistema de tierra para la protección de equipos, figura 62.

El DOCK es un módulo en la plataforma Atom que se encarga de proporcionar energía para la RRN mediante la alimentación con la acometida existente AC y soporta la transmisión y conmutación. El módulo DOCK es también el centro de convergencia de transmisión de todos los canales de servicios.

Las Small Cell se ubicarán bajo la RRN, estos equipos no cuentan con características de RF, solo van conectados mediante un cable eléctrico POE hasta el DOCK mediante el puerto Data0/POE y por medio de un Jumper de ½” desde el puerto de la small cell hasta el puerto de la antena, figura 62, esto funciona tanto para 3G como LTE.

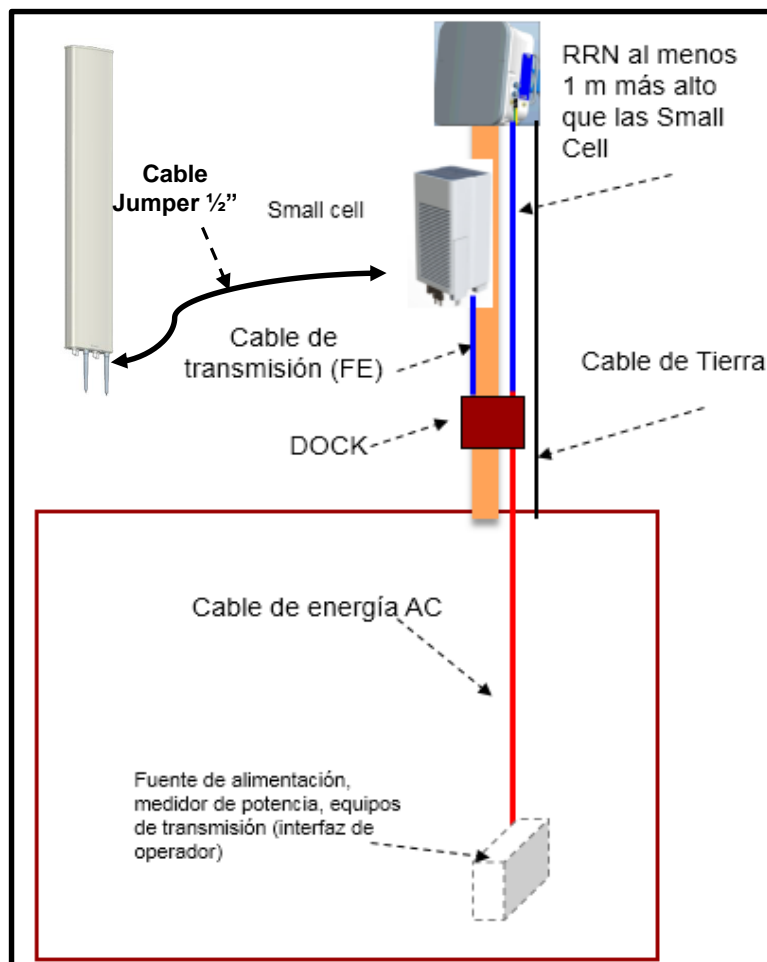


Figura 62 Diagrama de conexión de equipos eRelay Small Cell – poste
Fuente: Base de datos Huawei

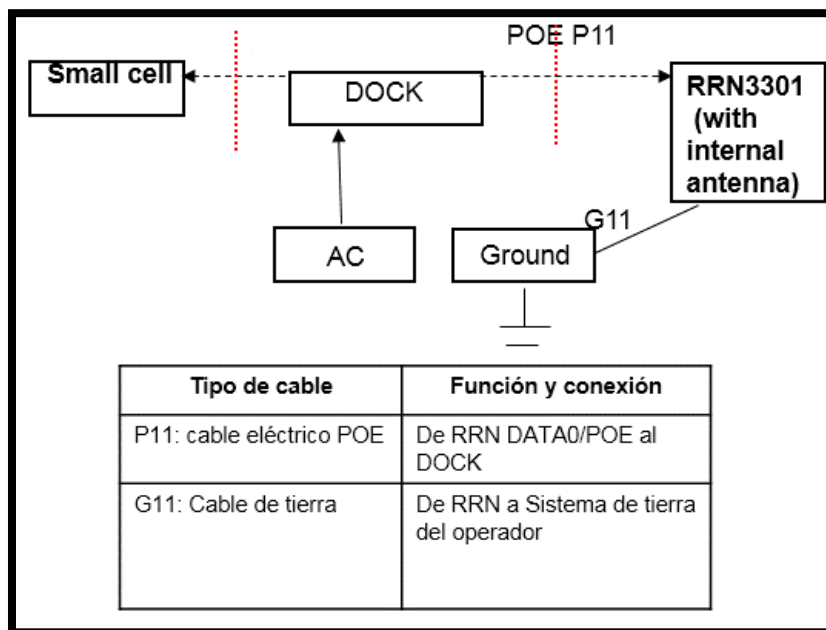


Figura 63 Diagrama de bloques de conexión de equipos eRelay Small Cell – poste
Fuente: Base de datos Huawei

Una vez determinado la ubicación de equipos se procedió a la instalación de cada uno de ellos según el diagrama previamente estudiado. La instalación se la realizó con la ayuda de técnicos contratados por parte de Huawei, para esto se dirigió al sitio determinado ubicado en la Av. Occidental – Extremo Norte de los Túneles de San Juan a 100 m de la salida de los túneles.

Se desempacan los equipos con mucho cuidado, el personal de Obra Ingeniería civil se encargó de cambiar el poste en donde se va a instalar los equipos, mientras se realiza este cambio, se procedió a vulcanizar los 4 Jumpsers correspondientes a los equipos Small Cell; ya teniendo listo las adecuaciones necesarias, el técnico procedió a instalar según indicaciones dadas, es decir, tomando en cuenta las configuraciones de RF y técnicas de cada equipo.

El proceso de instalación de la solución Small Cell se lo puede visualizar en las figuras 64 -68, donde se indica paso a paso la colocación de cada equipo en el poste destinado para la solución.



Figura 64 Instalación Antena Panel Dual Modelo ADU461819
Fuente: Elaborado por autor



Figura 65 Instalación de BTS 3902E 3G y BTS 3202 LTE
Fuente: Elaborado por autor



Figura 66 Vista frontal y lateral de la Antena Panel Dual Modelo ADU461819 y BTS 3902E 3G y BTS 3202 LTE
Fuente: Elaborado por autor



Figura 67 Instalación de los RRN3301 LTE/3G y el apuntamiento hacia la Estación San Juan (Azimut: 200°)
Fuente: Elaborado por autor



Figura 68 Vista general de solución Small Cell Instalada
Fuente: Elaborado por autor

Al finalizar la instalación se verificó que los equipos funcionen correctamente y que mantengan comunicación con los equipos instalados en el escenario 2, para esto fue necesario realizar adicionalmente con el área de transmisiones de Huawei, un script de configuración para la BBU 3900 en el cual se incluyeron Vlans, Ip de servicio, Ip de gestión, configuración de sincronización de la IP Clock, entre otros; este tipo de configuraciones no se puede plasmar en el desarrollo del proyecto ya que por políticas de privacidad no se puede revelar la información que es estrictamente confidencial.

3.7. 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.

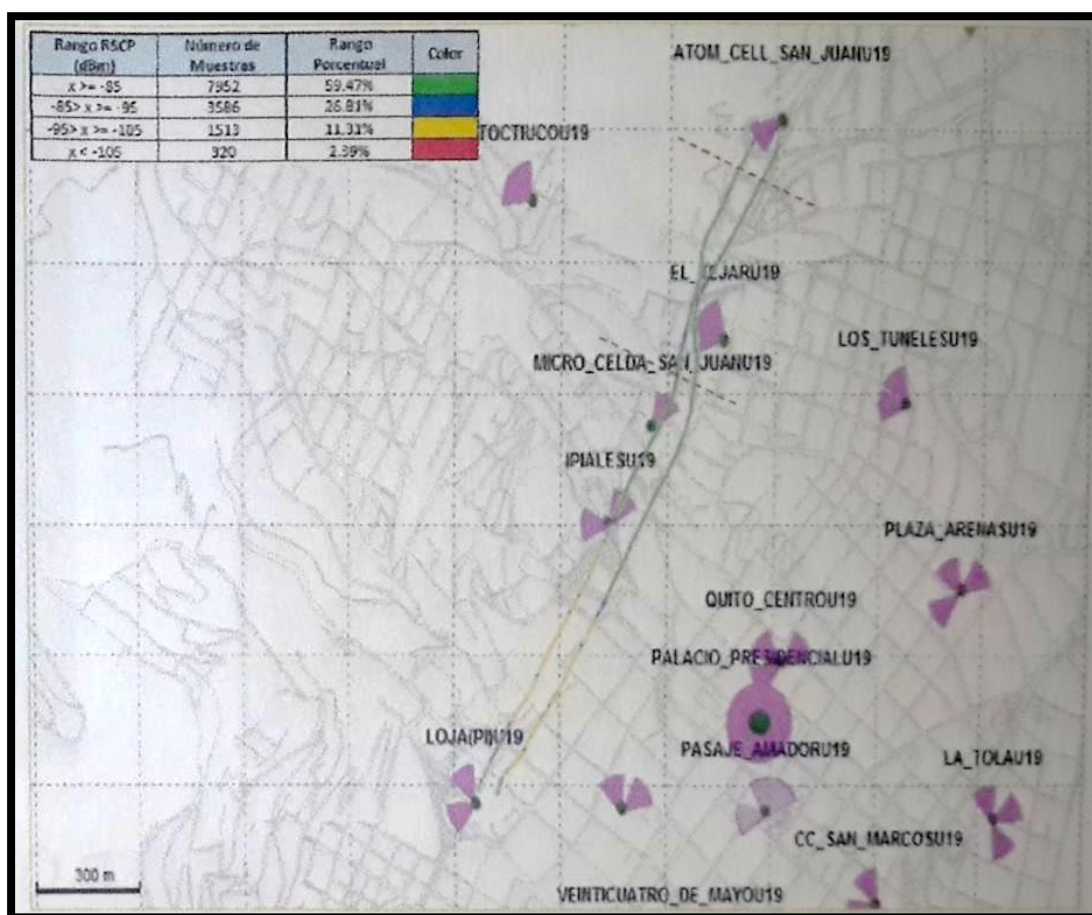


Figura 69 Niveles de Cobertura RSCP existentes en los túneles de San Juan
Fuente: Base de datos Huawei

Analizando la figura 69 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 34.

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 36, 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 69 que se solvento este inconveniente y con la solución eRelay Small Cell se garantiza la cobertura en el sector.

En la tabla 34 y 35 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 34 y 35 con las tablas 36 y 37 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 34 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%	66,28%	Aceptable
$-95 > x \geq -105$	3845	23,23%		No aceptable
$x < -105$	1923	10,49%	33,72%	Pésimo
Total	13971		100%	

Fuente: Base de datos Huawei.

Tabla 35 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%	54,09%	Aceptable
$-95 > x \geq -105$	3789	26,45%		No aceptable
$x < -105$	2026	19,46%	45,91%	Pésimo
Total	12058		100%	

Fuente: Base de datos Huawei.

Tabla 36 Niveles de RSCP tomados por el Escáner en el Drive Test final

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual		Color
$x \geq -85$	7952	59,47%		Óptimo
$-85 > x \geq -95$	3586	34,81%	94,28 %	Aceptable
$-95 > x \geq -105$	1513	4,31%		No aceptable
$x < -105$	920	1,41%	5,72%	Pésimo
Total	13971		100%	

Fuente: Base de datos Huawei.

Tabla 37 Niveles de RSCP tomados por el UE en el Drive Test final

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual		Color
$x \geq -85$	5845	47,37%		Óptimo
$-85 > x \geq -95$	3054	26,76%	74,13%	Aceptable
$-95 > x \geq -105$	2235	16,58%		No aceptable
$x < -105$	924	9,29%	25,87%	Pésimo
Total	12058		100%	

Fuente: Base de datos Huawei.

CAPITULO 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.

4.1. 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

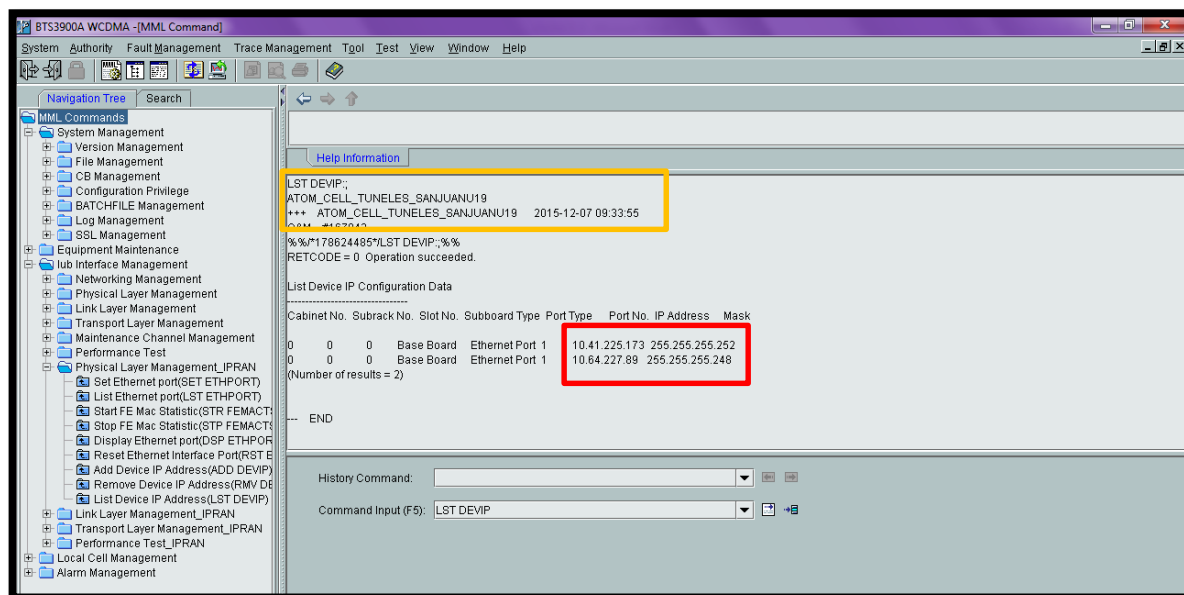


Figura 70 Configuración de IPs

Fuente: Base de datos Huawei

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 70 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.

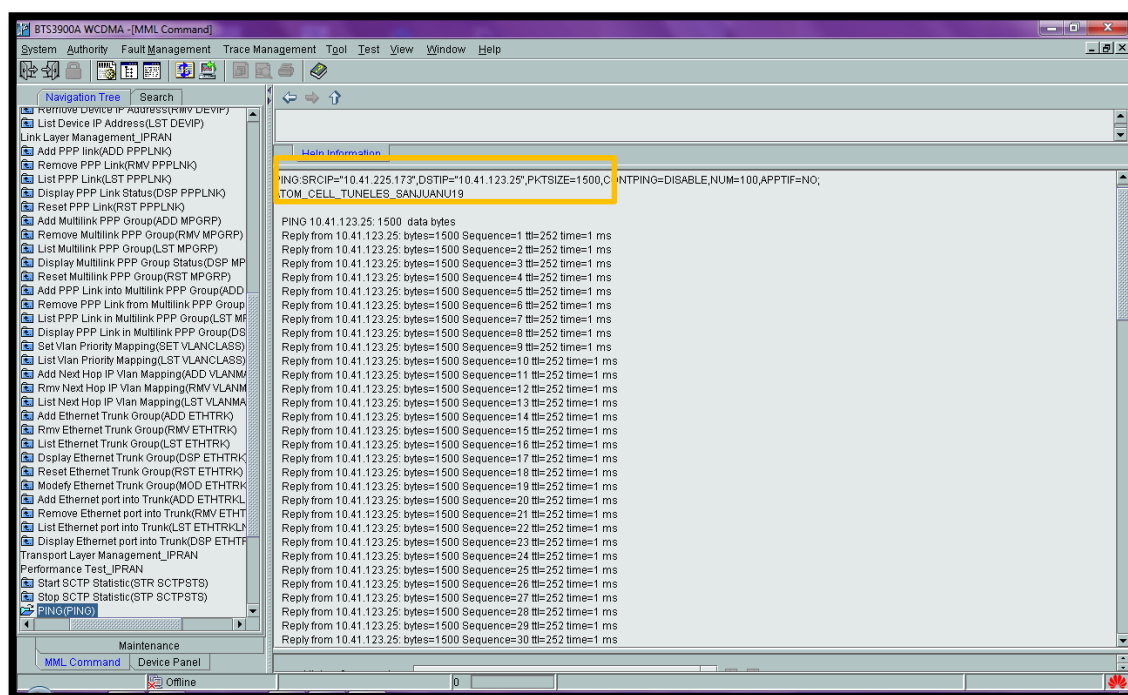


Figura 71 Ping desde IP SERVICIO hacia RNC

Fuente: Base de datos Huawei

La figura 71 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.

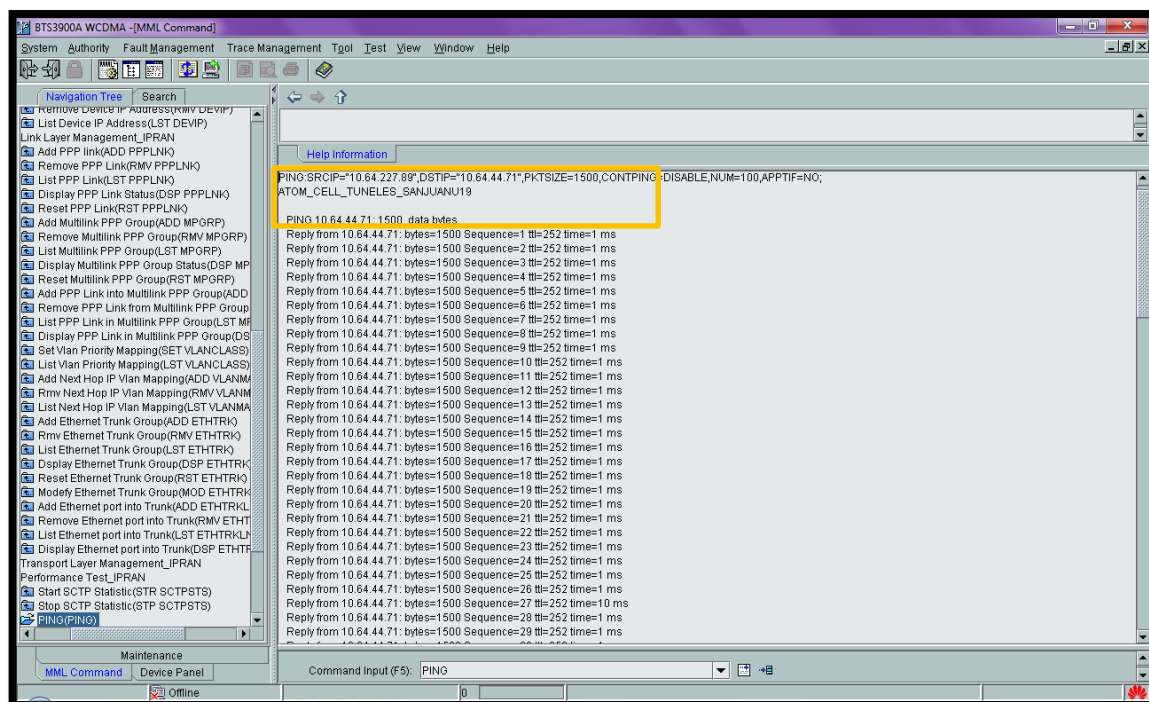


Figura 72 Ping desde IP GESTIÓN hacia M2000

Fuente: Base de datos Huawei

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 73 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 prepuesto de enlace realizado anteriormente.

```

+++ ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19
O&M #167043
%%DSP CELLCFG: MODE=ALLCELL;%%
RETCODE = 0 Operation succeeded.

Display Cell Configuration DSP
-----
Local Cell ID Logical Cell ID T Cell(256chip) UL Frequency Channel Number DL Frequency Channel Number Max Transmission Power(0.1dBm)
1 41711 0 262 662 450
(Number of results = 1)

--- END

```

Figura 73 CellID del nodo ATOM_CELL_TUNELES_SANJUANU19

Fuente: Base de datos Huawei

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 73.

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

- ✓ **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 72.
- ✓ **RSCP** es utilizado para conseguir la intensidad de señal, y por ende tener criterios de traspaso y control de potencia.

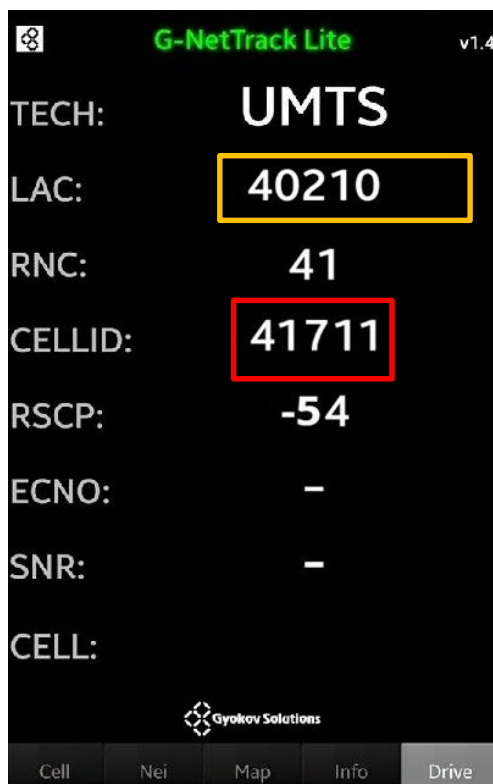


Figura 74 Captura de Identificación del CELLID de la Small Cell
Fuente: Recuperado de G-Net Track

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 74, permiten confirmar que la solución eRelay Small Cell cumple con los objetivos de cobertura. Tomando en cuenta que al momento que se da el cambio de celda con un nodo vecino no existe ningún tipo de interrupción en la llamada de prueba tal como se muestra en la figura 75, esto permite garantizar que la red está siendo reconocida dentro del entorno de la red móvil perteneciente al operador CNT.

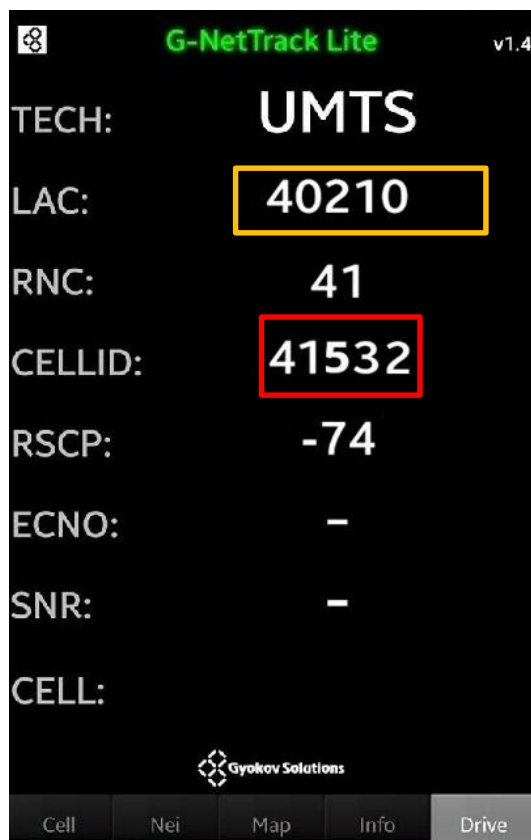


Figura 75 Captura de Identificación del CELLID de la celda vecina
Fuente: Recuperado de G-Net Track

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 76 y 77 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 76.

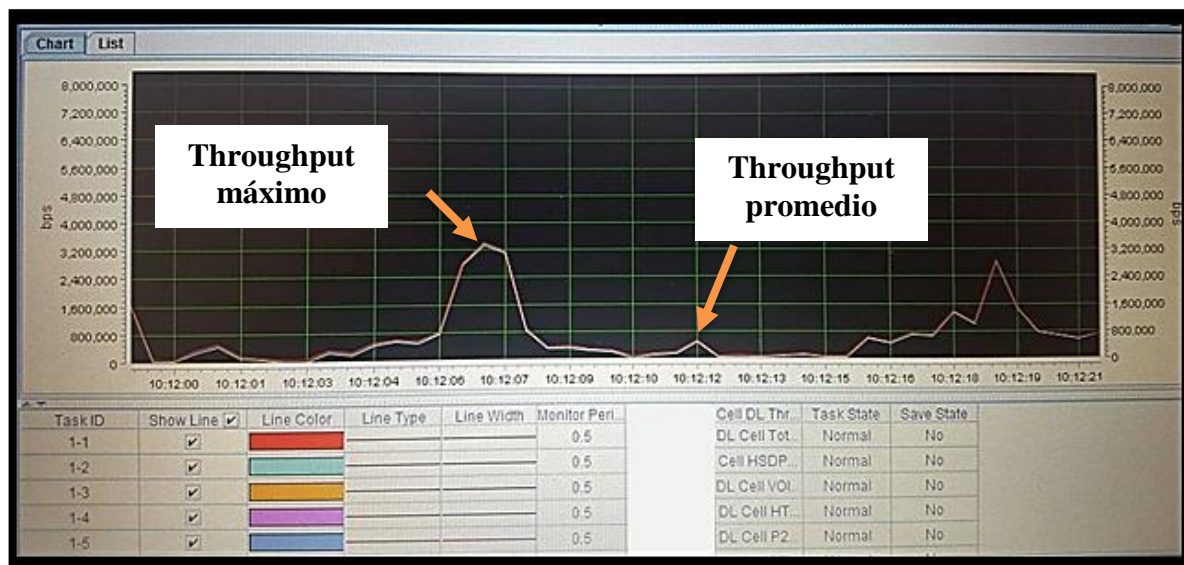


Figura 76 Throughput en Downlink
Fuente: Captura del software LMT

Por el contrario en la figura 77, revela que para Uplink existe un throughput máximo de 2Mbps.

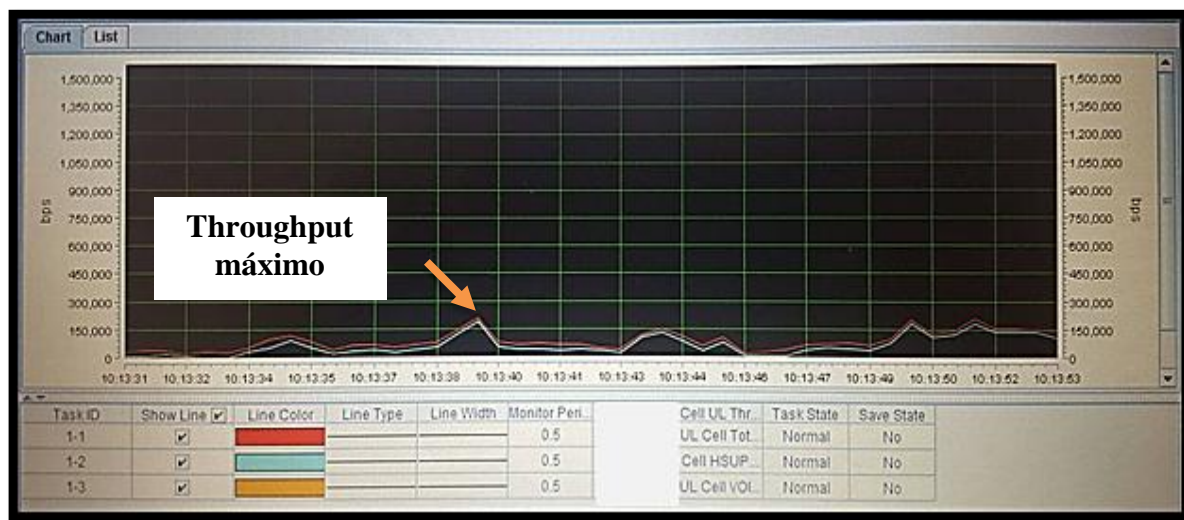


Figura 77 Throughput en Uplink
Fuente: Captura del software LMT

La figura 78 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.

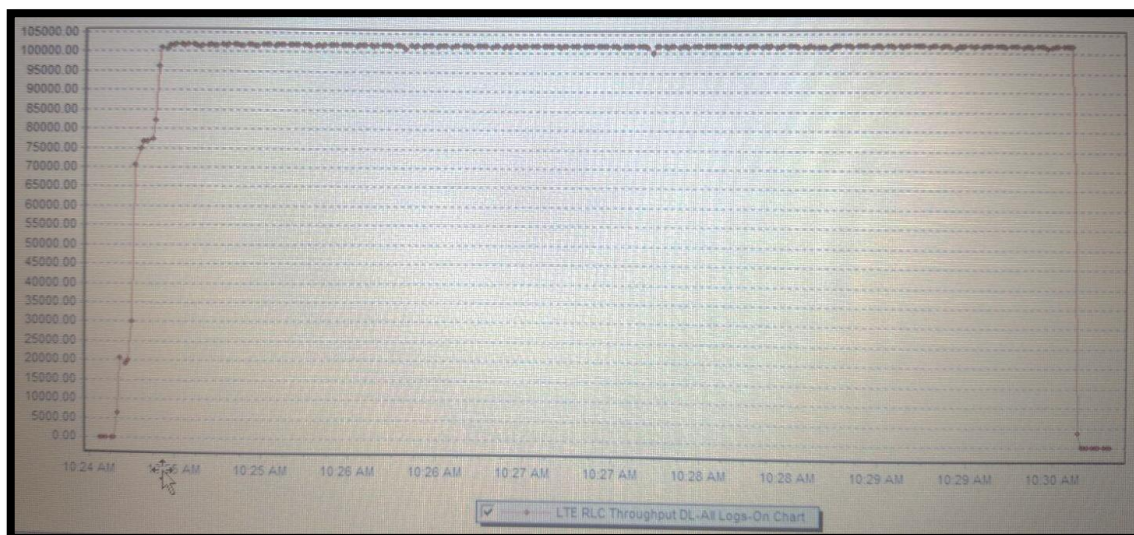


Figura 78 Throughput en Dowlink en LTE
Fuente: Captura del software LMT

Por otro lado la figura 79 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.

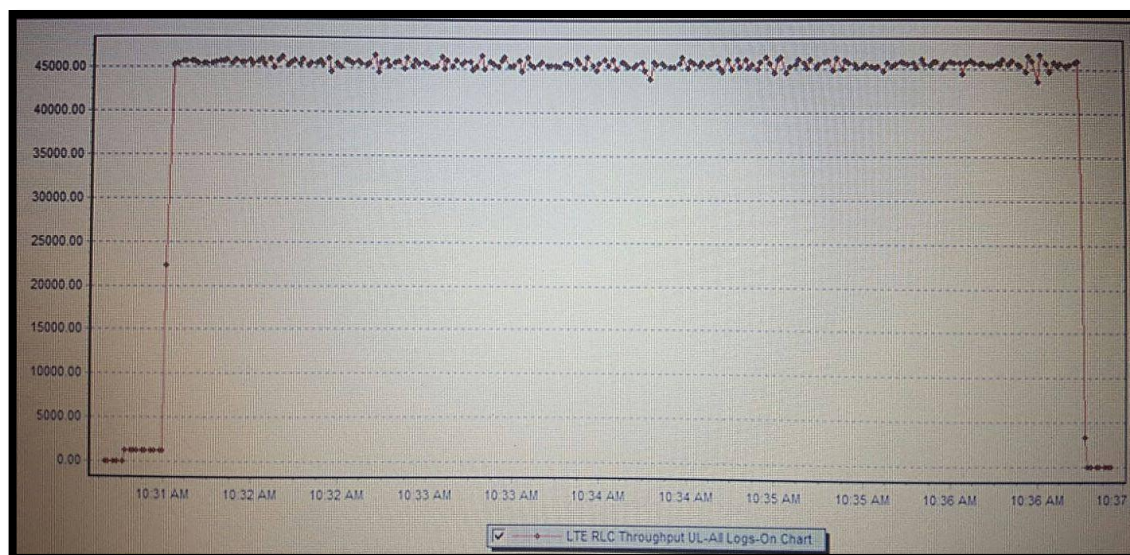


Figura 79 Throughput en Uplink en LTE
Fuente: Captura del software LMT

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.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 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 desperfectos. 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 de 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 brindado 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”

5.2 RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia conocer las especificaciones técnicas y modelos matemáticos que se emplean para este tipo de redes ya que depende mucho de la tecnología ya existente, por tal motivo las características de funcionamiento y arquitectura son indispensables para redes Small Cell, ya sean indoor u outdoor.
- Para proyectos futuros y posibles implementaciones de redes Small Cell se recomienda realizar pruebas de campo como son análisis de estructuras existentes, análisis del área donde se pretende instalar la solución, análisis de parámetros de radiofrecuencia, entre otros. La realización de estas pruebas de campo en escenarios reales ayudan a comprobar que dichas soluciones y características señaladas por la Small Cell Forum son las mejores y las más rentables para equipos Huawei y de cualquier otro tipo.
- Es de mucha importancia conocer con exactitud las condiciones del entorno en las que se desarrollará el proyecto, es decir, el área a la que pertenece el nuevo nodo en análisis ya sea urbano, densamente urbano, suburbano y rural, ya que de estos factores depende la selección del modelo de canal y de propagación dentro de la planeación de cobertura.
- Se recomienda que se realice mantenimiento continuo de la red como es el mantenimiento preventivo de los equipos instalados, con el fin de mejorar su desempeño; para esto las redes Small Cell son una gran opción para la optimización de las redes macro a nivel de la infraestructura ya existente.

BIBLIOGRAFÍA

- 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 INALAMBRICA DE DATOS PARA LAS UNIDADES FIJAS Y MOVILES 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 VI00R003C00*.
- 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., Guvenc, 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.

GLOSARIO

- 3GPP.-** 3rd Generation Partnership Project, encargado de la estandarización de UMTS.
- AC.-** Corriente Alterna.
- AMPS.-** Advanced Mobile Phone System, en español, Sistema de Teléfono Móvil Avanzado.
- ARCOTEL.-** Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.
- BBU:** Base Band Unit en español Unidad Banda Base.
- BTS:** Base Transceiver Station en español Estación Base Transmisora Receptora.
- CDMA.-** Code Division Multiple Access, en español, acceso múltiple por división de código.
- CME.-** Configuration Management Express, en español, rápida administración de configuración.
- CONATEL.-** Comisión Nacional de Telecomunicaciones.
- CPICH:** Common Pilot Channel en español Canal Piloto Común.
- DC.-** Corriente Directa.
- DL:** Down Link en español Enlace Descendente
- DU.-** Unidad Digital
- EDGE.-** Enhanced Data Rates for GSM Evolution, en español, tasa de datos mejoradas para la evolución de GSM.
- eICIC.-** enhanced Inter-cell interference coordination, en español, mejora de la coordinación de la interferencia entre celdas.
- EIRP:** Equivalent Isotropically Radiated Power en español Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
- eNodo B.-** E-UTRAN Node B.
- E-Relay.-** Es una tecnología de Backhaul que funciona como medio de transmisión.
- E-TACS.-** Extended Total Access Communications System, en español, Sistema de comunicaciones para telefonía móvil celular dúplex.
- E-UTRAN.-** Evolved Terrestrial Radio Access Network, en español, Red de Acceso de Radio Terrestre Evolucionada.

EV-DO.- Evolution-Data Optimized o Evolution-Data Only, abreviado a menudo EV, es un estándar de telecomunicaciones para la transmisión inalámbrica de datos a través de redes de telefonía celular evolucionadas desde IS-95 (cdmaOne).

FDD: Frequency Division Duplexing en español Duplexación por División de Frecuencia

FDMA.- Frequency Division Multiple Access, en español, acceso múltiple por división de frecuencia.

FM.- Frecuencia Modulada.

GPRS.- General Packet Radio System, en español, servicio general de paquetes vía radio.

GPS.- Global Positioning System, en español, Sistema de posicionamiento global.

GSM.- Global System for Mobile phone communications, en español, Sistema Global para comunicaciones de telefonía móvil.

HANDOFF.- Se denomina handover o traspaso (también handoff o transferencia) al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access, en español, Acceso de paquetes de alta velocidad en enlace descendente.

HSPA: High Speed Packet Access, en español, Acceso de paquetes de alta velocidad.

HSPA+.- High Speed Packet Access Plus, también conocido como Evolved HSPA (HSPA Evolucionado), es un estándar de internet móvil definido en la versión 7 de 3GPP y posteriores.Ç

HSUPA: High Speed Uplink Packet Access, en español, Acceso de paquetes de alta velocidad en enlace ascendente.

ICIC.- Inter-cell interference coordination, en español, coordinación de la interferencia entre celdas.

IMT-2000.- International Mobile Telecommunications for the year 2000 en español Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000.

IP: Internet Protocol en español Protocolo Internet.

LOS.- Line Of Sight, en español, línea de vista.

LMT: Local Maintenance Terminal en español Terminal de Mantenimiento Local

LTE.- Long Term Evolution, en español, evolución a largo plazo.

MLB.- Mobility load balancing, en español, balanceo de carga de movilidad.

MRO.- Mobility robustness optimization, en español, optimización de robustez de movilidad.

MTSO.- Mobile Telephone Switching Office, en español, Oficina de Conmutación de Telefonía móvil.

NGMN.- Next Generation Mobile Networks, en español, Siguiete Generación de Redes Móviles.

NGN.- Next Generation Networks, en español, Redes de Próxima Generación.

NLOS.- Non Line Of Sight, en español, no necesita línea de vista.

NMT.- Nordic Mobile Telephony, en español, Telefonía Móvil Nórdica.

NODO_B.- Estación radio que cubre una célula UMTS, con uno o varios sectores.

OFDM NLOS.- multiplicación por división ortogonal de frecuencia operando sin línea de vista.

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access, en español, Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal.

OM.- Operación y mantenimiento.

OMC.- Cde mantenimiento y operación.

Path loss: Se trata de la reducción de densidad de potencia (atenuación) de una onda electromagnética en un punto.

PDC.- Personal Digital Communications, en español, Comunicaciones Digitales Personales.

PMTP.- Enlace punto a multipunto.

PSTN.- Public Switched Telephone Network, en español, red telefónica pública conmutada.

RACH.- Optimización del Acceso Aleatorio.

RAN.- Red de radio-acceso.

RF.- Radiofrecuencia.

RNC.- Radio Network Control, en español, controladora de la red de radio.

ROAMING.- Roaming de datos significa que el teléfono está usando una red celular que no pertenece a tu operador celular para enviar y recibir datos.

RSCP.- Received Signal Code Power, en español, potencia recibida de la señal de código.

RU.- Unidad de Radio

SC-FDMA: Single Carrier Frequency Division Multiple Access, en español, Acceso Múltiple por División de Frecuencia de única portadora.

SIM.- Módulo de Identificación de Suscriptor o chip.

Small Cell.- Células pequeñas.

SMS.- Short Message Service, en español, servicio de mensajes cortos.

SON.- Self-Organizing Network, en español, Redes Auto-organizadas.

TDD: Time Division Multiplexing, en español, Duplexación por división de tiempo.

TD-SCDMA.- Tecnología CDMA Síncrona por División de Tiempo

TICs.- Tecnologías de la información y comunicación.

TRAU.- Unidad encargada de adaptar y hacer la conversión de código y velocidad de las señales.

UE.- User Equipment, en español, Equipo de Usuario.

UIT.- La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

UIT.- Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UIT-R.- Radiocommunication Sector of the International Telecommunication Union, en español, Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

UMTS.- Universal Mobile Telecommunication System, en español, sistema universal de telecomunicaciones móvil.

UTRAN.- UMTS Radio Access Network, en español, red de acceso de radio UMTS.

WAP.- Wireless Application Protocol, en español, protocolo de aplicaciones inalámbricas.

WCDMA.- Wideband Code Division Multiple Access, en español, acceso múltiple por división de código de banda ancha.

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access, en español, Acceso múltiple por división de código de banda ancha.

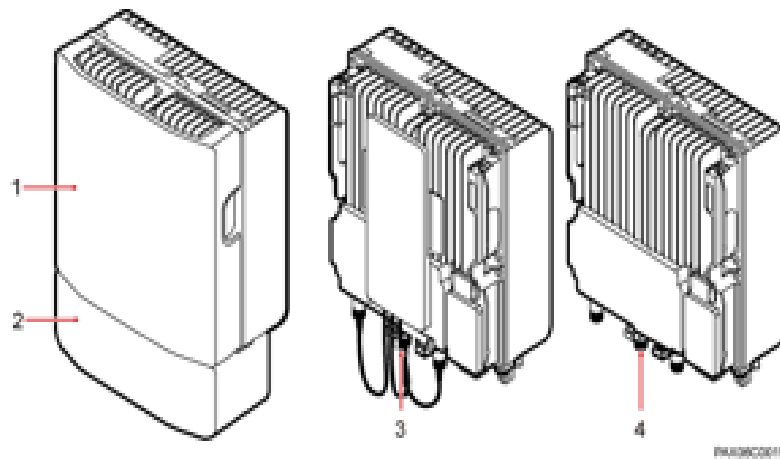
ANEXOS

BTS3202E Exterior

The BTS3202E has a modular design with its ports on the bottom.

[Figure 1](#) shows the BTS3202E. The BTS3202E on the left has a housing, and the BTS3202E on the right does not have a housing. The camouflage shell is optional.

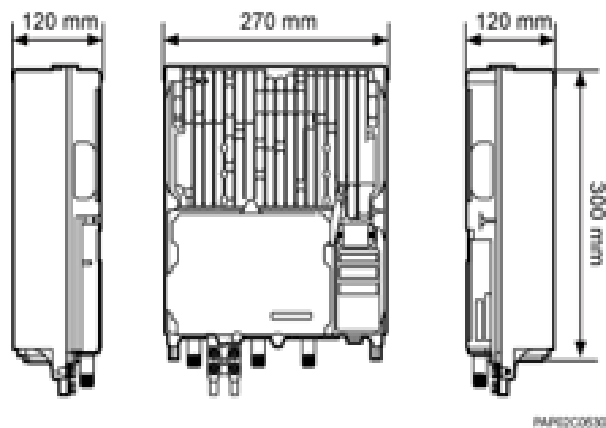
Figure 1 BTS3202E

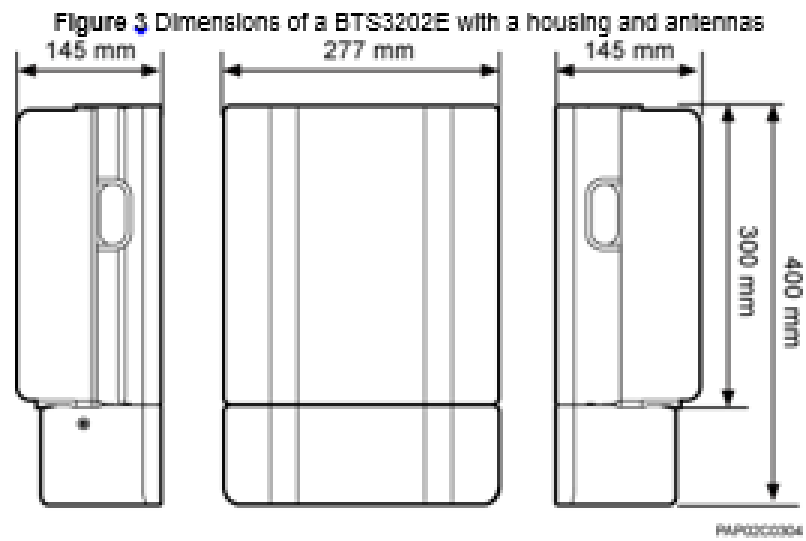


(1) Upper housing	(2) Camouflage shell	(3) BTS3202E with built-in antenna	(4) BTS3202E with external antennas
-------------------	----------------------	------------------------------------	-------------------------------------

[Figure 2](#) shows the dimensions of a BTS3202E without a housing, and [Figure 3](#) shows the dimensions of a BTS3202E with a housing.

Figure 2 Dimensions of a BTS3202E without a housing

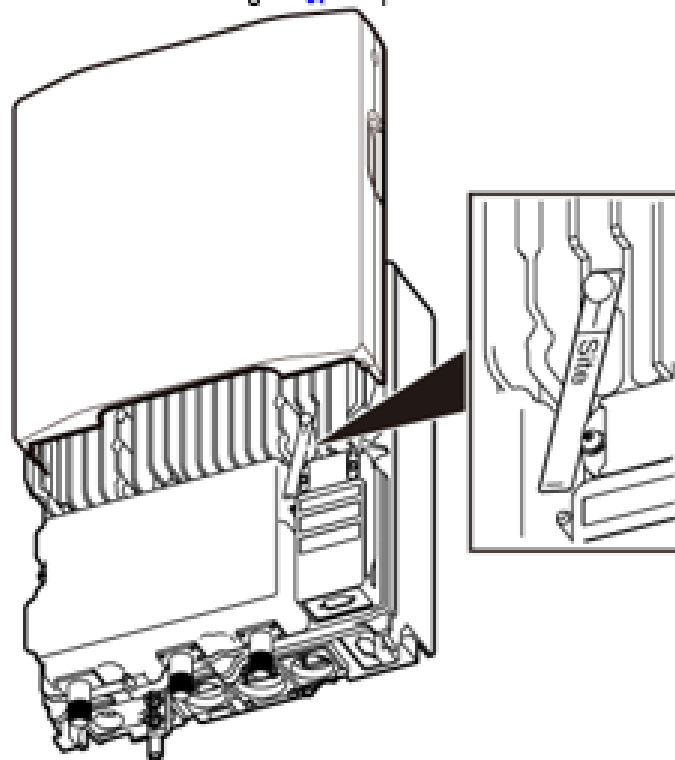




The electronic serial number (ESN) identifies a unique device, which is used during commissioning. The ESN is printed on a label, as shown in [Figure 4](#).

|

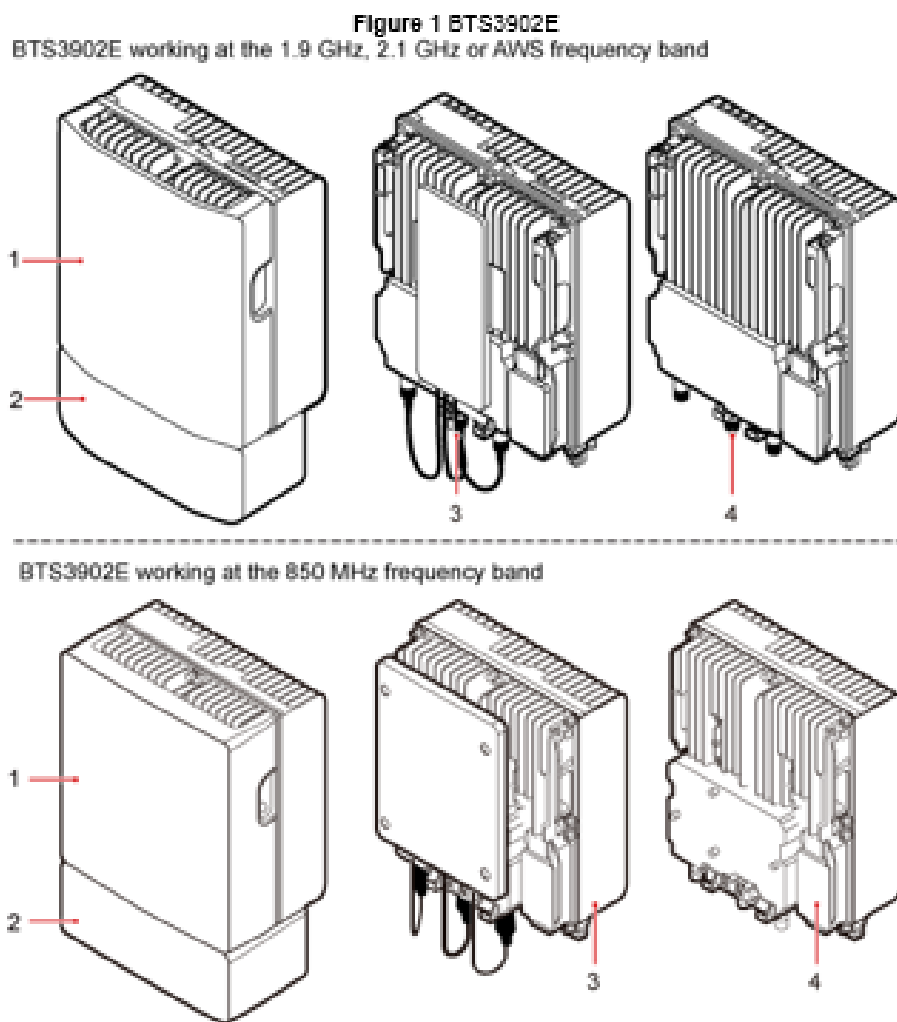
Figure 4 ESN position



BTS3902E Exterior

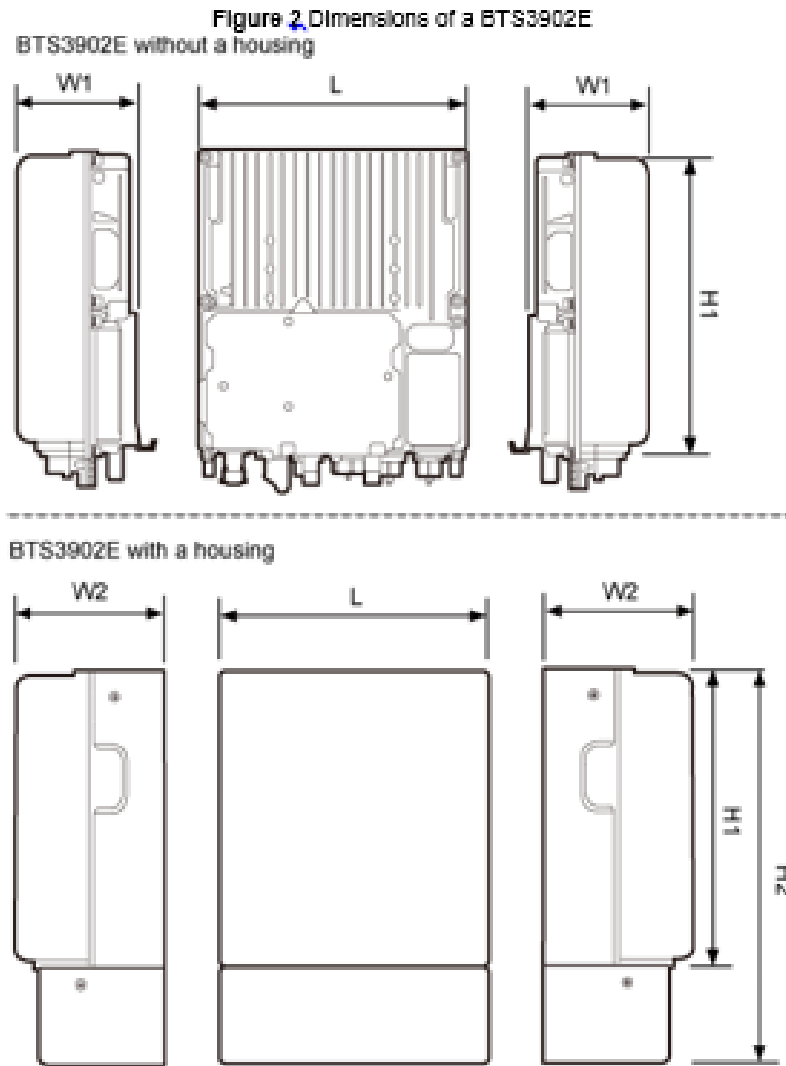
The BTS3902E has a modular design with its ports on the bottom.

[Figure 1](#) shows the BTS3902E. The BTS3902E on the left has a housing, and the BTS3902E on the right does not have a housing. The camouflage shell is optional.



(1) Upper housing	(2) Camouflage shell	(3) BTS3902E with built-in antenna	(4) BTS3902E with external antennas
-------------------	----------------------	------------------------------------	-------------------------------------

[Figure 2](#) shows the dimensions of a BTS3902E, [Table 1](#) shows the specifications of a BTS3902E



PAF02C0002

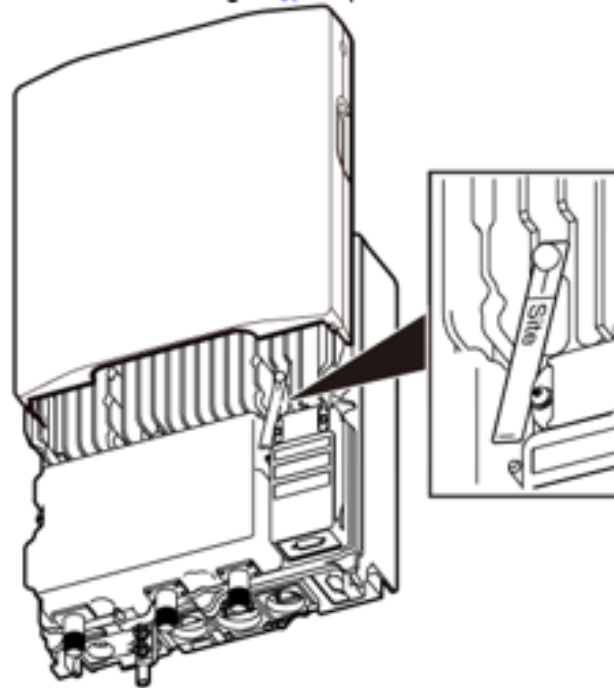
Table 1 Specifications of a BTS3902E		
Module	Dimensions (H1 x W1 x D) (Without the Housing)	Dimensions (H2 x W2 x D) (with the Housing)
BTS3902E working at the 1.9 GHz, 2.1 GHz or AWS frequency band	300 mm x 120 mm x 270 mm	400 mm x 145 mm x 277 mm

Table 1 Specifications of a BTS3902E

Module	Dimensions (H1 x W1 x D) (Without the Housing)	Dimensions (H2 x W2 x D) (with the Housing)
BTS3902E working at the 850MHz frequency band	300 mm x 127 mm x 270 mm	400 mm x 170 mm x 277 mm

The electronic serial number (ESN) identifies a unique device, which is used during commissioning. The ESN is printed on a label, as shown in [Figure 3](#).

Figure 3 ESN position



PAP02C0500

Parent topic: [BTS3902E Overview](#)

DXX-1710-2200/1710-2200-65/65-18i/18i-M/M

Model: ADU451819



Electrical Properties												
Frequency range (MHz)	2 x (1710 - 2200)											
	1710 - 1880			1880 - 1990			1920 - 2170			2170 - 2200		
Polarization	+45°, -45°											
Electrical downtilt (°)	0 - 10, continuously adjustable, each band separately											
Gain (dBi)	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°
	17.0	17.4	17.1	17.3	17.7	17.4	17.6	18.0	17.4	17.5	18.0	17.4
Side lobe suppression for first side lobe above main beam (Typ.) (dB)	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°
	18	17	17	19	18	18	19	18	17	19	18	17
Horizontal 3dB beam width (°)	67			64			61			60		
Vertical 3dB beam width (°)	7.5			7.0			6.6			6.2		
VSWR	< 1.5											
Isolation between ports (dB)	≥ 30											
Front to back ratio, copolar (dB)	Typ. 28											
Cross polar ratio (dB)	0°	Typ. 22										
	±60°	Typ. 10										
Max. power per input (W)	300 (at 50°C ambient temperature)											
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -153 (2 x 43 dBm carrier)											
Squint (°)	Avg. 2											
Tracking (dB)	Avg. 1.5 (within 10dB HBW)											
Impedance (Ω)	50											
Grounding	DC Ground											

Mechanical Properties	
Antenna dimensions (H x W x D) (mm)	1311 x 323 x 89
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	1595 x 365 x 145
Antenna weight (kg)	12.8
Clamps weight (kg)	2.9 (2 units)
Antenna packing weight (kg)	19.2 (included clamps)
Mast diameter supported (mm)	50 - 115
Radome material	Fiberglass
Radome colour	Light grey
Operational temperature (°C)	-55 ... +65
Wind load (N)	Frontal: 565 (at 150 km/h) Lateral: 105 (at 150 km/h) Rear side: 640 (at 150 km/h)
Max. operational wind speed (km/h)	200
Survival wind speed (km/h)	250
Connector	4 x 7/16 DIN Female
Connector position	Bottom

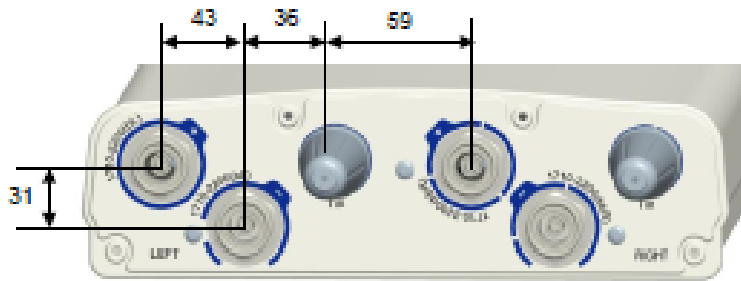
Accessories

Item	Model	Description	Weight	Units per antenna
Downtilt kit	ASMDT0801	Mechanical downtilt: 0 - 15 °	1.3 kg	1 (Separate packing)



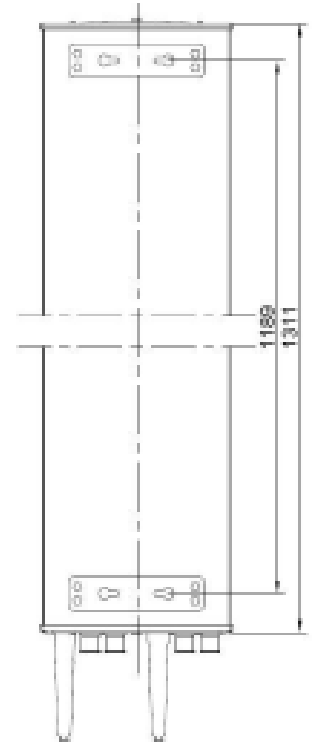
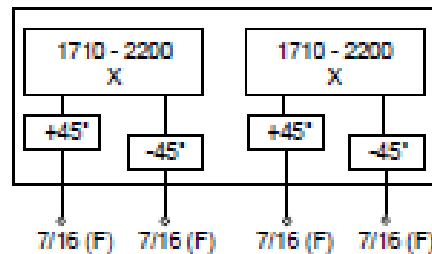
DXX-1710-2200/1710-2200-65/65-18i/18i-M/M

Model: ADU451819

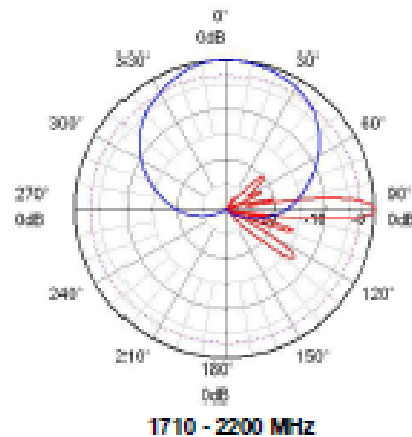


L - Left Column R - Right Column

Unit: mm



Pattern sample for reference



NOTE

1. Facilities, such as towers and poles, must bear the weight and wind load of antennas.
2. HUAWEI's standard brackets and accessories must be used for any installation.
3. The antenna working environment must meet the requirements specified in the datasheet.
4. Only qualified personnel are allowed to perform installation. Installation tools and procedures must conform to requirements described in the antenna installation guide.

HUAWEI BTS3036 System Structure

ISSUE 1.0

www.huawei.com

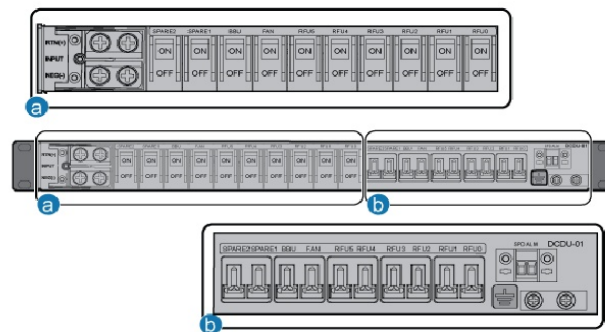
HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. All rights reserved



3.1 Function of DCDU (10 Outputs)

- The DCDU provides one input and 10 outputs and distributes the -48 V DC power to the BBU, DRFU, and fan box in the cabinet.

DCDU (10 outputs)

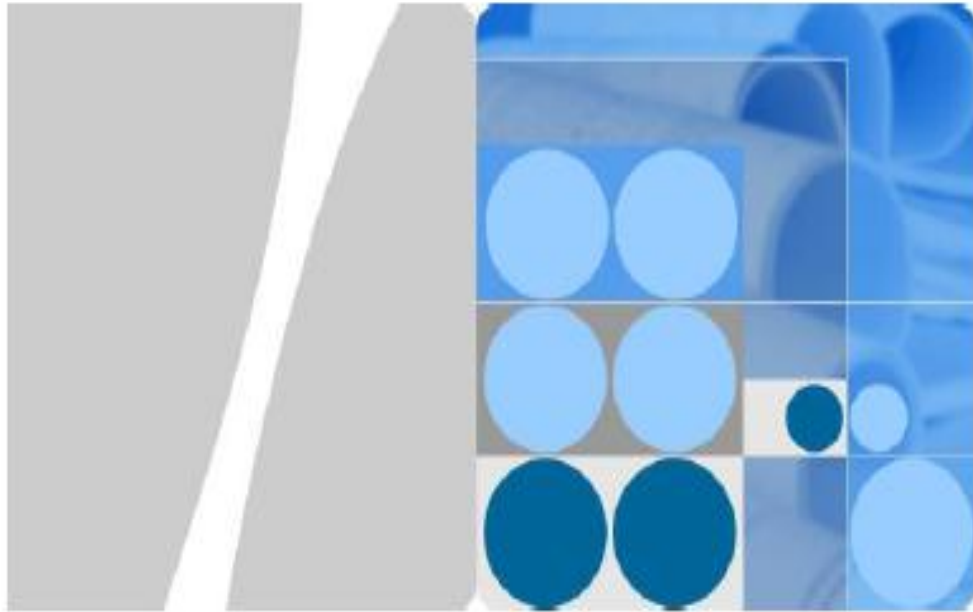


3.2 Specification of DCDU(10 Outputs)

Item		Specifications
Dimensions		Module: 442.0 mm (W) x 42.0 mm (H)
Weight		≤ 3kg
Working voltage	Normal value	-48 V DC
	Permissible Range	-38.4 V DC to -57 V DC

3.4 Panel of DCDU (four outputs)

Name	Label	Description
Power input terminal	NEG(-)	DCDU low level input terminal
	RTN(+)	DCDU high level input terminal
Power output port	SPARE2, SPARE1, BBU, FAN, and RFU5-	Power ports supplying the 10 outputs of power to the BBU, DRFU, GATM, and fan box
Power switch	RFU0 SPARE2, SPARE1, BBU, FAN, and RFU5-	Power switch controlling the 10 outputs for the BBU, DRFU, GATM, and fan box
Alarm output port	RFU0 SPD ALM	Dry contact alarm output port



BBU3900 Description

Issue 01
Date 2012-07-30

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.



Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2012. All rights reserved.

No part of this document may be reproduced or transmitted in any form or by any means without prior written consent of Huawei Technologies Co., Ltd.

Trademarks and Permissions



and other Huawei trademarks are trademarks of Huawei Technologies Co., Ltd.

All other trademarks and trade names mentioned in this document are the property of their respective holders.

Notice

The purchased products, services and features are stipulated by the contract made between Huawei and the customer. All or part of the products, services and features described in this document may not be within the purchase scope or the usage scope. Unless otherwise specified in the contract, all statements, information, and recommendations in this document are provided "AS IS" without warranties, guarantees or representations of any kind, either express or implied.

The information in this document is subject to change without notice. Every effort has been made in the preparation of this document to ensure accuracy of the contents, but all statements, information, and recommendations in this document do not constitute the warranty of any kind, express or implied.

Huawei Technologies Co., Ltd.

Address: Huawei Industrial Base
Bantian, Longgang
Shenzhen 518129
People's Republic of China

Website: <http://www.huawei.com>

Email: support@huawei.com



Contents

About This Document	4
1 Overview	5
1.1 BBU3900 Functions.....	5
1.2 Exterior of the BBU3900.....	5
1.3 BBU3900 Boards.....	6
1.3.1 LMPT.....	6
1.3.2 UMPT.....	7
1.3.3 LBBP.....	9
1.3.4 UTRP.....	10
1.3.5 USCU.....	11
1.3.6 UELP.....	13
1.3.7 UFLP.....	13
1.3.8 UPEU.....	14
1.3.9 UEIU.....	15
1.3.10 FAN.....	16
1.4 BBU3900 Board Configuration.....	18
2 Technical Specifications	19
2.1 Capacity.....	19
2.2 Transmission Ports.....	19
2.3 Input Power.....	20
2.4 Physical Specifications.....	20
2.5 Environmental Specifications.....	20
3 Acronyms and Abbreviations	22

About This Document

Overview

This document describes the network position, product architecture and characteristics, and related technical specifications of the BBU3900, helps users learn the basic information about the BBU3900.

Intended Audience

This document is intended for:

- Huawei technical support
- System engineers
- Network planning engineers

Change History

Updates between document issues are cumulative. Therefore, the latest document issue contains all updates made in previous issues.

Issue 01 (2012-07-30)

This is the first commercial release.

1 Overview

1.1 BBU3900 Functions

A BBU3900 is a baseband unit that performs the following functions:

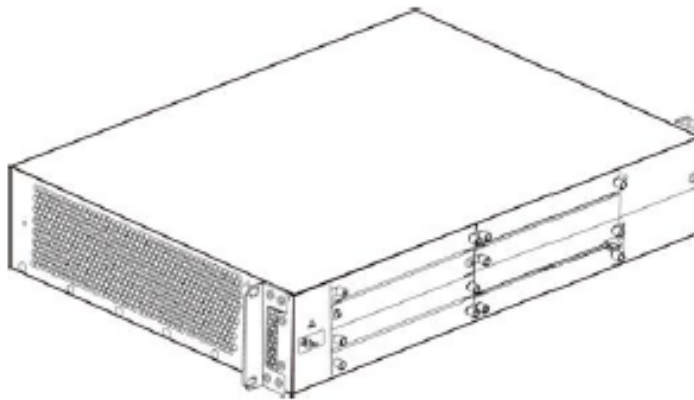
- Provides S1 ports for communication between an E-UTRAN NodeB (eNodeB) and an MME/S-GW, and X2 ports for communication between eNodeBs. E-UTRAN is short for evolved universal terrestrial radio access network.
- Provides common public radio interface (CPRI) ports for communication with RRUs and processes uplink and downlink baseband signals. RRU is short for remote radio unit.
- Manages the eNodeB through operation and maintenance (OM) and signaling message processing.
- Provides an OM channel to the local maintenance terminal (LMT) or M2000. iManager M2000 (M2000). The M2000 is an integrated OM system designed by Huawei.
- Provides clock ports for clock synchronization, alarm monitoring ports for environment monitoring, and a Universal Serial Bus (USB) port for commissioning using a USB flash drive. The security of the USB port is ensured by encryption.

1.2 Exterior of the BBU3900

The BBU3900 is a case measuring 19 inch wide and 2 U high. It can be installed indoors, such as an office building or residence, or be installed in a cabinet with surge protection in an outdoor place, such as a basement, balcony, corridor, or garage.

Figure 1-1 shows the exterior of the BBU3900.

Figure 1-1 BBU3900



1.3 BBU3900 Boards

The following boards can be installed in the BBU3900:

- LMPT and UMPT
- LBBP
- UTRP
- USCU
- UELP and UFLP
- UPEU
- UEIU
- FAN

1.3.1 LMPT

LMPT is short for Long Term Evolution (LTE) main processing and transmission unit.

Panel

Figure 1-2 shows the panel of the LMPT.

Figure 1-2 LMPT panel



Functions

An LMPT performs the following functions:

- Controls and manages the eNodeB configuration, devices, performance, and radio resources, and processes the eNodeB signaling.
- Provides clock reference, transmission ports, and the maintenance link connecting to the operation and maintenance center (OMC). The OMC can be the LMT or M2000 client.

Ports

Table 1-1 describes the ports on the LMPT.

Table 1-1 Ports on the LMPT

Label	Connector	Number of Ports	Description
SFP0 and SFP1	LC	2	FE/GE optical ports
FE/GE0 and FE/GE1	RJ45	2	FE/GE electrical ports
USB	USB	1	Software loading port The security of the USB port is ensured by encryption.
TST	USB	1	Testing port The TST port is used for commissioning the base station rather than importing or exporting the base station configuration.
ETH	RJ45	1	Local maintenance port
GPS	SMA	1	Global Positioning System (GPS) antenna port
RST	N/A	1	Hardware reset button

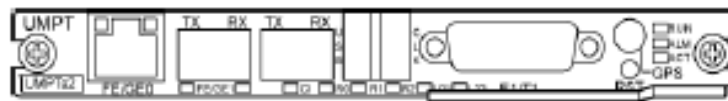
1.3.2 UMPT

UMPT is short for universal main processing and transmission unit.

Panel

Figure 1-3 shows the panel of the UMPT.

Figure 1-3 UMPT panel



Functions

A UMPT performs the following functions:

- Performs OM functions, including configuration management, equipment management, performance monitoring, signaling processing, and active/standby switchover.
- Provides clock reference, transmission ports, and the maintenance link connecting to the OMC. The OMC can be the LMT or M2000 client.
- Provides the IDx1 channel through which low rate user panel data and control or maintenance signals of each board in the baseband unit (BBU) are transmitted to the target port.

Ports

Table 1-2 describes the ports on the UMPT.

Table 1-2 Ports on the UMPT

Label	Connector	Number of Ports	Description
FE/GE0	RJ45	1	FE/GE electrical port
FE/GE1	SFP	1	FE/GE optical port
USB	USB	1	Software loading and Ethernet commissioning port 1. The security of the USB port is ensured by encryption. 2. When the USB port functions as a commissioning Ethernet port, ensure that an OM port has been opened and the user has obtained required authorities for accessing the base station through the OM port before accessing the base station through the USB port.
CLK	USB	1	Transmits Remote Global Positioning System (RGPS) or time of day (TOD) clock signals and information about serial ports
E1/T1	DB26 female	1	Transmits and receives four links of E1/T1 signals

Label	Connector	Number of Ports	Description
GPS	SMA	1	GPS antenna port
S0	SFP	1	Reserved

1.3.3 LBBP

LBBP is short for LTE baseband processing unit. The types of LBBPs are LBBPc, LBBPd1, and LBBPd2.

Panel

Figure 1-4 shows the panel of the LBBPc.

Figure 1-4 LBBPc panel



Figure 1-5 shows the panel of the LBBPd1.

Figure 1-5 LBBPd1 panel



NOTE

The LBBPd1, and LBBPd2 have silkscreens LBBPd1, and LBBPd2 indicating their board types on the lower left corner of the board panel, respectively.

Functions

An LBBP performs the following functions:

- Provides CPRI ports for communication with radio frequency (RF) modules.
- Processes uplink and downlink baseband signals.

Ports

Table 1-3 shows the ports on the LBBPc.

Table 1-3 Ports on the LBBPc

Label	Connector	Number of Ports	Description
CPRI0 to CPRI5	SFP, female	6	Data transmission ports that connect to RF modules. These ports support electrical and optical signal input and output.

Table 1-4 shows the ports on the LBBPd1 and LBBPd2.

Table 1-4 Ports on the LBBPd1 and LBBPd2

Label	Connector	Number of Ports	Description
CPRI0 to CPRI5	SFP, female	6	Data transmission ports that connect to RF modules. These ports support electrical and optical signal input and output.
HEI	QSFP	1	Reserved.

1.3.4 UTRP

The UTRP is short for universal transmission processing unit. The types of UTRPs are UTRP4 and UTRPc.

Panel

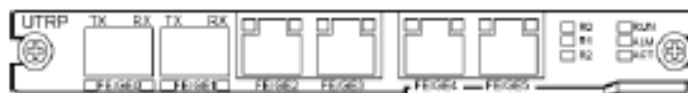
Figure 1-6 shows the panel of the UTRP4.

Figure 1-6 UTRP4 panel



Figure 1-7 shows the panel of the UTRPc.

Figure 1-7 UTRPc panel



Functions

- The UTRP4 is supported in eRAN1.1 and later versions. It provides two DB26 ports and transmits eight links of E1/T1 signals.
- The UTRPc is supported in eRAN3.0 and later versions. It provides four FE/GE electrical ports and two FE/GE optical ports.

Ports

Table 1-5 shows the ports on the UTRP4.

Table 1-5 Ports on the UTRP4

Label	Connector	Number of Ports	Description
E1/T1 (0 to 3)	DB26	1	Transmits and receives one to three links of E1/T1 signals
E1/T1 (4 to 7)	DB26	1	Transmits and receives four to seven links of E1/T1 signals

Table 1-6 shows the ports on the UTRPc.

Table 1-6 Ports on the UTRPc

Label	Connector	Number of Ports	Description
FE/GE0 to FE/GE3	RJ45	4	FE/GE electrical ports
FE/GE0 and FE/GE1	SFP	2	FE/GE optical ports

1.3.5 USCU

The USCU is short for universal satellite card and clock unit. The types of USCUs are USCUB0, USCUB1, and USCUB2.

Panel

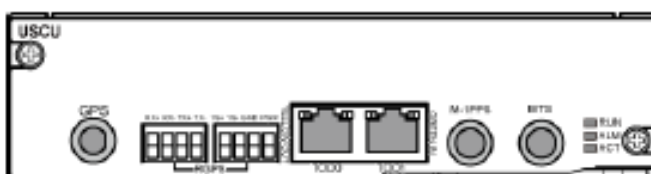
Figure 1-8 shows the panel of the USCUB0/USCUB1.

Figure 1-8 USCUB0/USCUB1 panel



Figure 1-9 shows the panel of the USCUB2

Figure 1-9 USCUB2 panel



Functions

A USCUB provides ports for communication with the external RGPS, Metro1000, and building integrated timing supply (BITS) device, and for TOD signal input.

In addition, the functions of the USCUB1 and USCUB2 are as follows:

- The USCUB1, which is configured with a built-in satellite card, obtains clock signals from the GPS for clock synchronization and obtains accurate clock signals from the transport network.
- The USCUB2 obtains GPS, Global Navigation Satellite System (GLONASS), or COMPASS clock signals.
- The USCUB0 does not have a satellite card.

Ports

The USCUB0, USCUB1, and USCUB2 all provide the same ports as described in Table 1-7.

Table 1-7 Ports on the USCUB0/USCUB1/USCUB2

Label	Connector	Number of Ports	Description
GPS	SMA coaxial	1	Receives GPS signals
RGPS	PCB welded wiring terminal	1	Receives RGPS signals
TOD0	RJ45	1	Receives or transmits 1PPS+TOD signals
TOD1	RJ45	1	Receives or transmits 1PPS+TOD signals, and receives TOD signals from the Metro1000.
M-1PPS	SMA coaxial	1	Receives 1PPS signals from the Metro1000
BITS	SMA coaxial	1	Receives BITS clock signals, and supports adaptive input of 2.048 MHz and 10 MHz reference clocks