

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

**“Planificación del Acceso a Radio de una
Estación Base de Tercera generación (3G) de la
Corporación Nacional de Telecomunicaciones
CNT EP en Suscal”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES**

Director:

Ing. Edgar Efraín Ochoa Figueroa, MsC.

Autores:

Chauca Cárdenas Walter Javier

Méndez Villavicencio Diego Vinicio

**Cuenca – Ecuador
2015**



RESUMEN

Con el pasar de los años, los requerimientos de acceso de alta velocidad en los teléfonos celulares han incrementado. Por lo que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones se ve en la obligación de mejorar sus servicios, la CNT se encuentra actualmente en un proceso de expansión y optimización de su red de telefonía móvil de Tercera Generación a nivel nacional. Es por eso que ha comenzado a instalar nuevos nodos de telefonía celular con tecnología HSPA+ en diversos cantones y a optimizar los nodos existentes con tecnologías anteriores.

Este proyecto de tesis realiza el estudio de planificación para la red de acceso a radio de una estación base de CNT en el cantón Suscal con un especial enfoque en las predicciones de cobertura y capacidad, lo que sirve para identificar y establecer los criterios más importantes a tomar en cuenta para un área suburbana como esta. Además se presenta un informe para la evolución de un nodo de tercera a cuarta generación.

PALABRAS CLAVE: Planificación de redes, UMTS, LTE, Acceso a Radio, cobertura, capacidad, estación base, NodoB, modelos de propagación, telefonía celular, link budget, respiración de celda, tilt.



ABSTRACT

Throughout the years, the demand of high-speed access on cellphones has increased. For this reason, Corporación Nacional de Telecomunicaciones is improving their services. Nowadays, CNT is expanding and optimizing its Third Generation network around the country. That is why it has begun installing new network nodes with HSPA+ technology in many cities and optimizing the existing nodes with previous technology. Moreover, it is upgrading current nodes with earlier technology.

This thesis project analyzes the planning of the radio network access from a CNT base station in Suscal city. The project focuses in the predictions of coverage and capacity in order to identify and establish the more relevant criteria to consider in a suburban area like this. In addition, it shows a report about the evolution from a Third to a Fourth Generation's node.

KEYWORDS: Network planning, UMTS, LTE, Radio Access, coverage, capacity, Base Station, NodoB, propagation models, cell phone, link budget, cell breathing, tilt.



INDICE

CAPITULO 1

1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 Justificación del proyecto.....	20
1.2 Alcance del proyecto.....	20
1.3 Objetivo general.....	21
1.4 Objetivos específicos.....	21
1.5 Estado del arte.....	21

CAPITULO 2

2 MARCO TEÓRICO	26
2.1 Redes celulares	26
2.1.1 Primera generación de redes celulares	26
2.1.2 Segunda generación de redes celulares	26
2.1.3 Sistemas de Generación 2.5 (2.5G)	27
2.1.4 Limitaciones de las redes 2G	28
2.2 Redes celulares de tercera generación.....	29
2.2.1 Visión general de 3G	29
2.1.1 Propuestas del estándar 3G	29
2.3 Modelos de propagación de ondas	35
2.3.1 Modelo Okumura-Hata	38
2.3.2 Modelo Cost-Hata.....	39
2.3.3 Modelo Walfish-Ikegami	40
2.3.4 Modelo Ray Tracing	42
2.3.5 Modelos de propagación disponibles en el software ATOLL.....	42
2.4 Inclinación mecánica y eléctrica de las antenas	43
2.4.1 Inclinación Mecánica	44
2.4.2 Inclinación Eléctrica.....	45
2.4.3 Variación del patrón de radiación	46

CAPITULO 3



3 PLANIFICACIÓN DE LA RED DE RADIO	48
3.1 Proceso de planificación de la red de radio.....	48
3.1.1 Proyecto de planificación de la red.....	48
3.1.2 Criterios y objetivos de la planificación de la red.....	48
3.1.3 Pasos para la planificación de una red.....	53
3.2 Dimensionamiento de la red de radio.....	61
3.2.1 Link Budgets.....	61
3.3 Propagación de Ondas de Radio	68
3.4 Planificación de cobertura.....	69
3.4.1 Análisis de las posibles ubicaciones para la estación base.....	70
3.4.2 Análisis de Orientación de las Antenas	71
3.4.3 Determinar las alturas e inclinaciones de las antenas.....	73
3.4.4 Simulación de Cobertura	78
3.5 Planificación de capacidad.....	81
3.5.1 El factor de carga en el enlace de subida.....	82
3.5.2 El factor de carga en el enlace de bajada.	84
3.5.3 Cálculo de capacidad de carga para la celda.....	87
3.6 Variación del radio de celda en función de la capacidad	93
3.6.1 Enlace de bajada.....	93
3.6.2 Enlace de subida	98
3.6.3 Simulación de la variación del radio de celda en función de la capacidad	102
3.7 Límites de zonas de exposición de personas	105
3.7.1 Definiciones.....	105
3.7.2 Cálculos de las zonas.....	106
 CAPITULO 4	
4 EVOLUCIÓN DEL NODO A 4G	110
4.1 LTE	110
4.1.1 Características de LTE	110
4.1.2 Infraestructura y elementos de una red LTE	111
4.2 Aspectos Regulatorios	113
4.2.1 Bandas de frecuencia para LTE	113
4.3 Aspectos Técnicos.....	115



4.3.1	El Cabezal de Radio Remoto “Alcatel-Lucent 9341 RRH” 40W 2.100MHz (9341 RRH40-21)	116
4.3.2	La Unidad de Banda Base “Alcatel-Lucent 9926 BBU Digital 2U eNode B”	119
CAPITULO 5		
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		130
CAPITULO 6		
6 GLOSARIO, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS		134
6.1	Glosario.....	134
6.2	Bibliografía	141
6.3	Anexos	146



Índice De Tablas

Tabla 1.1 Participación de las operadoras de telefonía celular móvil en el mercado ecuatoriano.	23
Tabla 2.1 Parámetros y rangos establecidos para el modelo Okumura-Hata.	38
Tabla 2.2 Parámetros y rangos establecidos para el modelo Cost-Hata.	40
Tabla 2.3 Datos técnicos de modelos de propagación de ondas en ATOLL....	43
Tabla 3.1 Referencias geográficas de las opciones para la instalación de la estación base.	52
Tabla 3.2 Requerimientos de cobertura y calidad de servicio.	55
Tabla 3.3 Parámetros de calidad CNT EP (1 al 31 de Julio de 2014). (SUPERTEL, s.f.)	55
Tabla 3.4 Predicción de captación de abonados.	56
Tabla 3.5 Tráfico generado por usuario.	57
Tabla 3.6 Requerimiento de señal a ruido para los servicios móviles. Enlaces de subida y bajada.	58
Tabla 3.7 Datos asumidos para el UE.	62
Tabla 3.8 Datos asumidos para la BTS.	63
Tabla 3.9 Link Budget para enlace de subida, servicio de voz.	64
Tabla 3.10 Link Budget para enlace de subida, servicio de datos.	65
Tabla 3.11 Link Budget para enlace de bajada, servicio de voz.	66
Tabla 3.12 Link Budget para enlace de bajada, servicio de datos.	67
Tabla 3.13 Radios de celda para servicios de voz y datos.	67
Tabla 3.14 Datos técnicos del modelo Cost-Hata.	68
Tabla 3.15 Referencias geográficas de las posibles ubicaciones para la estación bases.	70
Tabla 3.16 Especificaciones de las antenas a utilizar.	71
Tabla 3.17 Inclinación y alturas calculadas para las antenas con datos del perfil de 170°.	77
Tabla 3.18 Inclinaciones calculadas para las antenas.	77
Tabla 3.19 Inclinación de las antenas.	77
Tabla 3.20 Parámetros para cálculos de factor de carga para enlace de subida en un sistema UMTS.	82
Tabla 3.21 Datos asumidos para los cálculos del factor de carga en el enlace de subida. Servicio de voz y datos.	83
Tabla 3.22 Parámetros para cálculos de factor de carga para enlace de bajada en un sistema UMTS.	86
Tabla 3.23 Parámetros asumidos para el cálculo del factor de carga en el enlace de bajada.	86
Tabla 3.24 Factor de carga para la capacidad de transmisión en el enlace de subida.	88
Tabla 3.25 Valores de BLER y Capacidad de canal requerida para cálculos de número de usuarios en enlace de subida.	88
Tabla 3.26 Valores asumidos para los parámetros de cálculo de pérdidas en el enlace de bajada en función de la carga.	95



Tabla 3.27 Cálculos de máximas pérdidas en trayectoria en función de la carga. Enlace de bajada.	96
Tabla 3.28 Cálculo de radios de celda en función de máxima pérdida por trayectoria y capacidad.	97
Tabla 3.29 Variación de pérdida de trayectoria máxima y radio de celda en función de la tasa de transferencia en el enlace de subida.....	99
Tabla 3.30 Leyenda figura 3.41.....	103
Tabla 3.31 Límites de densidad de potencia campo eléctrico y campo magnético. (CONATEL, RESOLUCION 01-01-CONATEL-2005, 2005)	106
Tabla 3.32 Límites de densidad de potencia para las antenas de la estación base.	106
Tabla 3.33 Datos para el cálculo de las distancias de seguridad.....	107
Tabla 3.34 Distancias de seguridad.....	107
Tabla 4.1 Entidades de red e interfaces de EPC.	112
Tabla 4.2 Bandas de frecuencia pareadas en 3GPP.	114
Tabla 4.3 Bandas de frecuencia no pareadas en 3GPP. (LTE_Introduction_into_GSM-UMTS_Networks, 210)	114
Tabla 4.4 Especificaciones características del 9341 RRH40-21 para el enlace de bajada.	116
Tabla 4.5 Especificaciones características del 9341 RRH40-21 para el enlace de bajada.	117
Tabla 4.6 Alarmas emitidas por la BBU.	128



Índice de Figuras

Figura 1.1 Ubicación del cantón Suscal	24
Figura 1.2 Cobertura del servicio de voz en el cantón de Suscal.....	25
Figura 2.1 Arquitectura general de los sistemas GSM y GPRS	28
Figura 2.2 Asignaciones de espectro IMT-2000. (Korhonen, 2003).....	29
Figura 2.3 Ancho de banda WCDMA	31
Figura 2.4 Arquitectura básica de UMTS	33
Figura 2.5 Tipos de celdas según su distancia de cobertura.	36
Figura 2.6 Mecanismos de propagación de las ondas electromagnéticas.....	38
Figura 2.7 Parámetros a considerar en el modelo Walfish-Ikegami.	41
Figura 2.8 Variación de la inclinación de la antena.....	44
Figura 2.9 Inclinación mecánica de antena. (Telecomhall, s.f.).....	44
Figura 2.10 Variación de dirección de los lóbulos principal y posterior; inclinación mecánica. (Seminario: antenas para sistemas de telecomunicaciones, Universidad Tecnologica Nacional, Facultad Regional Haedo)	45
Figura 2.11 Inclinación eléctrica de antena. (Telecomhall, s.f.).....	45
Figura 2.12 Variación de dirección de los lóbulos principal y posterior inclinación eléctrica. (Seminario: antenas para sistemas de telecomunicaciones, Universidad Tecnologica Nacional, Facultad Regional Haedo).....	46
Figura 2.13 Variación del patrón de radiación inclinación mecánica vs. eléctrica.	46
Figura 2.14 Simulación: variación del patrón de radiación.....	47
Figura 3.1 Perfil 1 del área de cobertura.....	50
Figura 3.2 Perfil 2 del área de cobertura.....	51
Figura 3.3 Posibles ubicaciones geográficas para la instalación de la estación base.....	52
Figura 3.4 División de la banda de 1900. (CONATEL, TEL-804-29-CONATEL-2012, 2012)	53
Figura 3.5 Pasos para la planificación de una red.	53
Figura 3.6 Ancho de banda disponible por canal.	56
Figura 3.7 Pérdida por trayectoria.....	62
Figura 3.8 Rangos de velocidades.....	68
Figura 3.9 Pérdidas de trayectoria: Modelo Cost-Hata vs. Espacio libre.	69
Figura 3.10 Distancias del nodo de Suscal hacia los nodos vecinos.	70
Figura 3.11 Patrón de radiación de antena 182010DE 65F.....	71
Figura 3.12 Cobertura de la estación base con las antenas orientadas a 0°, 120° y 240°.....	72
Figura 3.13 Orientación de las antenas.	73
Figura 3.14 Cálculo de la altura e inclinación de las antenas cuando se presenta un obstáculo.....	74
Figura 3.15 Método gráfico para calcular la altura e inclinación de la antena cuando se presenta un obstáculo.	75
Figura 3.16 Método gráfico para calcular la altura e inclinación de la antena cuando no se presenta un obstáculo.	75



Figura 3.17 Perfiles en las respectivas orientaciones de las antenas	76
Figura 3.18 Cobertura de la estación base vista 2D.	78
Figura 3.19 Cobertura de la estación base vista 3D.	78
Figura 3.20 Cobertura de la estación base altura de la torre de 80 metros.	79
Figura 3.21 Análisis de cobertura en zona crítica.	80
Figura 3.22 Cobertura para los servicios de voz y datos.	81
Figura 3.23 Variación del aumento de ruido en función de la tasa de transmisión. Servicio de voz. Enlace de subida.	83
Figura 3.24 Variación del aumento de ruido en función de la tasa de transmisión. Servicio de datos. Enlace de subida.	84
Figura 3.25 Variación del aumento de ruido en función de la tasa de transmisión. Servicio de voz. Enlace de bajada.	86
Figura 3.26 Variación del aumento de ruido en función de la tasa de transmisión. Servicio de datos. Enlace de bajada.	87
Figura 3.27 Variación de throughput en función del valor de carga. Enlace de subida.	89
Figura 3.28 Número de usuarios simultáneos por servicio según el factor de carga. Servicio de voz a 12,2 kbps y de datos a 64 kbps. Enlace de subida.	90
Figura 3.29 Número de usuarios para el enlace de subida según el factor de carga. Servicio de voz y datos.	90
Figura 3.30 Variación de throughput en función del valor de carga. Enlace de bajada.	91
Figura 3.31 Número de usuarios simultáneos por servicio según el factor de carga. Servicio de voz a 12,2 kbps y de datos a 64 kbps. Enlace de bajada.	92
Figura 3.32 Número de usuarios para el enlace de bajada según el factor de carga. Servicio de voz y datos.	92
Figura 3.33 Variación de las pérdidas por trayectoria en función de la capacidad de la celda. Enlace de bajada.	96
Figura 3.34 Variación del radio de celda en función de la pérdida de trayectoria máxima.	98
Figura 3.35 Variación del radio de celda en función de la capacidad máxima de la celda.	98
Figura 3.36 Variación del radio de celda en función de la tasa de transferencia en el enlace de subida.	100
Figura 3.37 Variación del radio de celda en los enlaces de subida y bajada.	100
Figura 3.38 Relación de cobertura vs. Capacidad para usuarios del servicio de voz.	101
Figura 3.39 Radio de celda vs. Número de usuarios simultáneos. Servicio de voz a 12,2 kbps.	102
Figura 3.40 Radio de celda vs. Número de usuarios simultáneos. Servicio de datos a 64 kbps.	102
Figura 3.41 Variación del rango de la celda de acuerdo a la carga.	103
Figura 3.42 Variación del rango de la celda de acuerdo a la carga individualmente.	104
Figura 3.43 Comparación cobertura con tasas de transferencia de 714 kbps y 744 kbps.	104

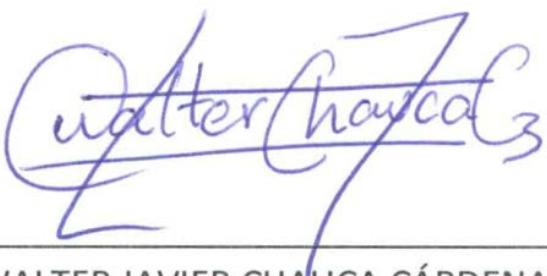


Figura 3.44 Comparación cobertura tasas de transferencia 710 kbps vs 814 kbps	105
Figura 3.45 Esquema para el cálculo de la distancia antena-persona.....	108
Figura 3.46 Resultados de las distancias de seguridad.....	108
Figura 4.1 Principales entidades de la red LTE.....	111
Figura 4.2 RRH Alcatel-Lucent 9341. Vista frontal. Fuente: hoja de datos del equipo.	115
Figura 4.3 Conexiones de la BBU al RRH del sitio local al sitio remoto.....	116
Figura 4.4 Alcatel-Lucent. 9341 RRH40-21. Vista superior.....	117
Figura 4.5 Alcatel-Lucent. 9341 RRH40-21. Vista inferior.....	118
Figura 4.6 Configuración en estrella para una sola portadora de la ALU 9341 RRH40W-21. Fuente: Hoja de datos característicos del equipo.	118
Figura 4.7 Configuración en cadena o “Daisy chain” para tres portadoras de la ALU 9341 RRH40W-21. Fuente: Hoja de datos característicos del equipo. ...	119
Figura 4.8 Alcatel-Lucent 9926 Digital 2U eNodeB. Vista frontal.	119
Figura 4.9 Medidas del equipo e identificación de los módulos que lo integran.	121
Figura 4.10 Arquitectura modular de la Unidad de Banda Base Alcatel-Lucent 9926 d2U eNB. Fuente: hoja de datos característicos del producto.	122
Figura 4.11 Ubicación del soporte de módulos CEM y tornillo Torx.....	123
Figura 4.12 Identificador de módulo individual eCEM-U.	124
Figura 4.13 Módulos de la BBU 9926. Vista frontal.....	126
Figura 4.14 Ventana de alarmas en la aplicación TIL para la BBU 9926.....	127



Yo, Walter Javier Chauca Cárdenas, autor de la tesis “Planificación del Acceso a Radio de una Estación Base de Tercera generación (3G) de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en Suscal”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 16 de Abril de 2015



WALTER JAVIER CHAUCA CÁRDENAS

C.I: 030208664-0



Yo, Diego Vinicio Méndez Villavicencio, autor de la tesis "Planificación del Acceso a Radio de una Estación Base de Tercera generación (3G) de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en Suscal", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 16 de Abril de 2015



DIEGO VINICIO MÉNDEZ VILLAVICENCIO
C.I: 010477076-3



Yo, Walter Javier Chauca Cárdenas, autor de la tesis “Planificación del Acceso a Radio de una Estación Base de Tercera generación (3G) de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en Suscal”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 16 de Abril de 2015

WALTER JAVIER CHAUCA CÁRDENAS

C.I: 030208664-0



Yo, Diego Vinicio Méndez Villavicencio, autor de la tesis “Planificación del Acceso a Radio de una Estación Base de Tercera generación (3G) de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en Suscal”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 16 de Abril de 2015



DIEGO VINICIO MÉNDEZ VILLAVICENCIO
C.I: 010477076-3



DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres, quienes con su apoyo incondicional, dedicación, esfuerzo, confianza y amor me han sabido guiar por el buen camino en cada paso de mi vida. A mi hermano Vinicio y su familia, por su apoyo incondicional.

A mi hermana Jessica quien ha sido mi inspiración para seguir adelante.

A mi tío Ibaldo por sus consejos y motivación constante.

Walter



DEDICATORIA

Todo el esfuerzo de este trabajo a mis padres, Vinicio y María Lucrecia, que compartieron y apoyaron siempre mi anhelo de ser profesional y han sabido guiarme hasta donde estoy; a Diana y Daniela, con quienes siempre he podido contar sin importar nada; a Jorge y Roberto, por todo lo que conlleva una amistad sincera; a Julissa, porque siempre ha tenido algo por enseñarme, por tanto amor.

A todas las personas que han aplaudido mis logros, y han estado conmigo en mis fracasos.

Diego



AGRADECIMIENTO

A todas esas personas que hicieron posible la culminación de esta tesis, especialmente a mi familia por el apoyo incondicional brindado en estos años de formación profesional.

A todos mis compañeros y amigos con los que compartí esta etapa.

A nuestro Director Ing. Edgar Ochoa, por apoyarnos en la realización de la misma y brindarnos su confianza.

Walter



AGRADECIMIENTO

A mis padres, por todo el apoyo y el ejemplo de vida; a todos mis amigos por el aliento y motivación. Al director de este proyecto, el Ing. Edgar Ochoa y mi compañero de tesis Walter, por su incansable constancia y su ayuda.

Diego



1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Justificación del proyecto.

En el presente proyecto se busca desarrollar la planificación de la red de acceso a radio de una Estación Base de tercera generación de la empresa Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT).

Este estudio de planificación se realizará para dimensionar la capacidad de la estación base de acuerdo a las distintas variables del sitio, con el fin de garantizar un servicio de calidad a los usuarios de telefonía móvil avanzada. El diseño deberá contemplar también el crecimiento de la demanda de los abonados, y la proyección de brindar en el futuro soporte a la variedad de servicios que ofrece la Empresa. El diseño incluirá las características necesarias para una futura migración a un nodo de Cuarta Generación (4G) LTE (Long Term Evolution).

Los puntos clave de estudio se basan en la planificación de cobertura y planificación de capacidad de la estación base. Para la planificación de cobertura se utilizará el software de simulación Atoll conjuntamente con Google Earth con los cuales se podrá observar claramente la cobertura del cantón Suscal.

La planificación del enlace radio correspondiente a la Red de Acceso, tiene igual importancia que la planificación de la arquitectura fija de la red para brindar el servicio de telefonía móvil. Por esta razón se ha delimitado el presente proyecto a la realización de una planificación detallada de la red radio que se interconectará con la red fija ya implementada en la zona.

El estudio para el diseño contempla las características de la zona como su estructura geográfica, demográfica, comportamiento climático, etc. Es importante seguir una planificación estratégica para el levantamiento de estaciones base que consideren los parámetros óptimos en función de la localidad a la que se va a brindar el servicio.

La instalación de una estación base en el cantón Suscal beneficiará a los habitantes de este sector ya que tendrán acceso a servicios de voz y datos con un determinado nivel de garantía del servicio.

1.2 Alcance del proyecto.

Este estudio de planificación incluye una introducción teórica a las tecnologías de tercera y cuarta generación, basándose principalmente en sus diferencias. El tercer capítulo, trata la planificación de la red, cálculos para el dimensionamiento de cobertura y capacidad, modelos de propagación considerados, Link Budgets, cálculo y variación del radio de celda.



Estos resultados de dimensionamiento se simulan mediante software y se presentan sobre mapas para bosquejar el alcance de la estación base.

A continuación de esto se realiza una descripción del procedimiento para la migración del nodo a tecnología de cuarta generación. Basándose en la teoría revisada inicialmente, se enumeran los cambios que debe atravesar la estación base en aspectos técnicos y regulatorios para migrar a 4G.

La planificación de redes es un campo bastante extenso, que muchas veces contempla varias disciplinas además de la ingeniería. Por eso es importante aclarar que este proyecto no considera el análisis de mercado, análisis de costos, análisis de competencias, o análisis de marcas y equipos a utilizarse. Este proyecto se limita a la planificación de la red de acceso a radio desde un punto de vista técnico.

1.3 Objetivo general.

Planificar el Acceso a Radio de una Estación Base de tercera generación (3G) para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en la localidad de Suscal.

1.4 Objetivos específicos.

- Identificar y establecer los criterios necesarios para la planificación del acceso a radio de una estación base de telefonía celular 3G para sitios suburbanos.
- Dimensionar el enlace de acceso a radio de los usuarios a la estación base y viceversa (enlaces de subida y de bajada).
- Elaborar un estudio de cobertura utilizando modelos de propagación de ondas radioeléctricas para redes móviles.
- Elaborar un estudio de capacidad de tráfico y analizar la variación de la cobertura en función de la carga de la estación base.
- Validar los resultados obtenidos de los cálculos y el dimensionamiento mediante simulaciones en software especializado.
- Definir el proceso de actualización de la estación base a un Nodo B de cuarta generación.

1.5 Estado del arte.

En general, a lo largo de los últimos años, el sector de las telecomunicaciones en el Ecuador ha atravesado una serie de cambios, reformas, y



reestructuraciones muy importantes en lo que concierne a normativas, regulación y control de prestación de servicios de telecomunicaciones.

En el año de 1993 CONECEL S.A. inició sus actividades como operador de Servicio de Telefonía Móvil Celular (STMC) bajo el nombre comercial de PORTA CELULAR, iniciando con telefonía de primera generación y acceso por división de frecuencia (FDMA) en la banda A de los 800 MHz. En el tercer trimestre del mismo año es habilitada la segunda operadora en la banda B de los 800 MHz con el nombre de OTECEL S.A. utilizando la misma tecnología que CONECEL.

Para el año de 1996 ambas operadoras incorporan el sistema D-AMPS con TDMA para obtener una digitalización de los sistemas en un 60 % en ese mismo año.

Inicialmente, ambas operadoras mantuvieron un crecimiento a la par, pero en el año 1997, la compañía americana BellSouth compró la mayor parte de las acciones de OTECEL, lo que consolidó a la operadora en el mercado y decidió establecer como su fuerte, la cartera de clientes corporativos, las principales del mercado ecuatoriano en ese entonces, mientras PORTA decidió orientarse más hacia los usuarios comunes; esto significaría más adelante una pérdida de terreno para BellSouth.

En el año 2000, Telmex adquiere el 60 % de CONECEL e impulsa un agresivo programa para promover y modernizar la red de PORTA, ampliando su cobertura y a finales del 2003 pasa a formar parte de una de las empresas de América Móvil. Implementó por primera vez el envío y recepción de SMSs. Con el tiempo implementó tecnología GSM, GSM/Turbo, EDGE, 3G con UMTS y actualmente HSPA+.

Cuando PORTA incorpora a su red el sistema GSM, ya de segunda generación, BellSouth había decidido usar CDMA. Para finales del 2004 había proyectado poder brindar servicios modernos como acceso a internet y transmisión de televisión para toda la región.

Luego, BellSouth firmó con la empresa española Telefónica Móvil, Telefónica S.A. en el 2004 y pasó a usar el nombre comercial de MOVISTAR, que podría operar hasta en quince países de América Latina; sin embargo, MOVISTAR Ecuador, siguió operando con CDMA, introduciendo el sistema GSM a su red luego de unos meses.

Para el año 2003 se concesiona el permiso de operación para la tercera operadora del Ecuador, TELECSA S.A., e inicia sus actividades en marzo de 2004 bajo el nombre de Alegro PCS. Alegro, fue inicialmente la fusión de dos operadoras de telefonía del país: ANDINATEL S.A. y PACIFICTEL S.A. Esta tercera operadora operaba con CDMA en la banda de 1.900 MHz, lo que le permitía incluso ser la primera en implementar servicios de internet inalámbrico, sin embargo, a pesar de ser una tecnología superior a GSM en eficiencia espectral y gestión de seguridad de datos de usuario, sucedió en Ecuador, lo que en muchas partes del mundo, GSM tuvo mayor éxito comercial.



En diciembre del 2007, Alegro alquila la red de acceso GSM a MOVISTAR, y ya que Alegro prestaba servicios como un operador de red con tecnología CDMA, no se lo ha considerado un Operador Móvil Virutal (OMV).

En el año 2008, PORTA renovó la concesión de frecuencias con el gobierno ecuatoriano para la prestación de Servicio Móvil Avanzado y Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional por quince años más. En el 2011 PORTA cambia su nombre comercial a CLARO, marca con la que América Móvil trabaja en quince países en la región. Durante los últimos dieciocho años creció de 13.600 a más de 10 millones de usuarios para el año 2011.

De aquí el sector de las telecomunicaciones tuvo muchas otras reestructuraciones, en el año 2008 se crea la Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública (CNT E.P.), que resulta de la fusión de las antiguas empresas ANDINATEL Y PACIFICTEL y asume el control de Alegro PCS, que no despegó en el mercado como se esperaba inicialmente debido a barreras comerciales, políticas y técnicas, disminuyendo su participación a un punto en el que para el año 2010, CNT cuenta con menos del 5 % de participación en el mercado de la telefonía móvil, y Alegro PCS opta por fusionarse definitivamente con CNT EP.

La tabla 1.1 muestra la participación de cada operadora en el mercado de telefonía celular, datos obtenidos del CONATEL hasta finales de 2012, siendo CLARO, la operadora dominante.

Operador	Participación en el mercado
CLARO	69 %
MOVISTAR	28 %
CNT EP	3 %

Tabla 2.1 Participación de las operadoras de telefonía celular móvil en el mercado ecuatoriano.

Para el 2007, CNT EP tenía casi 450.000 abonados y para julio de 2012 tenía 326.827 líneas activas. Para agosto de 2014 CNT incrementó sus líneas activas a 650.682.

Hasta diciembre del año 2013, CNT EP tenía 749 radio bases de tecnología UMTS y 63 nodos LTE en todo el Ecuador. Para septiembre del año 2014 se habían implementado 273 nuevas estaciones UMTS y 50 nuevos nodos LTE, teniendo un total de 1022 estaciones UMTS y 113 estaciones LTE.

A mediados del año 2014, CNT EP contrata los servicios de las empresas Huawei Technologies Co. Ltd. y Alcatel Lucent para la expansión y optimización de la red de tercera generación con la proyección de migrar los nodos de tercera a cuarta generación en los próximos años.

De esta manera, antes de migrar la red a 4G, es importante que la operadora satisfaga, o se aproxime lo más posible a la demanda de los usuarios y las



exigencias de la entidad regulatoria en cuanto a capacidad de clientes y cobertura.

Actualmente la tecnología de cuarta generación se encuentra disponible y operando únicamente en las ciudades de Quito y Guayaquil, de manera que CNT EP contrata los servicios de Alcatel Lucent para optimizar los nodos 3G en las provincias de Guayas, Azuay, Santa Elena, Loja, Manabí, Cañar, Bolívar, El Oro, Los Ríos, Morona Santiago y Zamora Chinchipe; y a Huawei Technologies para las provincias de Carchi, Cotopaxi, Esmeraldas, Galápagos, Imbabura, Manabí, Napo, Orellana, Pastaza, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Sucumbíos y Tungurahua.

El cantón Suscal se encuentra en la provincia de Cañar, a 71 km al norte de la ciudad de Azogues.

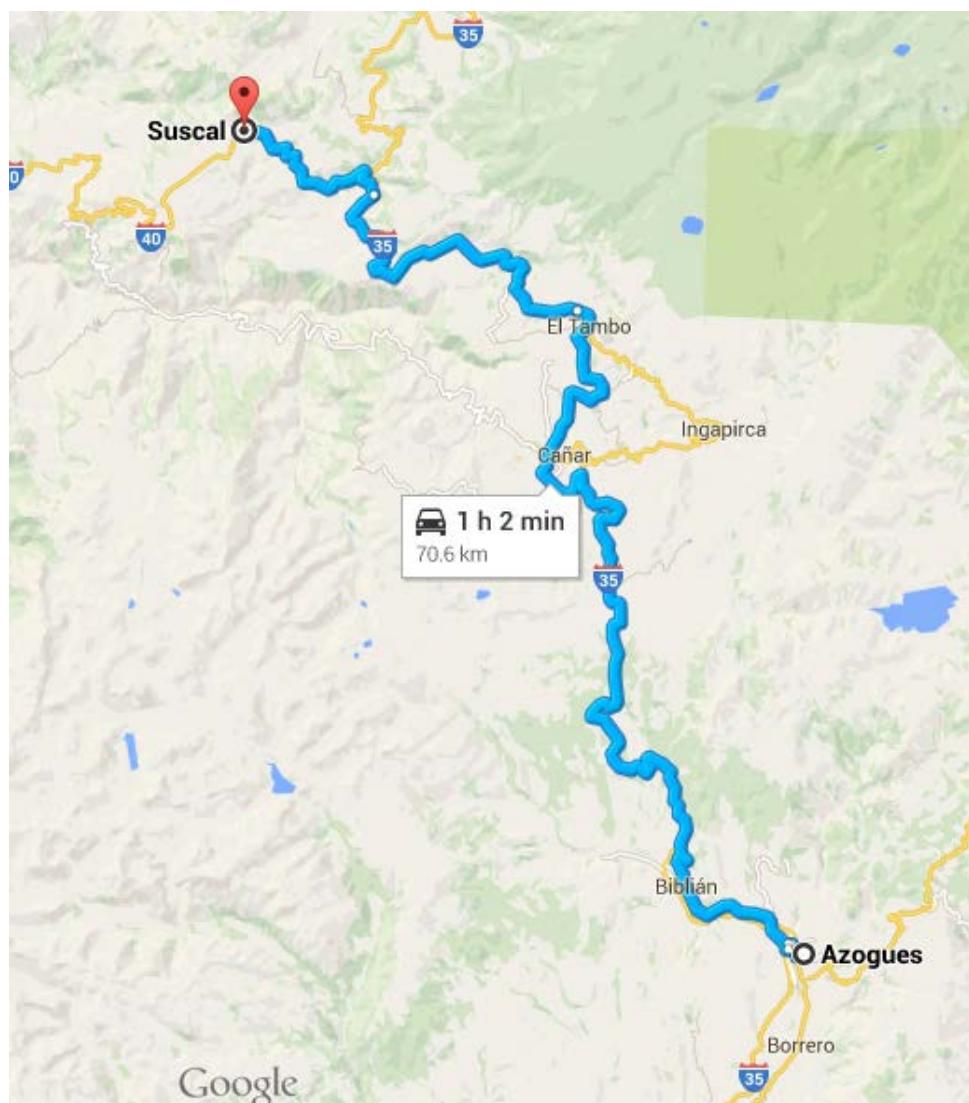


Figura 1.1 Ubicación del cantón Suscal.

En el cantón Suscal, actualmente CNT ofrece servicio de voz, y busca expandir el servicio a HSPA+ con la instalación de nuevas Estaciones Base.

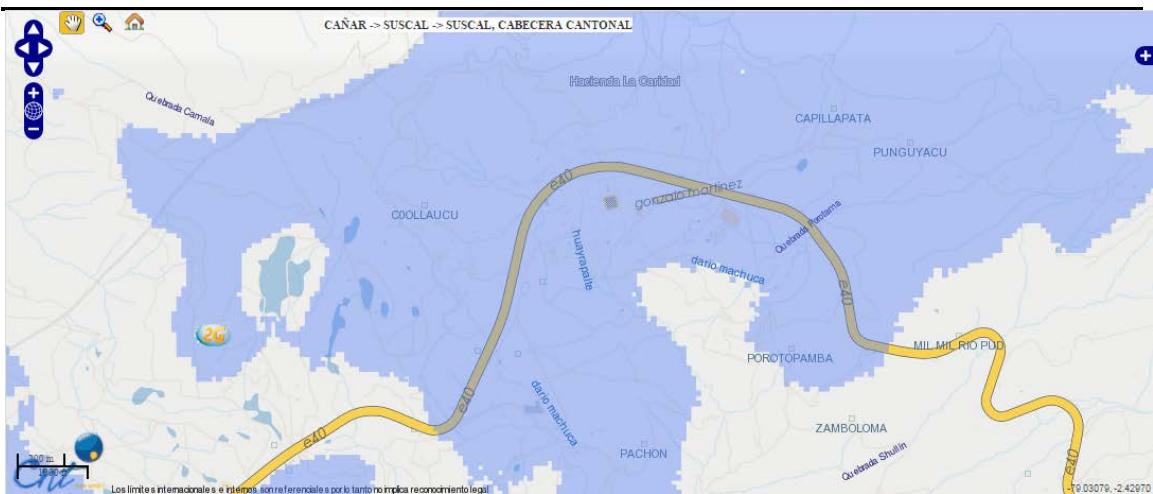


Figura 1.2 Cobertura del servicio de voz en el cantón de Suscal.



2 MARCO TEÓRICO

2.1 Redes celulares

La evolución de la tecnología celular se ha venido dando desde la década de 1950, aunque los primeros sistemas comerciales aparecieron a finales de la década de los 70 y principios de los 80. Haremos una breve reseña de la historia de las redes celulares hasta la tecnología 3G utilizada en nuestro medio.

2.1.1 Primera generación de redes celulares

Desde finales de la década de 1970, cuando la era celular comenzó, las comunicaciones móviles han pasado a través de un constante cambio evolutivo, cada década en términos de tecnología y uso de la misma. En ésta época Japón tomó el liderazgo en el desarrollo de tecnología celular, lo que resultó en el despliegue de las primeras redes celulares en Tokio. Un par de años después *Nordic Mobile Telephony* (NMT) empezó operaciones celulares en Europa. Al mismo tiempo, sistemas tales como *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS) empezó en los Estados Unidos, mientras que *Total Access Communication System* (TACS) empezó en Reino Unido. Estas compañías formaron la primera generación de sistemas móviles, que brindaba servicios de voz y estaba basada en técnicas de transmisión analógicas. Las áreas geográficas eran divididas en pequeños sectores llamados celdas. Todos los sistemas que fueron desarrollados inicialmente eran incompatibles unos con otros. Cada una de estas redes implantó sus propios estándares, lo cual hizo que facilidades como el roaming fueran imposibles, y muchos países tenían una única operadora. La penetración del servicio era baja y los equipos caros; además de todas estas dificultades, la tecnología de primera generación tenía una inherente limitación de canales.

2.1.1 Segunda generación de redes celulares

Debido a la incompatibilidad de varios sistemas en el lugar, la Comisión Europea empezó una serie de discusiones que trataron de cambiar el entonces existente marco regulatorio de las telecomunicaciones, llevándolo a un ambiente más armonioso que resultó en el desarrollo de un mercado común para los servicios y equipos de telecomunicaciones. A principios de la década de 1990, la tecnología de transmisión digital entró en vigencia, brindando consigo el sistema de siguiente generación, llamado Sistema Móvil de Segunda Generación. La digitalización significó que el sonido de la voz del parlante era procesado de forma que imitaba el oído humano a través de técnicas tales como el muestreo y el filtrado de señales. Esto hizo posible acomodar a muchos más usuarios en el espectro de radio.

Entonces, la línea que dividía los sistemas de la primera de la segunda generación era obvia: El salto analógico/digital. Un canal de frecuencia era



simultáneamente dividido entre varios usuarios (ya sea por división de código o de tiempo). Se introdujeron estructuras de celdas jerárquicas (macro, micro y pico celdas), mejorando aún más la capacidad de usuarios.

Hay cuatro estándares principales para sistemas 2G: Sistema Global para Comunicaciones Móviles (*Global System for Mobile Communications - GSM*) y sus derivados; el Sistema Telefónico Avanzado Digital (*Digital Advanced Mobile Phone System - D-AMPS*); Acceso Múltiple por División de Código (*Code Division Multiple Access – CDMA*) IS-95; y Celular Digital Personal (*Personal Digital Cellular – PDC*). GSM es por mucho, el más exitoso y ampliamente usado sistema 2G. Originalmente diseñado como un estándar paneuropeo, fue rápidamente adoptado en todo el mundo. Sólo en América GSM no ha alcanzado una posición dominante todavía. En América del Norte, el Sistema de Comunicación Personal-1900 (*Personal Communication System-1900 – PCS-1900*; un derivado de GSM, también llamado *GSM-1900*) había ganado algún terreno, y en América del Sur, Chile tenía un sistema GSM de amplia cobertura. Como sea, en 2001 la comunidad norteamericana Acceso Múltiple por División de Tiempo (*Time-Division Multiple Access – TDMA*) decidió adoptar el sistema definido como Proyecto de Asociación de Tercera Generación (*Third Generation Partnership Project – 3GPP*) CDMA de banda ancha (*WCDMA*) como su tecnología 3G, y como una solución intermedia en preparación para WCDMA muchos sistemas IS-136 se convirtieron a GSM/GPRS.

2.1.2 Sistemas de Generación 2.5 (2.5G)

La “generación 2.5” es una denominación que incluye ampliamente todas las actualizaciones avanzadas de las redes 2G. De hecho, estas actualizaciones pueden proveer a veces las mismas prestaciones que los sistemas 3G. La línea que divide 2G de 2.5G es confusa, pues es difícil decir cuando un sistema 2G se convierte en uno 2.5G en un sentido técnico.

La primera solución para GSM fue la Comutación de Datos por Circuitos de Alta Velocidad (*high-speed circuit-switched data – HSCSD*). Fue una forma fácil de elevar las tasas de transferencia de 9.6 kbps a 14.4 kbps mediante el uso de varios slots de tiempo en vez de una sola para una estación móvil.

La siguiente solución para 2.5G es el Servicio General de Paquetes por Radio (*General Packet Radio Service – GPRS*) que alcanzaba tasas de datos de hasta 115 kbps (comparado con el GSM básico que alcanzaba hasta 9.6 kbps). El primer sistema comercial se lanzó en 2001. Era especialmente ajustable a aplicaciones que no fueran en tiempo real. De cualquier forma, parecía ser un paso necesario para mejorar las capacidades de la red; una red GSM sin GPRS no sobreviviría mucho tiempo a medida que se incrementaba el tráfico de datos, en lugar del tráfico de voz.

La tercera mejora de 2.5G para GSM es la tecnología de Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution – EDGE*). Su principal idea se basa en un nuevo esquema de modulación



llamado modulación por desplazamiento de fase de 8 bits (8 Phase Shift-Keying – 8PSK). EDGE se convirtió en una actualización atractiva pues su único requerimiento era una actualización de software de la estación base si es que los amplificadores de RF soportaban la modulación de envolvente no constante. 8PSK sólo podía ser utilizada efectivamente a distancias relativamente cortas. La combinación de EDGE con GPRS se llamó EGPRS y su velocidad máxima sin corrección de errores es de 384 kbps.

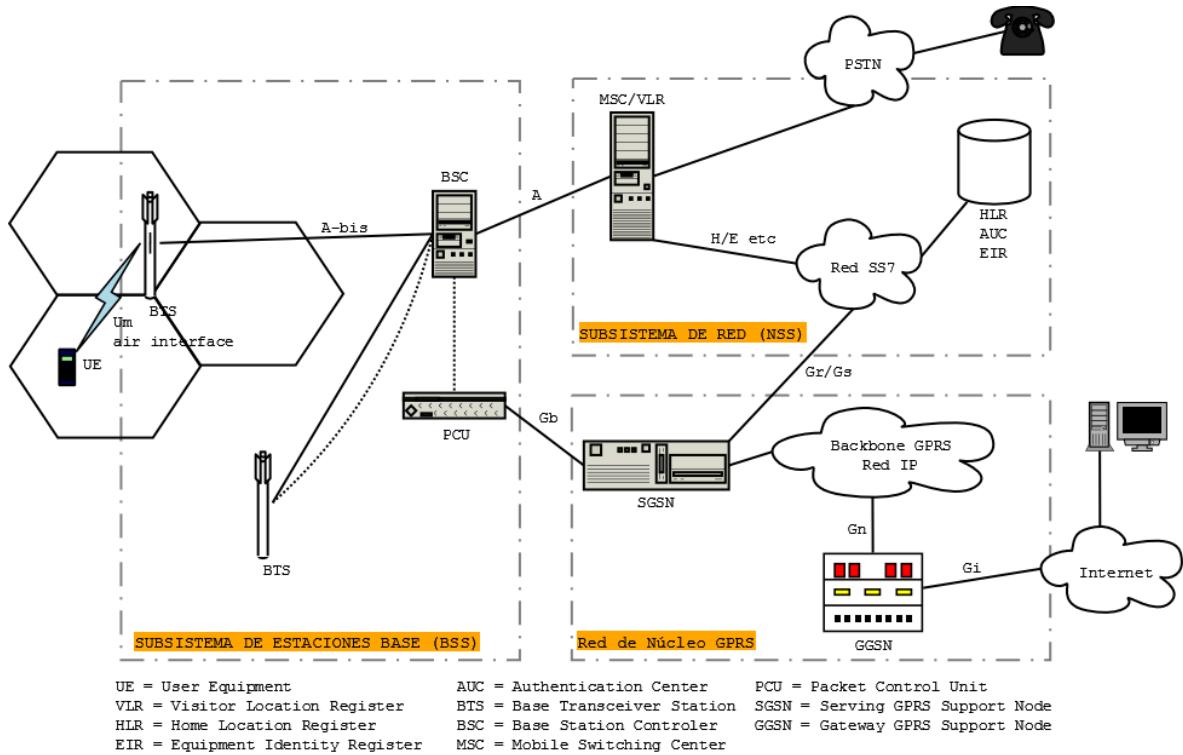


Figura 2.1 Arquitectura general de los sistemas GSM y GPRS.

2.1.3 Limitaciones de las redes 2G

Bajas tasas de transferencia. Las redes 2G fueron diseñadas inicialmente para ofrecer servicios de voz a los suscriptores; por tanto, las tasas de transferencia son bajas. Además las tasas varían según las tecnologías, pero está en el orden de las decenas de kilobits por segundo.

Baja eficiencia para servicios conmutados de paquetes. Hay una demanda de acceso a internet desde las redes 2G que no está eficientemente implementada.

Múltiples estándares. Con una multitud de estándares compitiendo en el mismo lugar, un usuario puede utilizar roaming únicamente en las redes que soporten el mismo estándar. Esto limita mucho el roaming; por lo tanto, en este aspecto, la tecnología de red 2G fue semi-global.



2.2 Redes celulares de tercera generación

2.2.1 Visión general de 3G

El rápido desarrollo de las telecomunicaciones móviles fue uno de los éxitos más notables de la década de 1990. Las redes 2G comenzaron sus operaciones a principios de la década (la primera red GSM se abrió en 1991 en Finlandia), y desde entonces se han expandido y evolucionado continuamente. Para el mes de septiembre de 2012 habían 460 redes GSM en todo el mundo, todas sirviendo a un total de 747,5 millones de suscriptores.

En el mismo año que GSM fue lanzado comercialmente, el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (*European Telecommunications Standards Institute* – ETSI) ya había empezado el trabajo de estandarización para la red de telecomunicaciones móviles de próxima generación. Este nuevo sistema se llamó el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (*Universal Mobile Telecommunications System* – UMTS).

El espectro de radio asignado originalmente para UMTS se muestra en la figura 2.2.

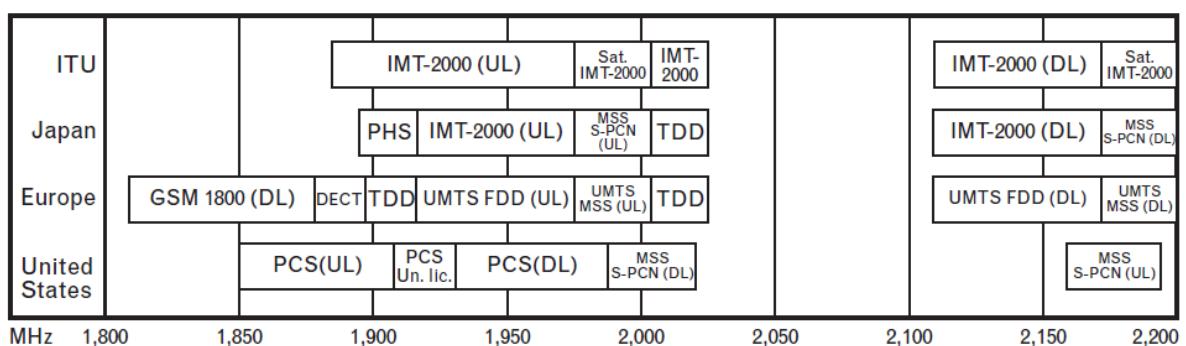


Figura 2.2 Asignaciones de espectro IMT-2000. (Korhonen, 2003).

2.1.2 Propuestas del estándar 3G

Han habido (y aún hay) varias propuestas para un estándar global 3G. En un nivel más bajo, éstas están agrupadas por su tecnología base, WCDMA, TDMA avanzado, CDMA/TDMA híbrido, y la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – OFDM).

2.1.2.1 WCDMA

Por definición, el ancho de banda de un sistema WCDMA es 5 MHz o más, y estos 5 MHz también son el ancho de banda nominal de todas las propuestas WCDMA 3G. Este ancho de banda fue escogido debido a:



-
- Es suficiente para proveer tasas de datos de 144 a 384 kbps (que son los objetivos de 3G), y hasta 2 Mbps en condiciones adecuadas.
 - El ancho de banda es siempre escaso, y la asignación más pequeña posible debería ser usada, especialmente si el sistema debe usar bandas de frecuencia ya ocupadas por sistemas 2G existentes.
 - Este ancho de banda puede resolver más trayectorias múltiples que un ancho de banda más angosto, por lo que mejora el rendimiento.

Las propuestas de interface de radio de 3G WCDMA pueden dividirse en dos grupos: redes síncronas y redes asíncronas. En una red síncrona todas las estaciones base están sincronizadas en tiempo una con otra. Esto resulta en una interface de radio más eficiente pero requiere hardware más costoso en las estaciones base.

WCDMA tiene un rápido control de potencia para los enlaces de subida y bajada (*uplink* y *downlink*, respectivamente) y la capacidad de variar la tasa de datos y los parámetros de servicio en base a una dispersión variable trama a trama.

La propuesta de ETSI fue la más atractiva para sistemas 3G. Originalmente tenía el respaldo de Ericsson, Nokia y otras grandes compañías japonesas. Luego fue adoptada por fabricantes europeos y renombrada como UTRAN. Era una opción atractiva para operadoras GSM porque el núcleo de la red está basado en el mapa de red GSM, y las nuevas inversiones serían más bajas que las de otras propuestas 3G. Esto significa también que los servicios 3G están disponibles mediante la nueva red UTRAN.

La propuesta CDMA2000 es compatible con los sistemas IS-95 de América del Norte. Aunque CDMA2000 claramente tiene menos soporte que el esquema 3GPP, es una tecnología importante, especialmente en áreas donde se usan redes IS-95. Desde que CDMA2000 emplea una red síncrona, el incremento de la eficiencia es atractivo para nuevos operadores, o para operadores GSM existentes más preocupados en desplegar una red eficiente que en atender las necesidades de sus suscriptores. Estos operadores pueden saltarse el paso de GSM y desplegar CDMA2000 en lugar de actualizar al modo UTRAN.

Las diferencias básicas entre el CDMA tradicional y WCDMA, son que WCDMA utiliza una señalización y un canal de control diferente, así como un mayor ancho de banda para su funcionamiento. WCDMA emplea una técnica de ensanchamiento, es decir, la señal a transmitirse se ensancha para que ocupe todo el ancho de banda asignado para la transmisión. Este ensanchamiento se realiza con un código de ensanchamiento específico por cada usuario, con el cual se diferencia a cada usuario conectado a la red. A esto se le llama DS-WCDMA (WCDMA de Secuencia Directa).

Para el caso del sitio que estudiamos en la localidad de Suscal, CNT trabaja con WCDMA en la banda de frecuencias de 1.900 MHz. WCDMA utiliza únicamente 3,84 MHz de ancho de banda, lo que quiere decir que los restantes 1.16 MHz los deja como bandas de guarda (0,58 MHz a cada lado).

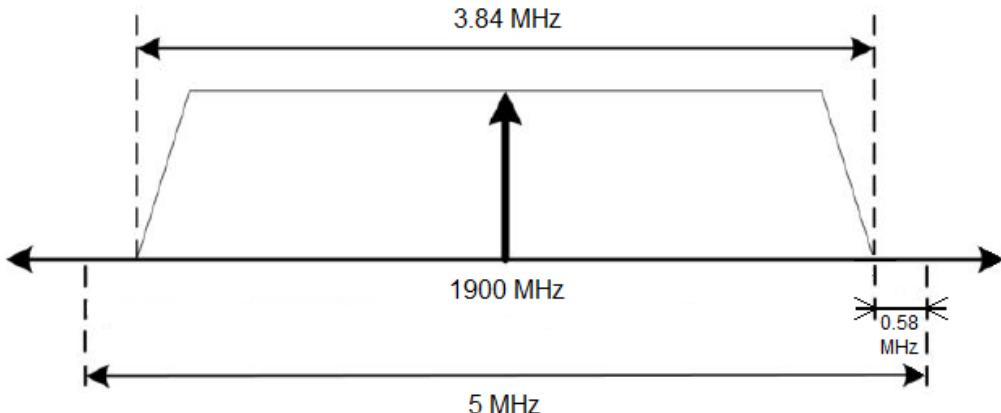


Figura 2.3 Ancho de banda WCDMA.

2.2.1.1 TDMA Avanzado

En la década de 1990, se realizaron serias investigaciones a través de sistemas TDMA avanzados. Por un tiempo, Europa se centró en los sistemas TDMA y veía a CDMA sólo como una opción secundaria. Sin embargo, en el proceso IMT-2000 el UWC-136 fue la única propuesta 3G TDMA que sobrevivió, e incluso esa tuvo respaldo sólo en América del Norte. A partir del 2002, UWC-136 ya no era apoyado ni por UWCC, pero las operadoras norteamericanas de TDMA y GSM decidieron adoptar el sistema WCDMA (IMT-DS) como su tecnología 3G.

Cuando se discute TDMA avanzado, debe notarse que un sistema GSM 2.5G con todas las mejoras (GPRS, HSCSD, EDGE) es también un sistema TDMA capaz. Puede no ser llamado propiamente un sistema 3G, pero el límite entre TDMA avanzado y 3G es estrecho, al menos durante los primeros años de lanzamiento de 3G. Aún hay varias posibilidades de mejorar la infraestructura GSM. Las especificaciones para GSM también han sido transferidas a los grupos de trabajo de 3GPP; entonces, es probable que estas nuevas características UTRAN, que son también factibles en redes GSM, sean especificadas también para sistemas GSM.

2.2.1.2 CDMA/TDMA Híbrido

Para esta tecnología, cada trama TDMA es dividida en ocho slots de tiempo, y dentro de cada slot los diferentes canales son multiplexados usando CDMA. Esta estructura de trama habría sido compatible con GSM.

Esta propuesta ya no es soportada, sin embargo, el modo UTRAN TDD es en realidad también un sistema híbrido CDMA/TDMA. Una trama de radio es dividida en 15 slots de tiempo, y dentro de cada slot se multiplexan diferentes canales CDMA.



2.2.1.3 OFDM

OFDM está basado en un principio de modulación multi-portadora, que significa la división de un flujo de datos en varios flujos de bits (subcanales), cada uno de los cuales tiene una tasa de bits más baja que el inicial; entonces estos subflujos son modulados usando códigos que son ortogonales los unos de los otros. Por su ortogonalidad, las subportadoras pueden estar muy cerca unas de otras (o incluso sobreponerse parcialmente) en el espectro de frecuencia sin interferir una con otra; y dado que los tiempos de símbolos en estas bajas tasas de bits son largos, no hay *interferencia intersimbólica* (ISI). El resultado es un sistema que utiliza el espectro muy eficientemente.

OFDM en sí puede estar basada en TDMA o CDMA. Las principales ventajas de este esquema son:

- Uso eficiente de ancho de banda: Subportadoras ortogonales pueden sobreponerse parcialmente entre ellas.
- Resistencia a la interferencia de banda angosta.
- Resistencia a interferencia de multirayectoria.

El principal inconveniente es el pico alto de la potencia promedio. Si bien ninguna de las tecnologías IMT-2000 escogidas emplea OFDM, es posible que ésta entre al mundo celular como parte de un sistema de interconexión WLAN. También es posible que algunas mejoras HSDPA incluyan portadoras OFDM.

2.2.1.4 UMTS

2.2.1.4.1 Arquitectura básica

La figura 2.4 presenta la arquitectura básica de una red UMTS. Se hace una distinción mediante un diagrama de bloques lógicos, cada uno con diferentes responsabilidades.

Al igual que la tarjeta SIM en GSM, la tarjeta USIM contiene información específica del usuario y la clave de autenticación que facilita al usuario el acceso a una red. En UMTS, el terminal es llamado Equipo Móvil (ME).

La infraestructura de red fija que contiene las facilidades de transmisión sobre radio se llama Red de acceso a radio (RAN). La RAN se compone de estaciones base, que son llamadas Nodos B en UMTS; y nodos de control de radio (RNC), que conectan la RAN a la Red de Núcleo. Una RAN es referida también como Subsistema de Red de Radio (RNS).

La Red de Núcleo es la red de largo alcance que transporta los datos de un usuario a su respectivo destino. Consecuentemente, la red de núcleo contiene una multitud de sistemas de conmutación como puertas de enlace a otras redes, tal como ISDN o internet. También incluye bases de datos que son usadas para la gestión de movilidad, gestión de usuarios, y facturación.

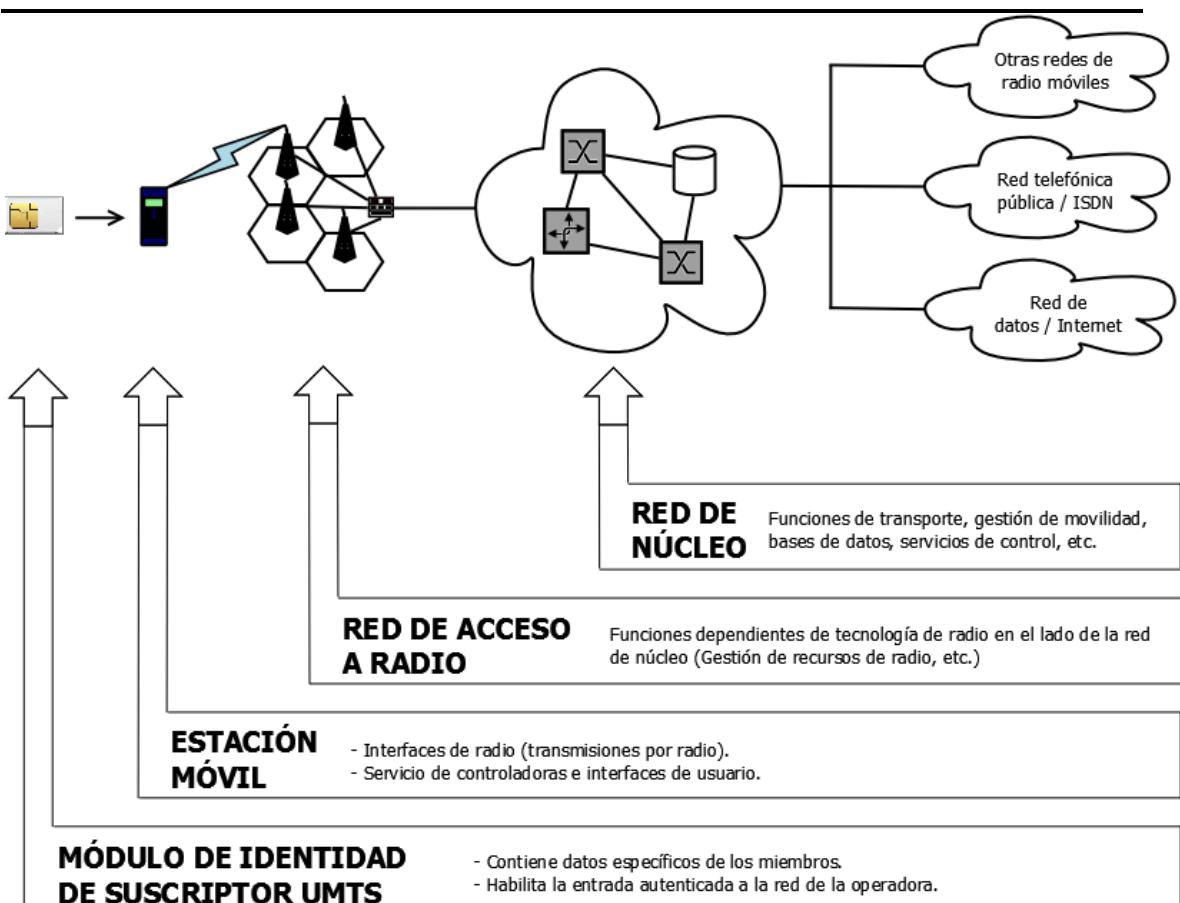


Figura 2.4 Arquitectura básica de UMTS.

2.2.1.4.2 Funciones del Nodo B en UMTS

El término “Nodo B” es usado generalmente como un concepto lógico. Sus funciones son las mismas que las de una estación base.

- Mapeo de sus recursos lógicos sobre recursos de hardware;
- Transmisión de mensajes de información del sistema de acuerdo a parámetros programados dados por la RNC;
- Combinar y/o dividir los flujos de datos internos al Nodo B;
- Control de potencia de lazo interno de subida (en modo FDD);
- Reporte de medidas de interferencia e información de descarga de potencia.
- Distribución y/o combinación de flujos de datos y ejecución de soft handover;
- Detección de errores en canales de transporte e indicación a capas más altas;
- Multiplexado de canales de transporte y demultiplexado de canales de control;
- Acoplamiento de tasas de transferencia;
- Mapeado de canales físicos;



-
- Medición de potencia y combinado de canales físicos;
 - Modulación y ensanchamiento/demodulación y desensanchamiento de canales físicos;
 - Sincronización en tiempo y frecuencia;
 - Mediciones de radio e indicación a capas más altas;
 - Control de potencia de lazo interno;
 - Procesamiento de RF.

2.2.1.4.3 Funciones de la RNC en UMTS

La RNC controla uno o más Nodos B. Se conecta mediante la interfaz Iu a una MSC. La RNC es comparable a la BSC en redes GSM. Sus funciones son las siguientes:

- Gestión de recursos de transporte de interfaz Iu;
- Control de la operación lógica del Nodo B;
- Gestión de información de sistema y programación de información del sistema;
- Gestión de tráfico de canales comunes;
- Combinar y/o dividir los flujos de datos transferidos por varios Nodos B.
- Modificación de conjuntos activos, soft handover;
- Asignación de códigos de canalización del enlace de bajada;
- Control de potencia del lazo externo del enlace de subida;
- Control de potencia de enlace de bajada;
- Control de admisión;
- Gestión de informes y reportes;
- Gestión de tráfico de canales compartidos.

2.2.1.4.4 Handover en UMTS

En UMTS existen tres diferentes tipos de handover, que se explican brevemente a continuación.

1. En *hard handover*, utilizado ya desde GSM, una conexión es conmutada repentinamente en un tiempo en particular. Este método es también usado en el modo UTRA-TDD, porque hay suficiente tiempo disponible entre el transmisor individual y las ondas recibidas de una estación móvil para conmutar a una nueva celda. El cambio a la nueva celda entonces ocurre de una trama a la siguiente.
2. Un *soft handover* se da cuando la estación móvil se comunica simultáneamente hasta con tres sectores de diferentes Nodos B. Los datos se dividen en la RNC, se transmiten sobre el Nodo B y se combinan nuevamente en la estación móvil. Los datos de todos los Nodos B son recibidos en el enlace de subida y llevados a la RNC. La RNC combina los flujos de datos de nuevo y los transfiere a la red de núcleo. El soft handover tiene su nombre del hecho de que no existe un punto de conmutación fija y en lugar de eso, una conexión suave es



transferida desde una estación base a la siguiente. La nueva estación base inicialmente sólo contribuye muy poco a la transmisión; sin embargo, a medida que el UE (User Equipment) se mueve dentro de la nueva celda, la nueva estación base asume más responsabilidad. Finalmente, la conexión a la antigua estación base, es terminada y la estación base sale del estado de soft handover.

Esta técnica también es llamada macro-diversidad y ofrece varias ventajas:

- a) La conexión llega a ser más resistente a la sombra (pérdida de línea de vista) debido a la reducida probabilidad de que, considerando todas las estaciones base que proveen servicio, la estación móvil termine en sombra. Si un objeto interferente corta una conexión a una estación base en un soft handover, hay una probabilidad de que la conexión funcione a través de la segunda estación base y la comunicación no se corte.
 - b) Cuando la potencia mínima recibida es calculada, puede ser incorporada una pequeña reserva contra desvanecimiento rápido a través de propagación multirayecto. Dado que la caída de potencia a través de propagación multirayecto es casi estática en el caso de transmisores estáticos, y puede ser de hasta 30 dB, es posible que una estación móvil estática no será suministrada adecuadamente. Soft handover ofrece la opción de transmitir datos sobre el segundo Nodo B y así mantener la comunicación.
 - c) Por lo tanto, un soft handover ofrece la posibilidad de reducir el efecto cercano-lejano.
3. *Softer handover*, es una versión especial del soft handover, en la que la transmisión puede también ocurrir paralelamente sobre diferentes sectores de el mismo Nodo B. Las ventajas antes mencionadas también se aplican al softer handover, aunque el Nodo B ya puede estar encargado de la tarea de combinar los dos flujos de datos y sólo transferir un solo flujo a la RNC.

2.3 Modelos de propagación de ondas

La forma en que se propaga una onda electromagnética depende de varios aspectos tales como la frecuencia de propagación, los tipos de obstáculos que se presentan en el camino y también del ambiente en el cual se propagan. A través de los años se han diseñado varios modelos de propagación específicos para ambientes, frecuencias y aplicaciones específicas.



El objetivo de estos modelos es calcular las pérdidas de la señal en un ambiente determinado, para así predecir la potencia de la señal transmitida que se recibe a cierta distancia. También se debe tomar en cuenta la variación de la potencia del receptor.

Varios modelos de propagación han sido desarrollados para estimar la propagación de las ondas de radio con la mayor precisión posible. Los modelos más usados son dos Okumura-Hata y Walfish-Ikegami. El primero fue desarrollado para celdas grandes, por lo que se aplica principalmente en zonas rurales o suburbanas; el segundo está desarrollado para celdas pequeñas, y se aplica en zonas urbanas. También existen modelos específicos para pico celdas los cuales están desarrollados para ambientes interiores. En la figura 2.5 a continuación se muestran los tipos de celdas con sus respectivos rangos de cobertura.

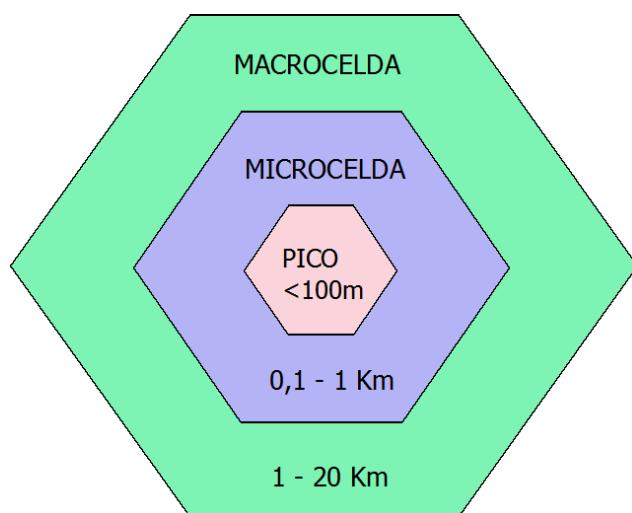


Figura 2.5 Tipos de celdas según su distancia de cobertura.

Los principales mecanismos de propagación de ondas son: pérdidas en el espacio libre, reflexión, difracción y dispersión. El mecanismo de pérdida en el espacio libre describe una situación ideal, es decir; existe línea de vista entre el emisor y el transmisor y no hay obstáculos que generen difracción, dispersión o reflexión. En este caso ideal, la atenuación de la señal de la onda de radio depende de la distancia a la que se encuentren el transmisor con el emisor. Cuando la señal es transmitida en el espacio libre, la densidad de potencia a una distancia “d” desde el transmisor es:

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \quad (1)$$

Donde P_t es la potencia del transmisor y G_t es la ganancia de la antena transmisora. El área efectiva “A” de la antena receptora puede ser expresada como:



$$A = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \quad (2)$$

Donde λ es la longitud de onda y G_r es la ganancia de la antena receptora. Combinando estas ecuaciones se obtendría la potencia recibida es:

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3)$$

Las pérdidas en el espacio libre es la relación entre las potencias de transmisión como de recepción, esta ecuación excluye las ganancias de las antenas.

$$L = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (4)$$

Y las pérdidas en el espacio libre, expresadas en decibelios son:

$$L = 32.4 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) \quad (5)$$

Donde f es la frecuencia en MHz, y d es la distancia en km.

En la realidad, la trayectoria de la propagación de la onda de radio normalmente no tiene línea de vista, y la señal recibida se conforma de varias componentes vectoriales las cuales son producidas por la difracción o dispersión. Este efecto es conocido como multirayectoria, donde una componente representa una trayectoria y la señal recibida es la resultante de la sumatoria vectorial de estas componentes, como se muestra en la figura 2.6.

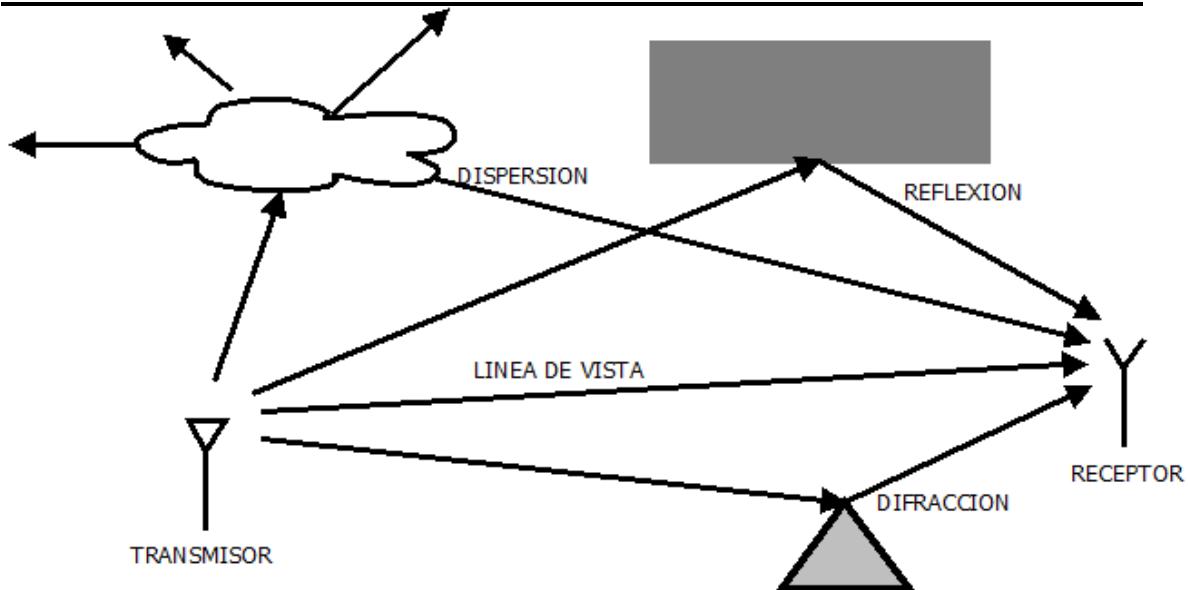


Figura 2.6 Mecanismos de propagación de las ondas electromagnéticas.

La atenuación de la señal también depende de la banda de frecuencia en la que trabaja, así como del tipo de terreno. Para calcular las pérdidas totales de trayectoria, ésta puede ser dividida en secciones de acuerdo al tipo de terreno que se presente.

2.3.1 Modelo Okumura-Hata

El modelo Okumura-Hata es un modelo de propagación muy conocido, y se puede aplicar para entornos con macro celdas para predecir la atenuación media de la señal de radio. Teniendo una componente, el modelo usa las pérdidas en el espacio libre. Este modelo es un modelo empírico, esto quiere decir que está basado en mediciones de campo. Okumura desarrolló el modelo con mediciones en la ciudad de Tokio y publicó los resultados en formato gráfico. Hata desarrolló los resultados obtenidos en ecuaciones. Este modelo puede ser aplicado sin factores de corrección en terrenos casi planos. La debilidad de este modelo es que no considera la reflexión y zonas de sombra.

Las restricciones en los parámetros son las siguientes:

Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Rango	
Frecuencia	f	MHz	150	1500
Distancia entre Rx y Tx	d	km	1	20
Alto de antena transmisora	H_b	m	3	200
Alto de antena receptora	H_m	m	1	10

Tabla 2.1 Parámetros y rangos establecidos para el modelo Okumura-Hata.



Las pérdidas por trayectoria de este modelo son las siguientes:

$$L = A + B \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(H_b)] \log_{10}(d) + L_{other} \quad (6)$$

Donde $a(H_m)$ es el factor de corrección del a antena del móvil, L_{other} es un factor de corrección adicional, A y B son parámetros del modelo que se mostrarán cómo obtenerlos a continuación.

$$A = \begin{cases} 69.55 & f = 150 - 1500MHz \\ 46.30 & f = 1500 - 2000MHz \end{cases} \quad (7)$$

$$B = \begin{cases} 26.16 & f = 150 - 1500MHz \\ 33.90 & f = 1500 - 2000MHz \end{cases} \quad (8)$$

El factor de corrección para la antena del móvil para una ciudad pequeña está dado por:

$$a(H_m) = [1.1 \log_{10}(f) - 0.7]Hm - [1.56 \log_{10}(f) - 0.8] \quad (9)$$

Y para una ciudad grande:

$$a(H_m) = \begin{cases} 8.29 [\log_{10}(1.54 H_m)]^2 - 1.1 & f \leq 200MHz \\ 3.2 [\log_{10}(11.75 H_m)]^2 - 4.97 & f \geq 400MHz \end{cases} \quad (10)$$

El modelo Okumura-Hata es válido para frecuencias entre 150 - 2.000 MHz, el rango de altura de la estación base es de 30 a 200 m, el alto del móvil de 1 a 10 m y la distancia entre la estación base y el móvil de 1 a 20 km con el factor de corrección adicional (L_{other}), el modelo de Okumura-Hata se puede aplicar para cualquier tipo de terreno.

2.3.2 Modelo Cost-Hata

Este modelo es una extensión del modelo anterior, y nos permite trabajar en el rango de frecuencias desde 1.500 a 2.000 MHz. En la tabla 2.2 se muestran los parámetros para la correcta aplicación del modelo.

Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Rango
-----------	--------------	--------	-------



Frecuencia	f	MHz	150	2.000
Distancia entre Rx y Tx	d	km	1	20
Alto de antena transmisora	H _b	m	3	200
Alto de antena receptora	H _m	m	1	10

Tabla 2.2 Parámetros y rangos establecidos para el modelo Cost-Hata.

Las pérdidas de este modelo están dadas por la siguiente fórmula:

$$L = F + B \log_{10}(d) - E + G \quad (11)$$

Donde:

$$F = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(H_b) \quad (12)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}((H_b)) \quad (13)$$

$$E = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7) H_m - 1.56 \log_{10}(f) - 0.8 \quad (14)$$

$$G = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{Ciudad mediana y suburbana} \\ 3 \text{ dB} & \text{Área metropolitana} \end{cases} \quad (15)$$

En algunos casos se requiere calcular el radio de la celda a partir de las pérdidas permitidas para la comunicación, a continuación se muestra la fórmula:

$$d = 10^{\left(\frac{L-F+E}{B}\right)} \quad (16)$$

2.3.3 Modelo Walfish-Ikegami

Es un modelo empírico de propagación para áreas urbanas, este modelo se aplica especialmente para micro-celdas, pero se puede usar para el cálculo de macro-celdas también.



Este modelo considera varios factores determinantes en un área urbana, tal como altura de los edificios, ancho de las calles, orientación de las calles. Este modelo tiene dos casos: con línea de vista y sin línea de vista. La fórmula para calcular las pérdidas cuando se tiene línea de vista es la siguiente:

$$L = 42,6 + 26 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (17)$$

Donde “d” es la distancia en km y “f” es la frecuencia, en MHz. Y la fórmula para calcular las pérdidas sin línea de vista es la siguiente:

$$L = 32,4 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + L_{rts} + L_{msd} \quad (18)$$

Donde L_{rts} representa las pérdidas por difracción de las azoteas y calles y las pérdidas por dispersión, mientras que L_{msd} representa las pérdidas por difracción multipantalla.

En la figura 2.7 se presenta de forma gráfica los parámetros a utilizar en este modelo.

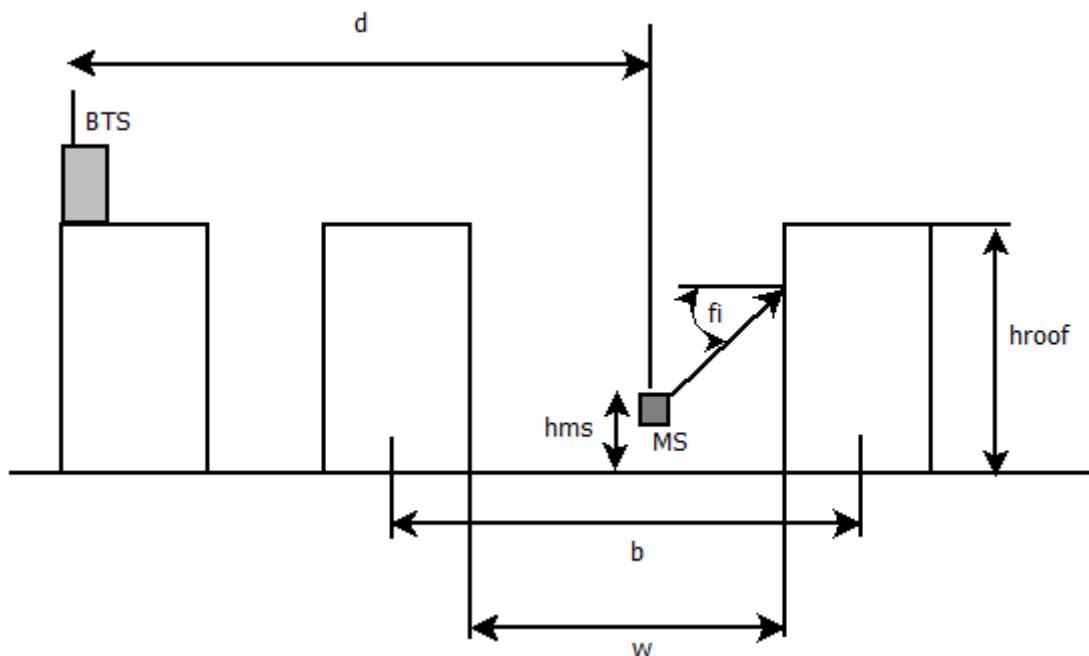


Figura 2.7 Parámetros a considerar en el modelo Walkfish-Ikegami.

El modelo Walkfish-Ikegami es válido para el rango de frecuencia es de 800 a 2.000 MHz, el rango de la altura de la antena de la estación base es de 4-50 m, la altura del móvil es de 1 a 3 m, y la distancia entre el transmisor y el móvil está dentro del rango 20 a 5.000 m.



2.3.4 Modelo Ray Tracing

Este modelo está limitado para trabajar solamente con micro celdas en áreas urbanas y es el único que considera las reflexiones y difracciones de la onda desde que sale de la estación base hasta llegar al móvil y viceversa, por lo cual es muy usado para ambientes interiores.

2.3.5 Modelos de propagación disponibles en el software ATOLL

En la tabla 2.3 se detallan los modelos de propagación disponibles en el software de simulación y sus respectivas especificaciones.

Modelo	Banda de Frecuencia	A tener en cuenta	Ajustes necesarios	Uso recomendado
Longley-Rice (Teórico)	~40 MHz	-Perfil del terreno -Reflexión	-Calibración	-Áreas planas -Frecuencias bajas
ITU 370-7 Vienna 93	100 – 400 MHz	-Perfil del terreno	-Porcentaje de tiempo donde campo real > campo calculado	-Distancias cortas -Frecuencias bajas
ITU 526-5 (Teórico)	30 – 10.000 MHz	-Perfil del terreno -Difracción		-Receptores fijos
WLL	30 – 10.000 MHz	-Perfil del terreno -Clutter determinista -Difracción	-Pérdidas en el espacio libre -Altura y margen del receptor	-Receptores fijos -Enlaces de microondas -WiMAX
Okumura-Hata	150 – 1.000 MHz	-Perfil del terreno -Clutter estático en el receptor	-Con difracción o no -Opcionalmente limitado por las pérdidas en el espacio libre -Pérdidas urbanas	-1 < d < 20 km -GSM900 -CDMAOne -CDMA 2000
Cost - Hata	1.500 – 2.000 MHz	-Perfil del terreno -Clutter estático en el receptor	-Con difracción o no -Opcionalmente limitado por	-1 < d < 20 km -GSM 1900 -UMTS



		-Reflexión	pérdidas en el espacio libre -Pérdidas urbanas	
ITU 529 – 3	300 – 1.500 MHz	-Perfil del terreno -Clutter estático en el receptor -Altura efectiva de la antena -Reflexión	-Con difracción o no -Opcionalmente limitado por pérdidas en el espacio libre -Corrección de fórmula en distancia > 20 km	-1 < d < 100 km -GSM 900 -CDMAOne -CDMA 2000
Erceq	1.900 – 6.000 MHz	-Clutter estático en el receptor -Reflexión	-Con difracción o no -Opcionalmente limitado por pérdidas en el espacio libre	-100 m < d < 8 km -WiMAX

Tabla 2.3 Datos técnicos de modelos de propagación de ondas en ATOLL.

2.4 Inclinación mecánica y eléctrica de las antenas

Uno de los principales parámetros para el ajuste de antenas es la inclinación de la misma 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 se está concentrando la energía 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 2.8 se muestra de forma gráfica de cómo afecta la inclinación de la antena.

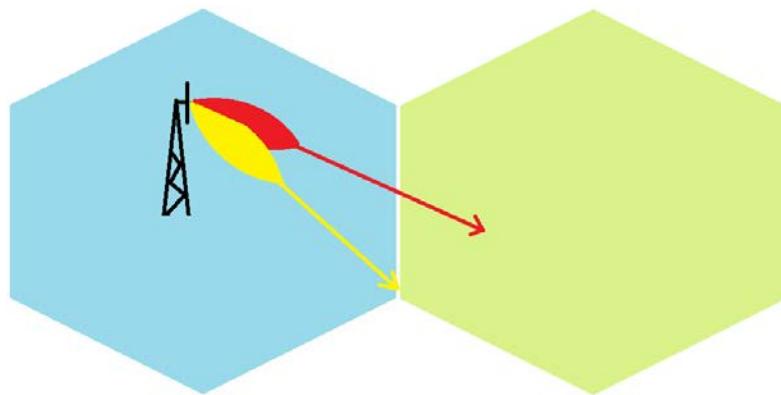


Figura 2.8 Variación de la inclinación de la antena.

Existen dos técnicas para cambiar la inclinación de la antena, las cuales se pueden aplicar conjuntamente: inclinación eléctrica e inclinación mecánica.

2.4.1 Inclinación Mecánica

Esta técnica es fácil de comprender debido a que solo cambia la inclinación de la antena con ayuda de mecanismos físicos propios de la antena, por lo cual no varía la fase de la señal de entrada. En la figura 2.9 se muestra de forma gráfica los mecanismos para la calibración de la inclinación de forma mecánica.

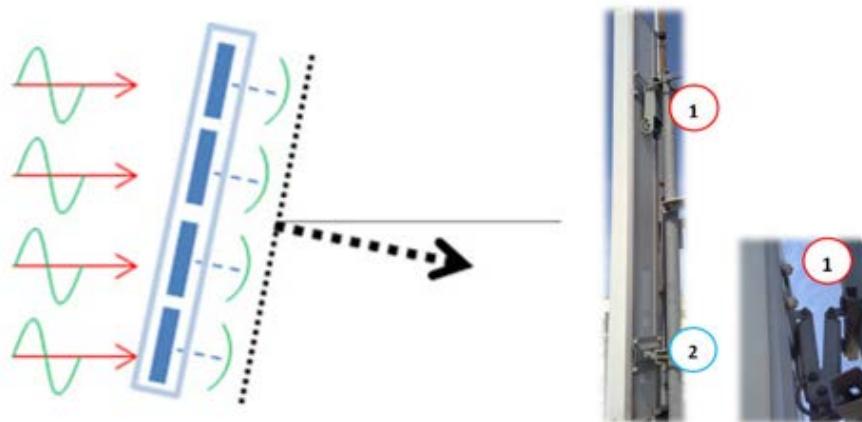


Figura 2.9 Inclinación mecánica de antena. (Telecomhall, s.f.)

En la figura 2.10 se muestra la variación de la dirección del lóbulo principal y el lóbulo posterior. Se puede ver claramente que cuando el lóbulo principal es apuntado hacia abajo, el lóbulo posterior se dirige hacia arriba.

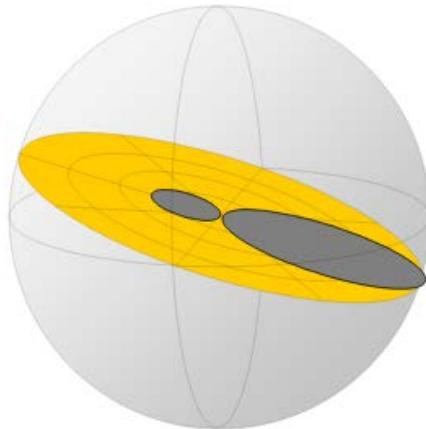


Figura 2.10 Variación de dirección de los lóbulos principal y posterior; inclinación mecánica. (Seminario: antenas para sistemas de telecomunicaciones, Universidad Tecnologica Nacional, Facultad Regional Haedo)

2.4.2 Inclinación Eléctrica

Esta técnica, al contrario que la anterior, lo que hace es cambiar la fase de la señal de entrada a la antena para obtener la variación del patrón de radiación. Como se puede ver en la figura 2.11. Para cambiar la fase de la señal de entrada, usualmente las antenas están diseñadas con mecanismos que lo permitan. En la figura 2.11 se muestran los elementos que permiten calibrar la inclinación de la antena. En la figura se tiene una antena de dos bandas, entonces los elementos numerados con “1” y “2” son los calibradores para cada panel de antenas.

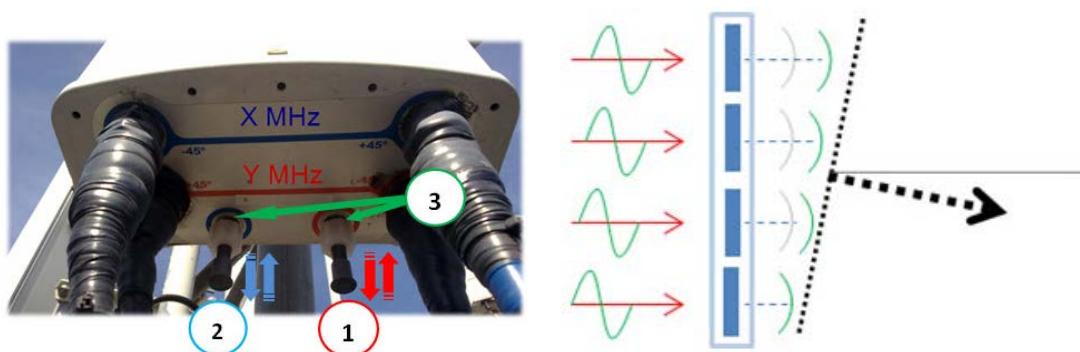


Figura 2.11 Inclinación eléctrica de antena. (Telecomhall, s.f.)

Una diferencia de esta técnica es que el lóbulo posterior cambia su inclinación en la misma dirección del lóbulo principal, como se ve en la figura 2.12.

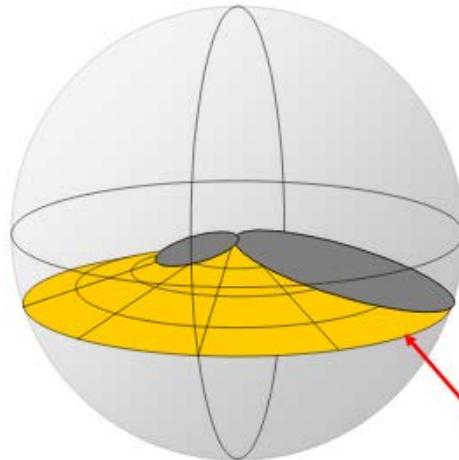


Figura 2.12 Variación de dirección de los lóbulos principal y posterior inclinación eléctrica. (Seminario: antenas para sistemas de telecomunicaciones, Universidad Tecnologica Nacional, Facultad Regional Haedo)

2.4.3 Variación del patrón de radiación

Al variar la inclinación de la antena, el patrón de radiación sufre cambios, los cuales son diferentes dependiendo del tipo de inclinación: si es mecánica o eléctrica. Para hacer más simple el entendimiento de este efecto, en la figura 2.13 se muestra gráficamente esta diferencia.

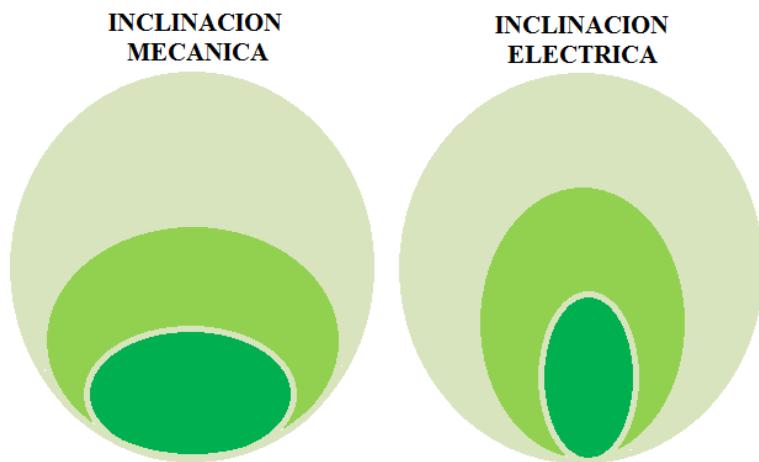


Figura 2.13 Variación del patrón de radiación inclinación mecánica vs. eléctrica.

Con las imágenes anteriores es fácil entender la variación del patrón de radiación dependiendo del tipo de inclinación que se le dé a la antena; sin



embargo, para revisarlo de una forma más real, se procedió a realizar una simulación obteniendo los resultados que se muestran en la figura 2.14.

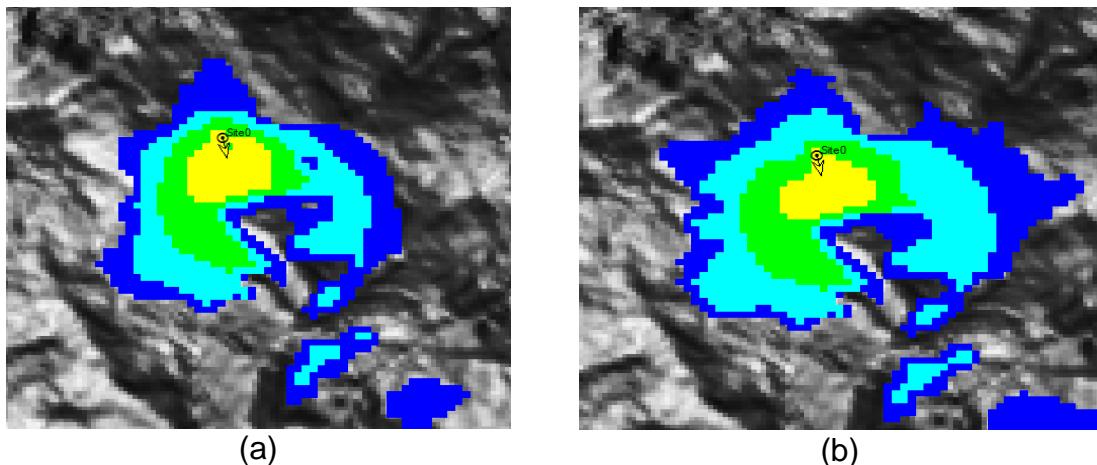


Figura 2.14 Simulación: variación del patrón de radiación

En la figura 2.14a se muestra el resultado de la simulación con una inclinación mecánica de 12 grados. Y por otro lado, en la figura 2.14b se muestra el resultado de la simulación con una inclinación eléctrica de 12 grados. Al comparar estos resultados, se puede observar las diferencias mencionadas anteriormente.

En conclusión se tiene:

- Con una inclinación mecánica se reduce el área de cobertura en dirección central, pero mejora la cobertura en las direcciones laterales.
- Con una inclinación eléctrica se gana cobertura en dirección central, pero se pierde cobertura en las direcciones laterales.



3 PLANIFICACIÓN DE LA RED DE RADIO

3.1 Proceso de planificación de la red de radio.

La planificación de la red de radio en sí no es un estándar; sin embargo, los procesos tienen aspectos similares, que se determinan por el tipo de proyecto, objetivos y criterios propios del operador.

3.1.1 Proyecto de planificación de la red

El proyecto de planificación de la red puede ser dividido en tres importantes categorías basadas en la cantidad de servicios externos de planificación que requiere el operador.

La primera categoría se da cuando el operador no requiere de ayuda externa; es decir que el operador es responsable de la planificación de la red de inicio a fin. Esta situación se puede dar cuando el operador ya ha tenido suficiente experiencia en planificación, sin embargo, al ser el operador el único responsable de la planificación puede presentarse dificultades en el mantenimiento y conocimiento acerca de los equipos de última tecnología.

La segunda categoría se da cuando el operador contrata a otra empresa para que lleve a cabo todo el proyecto; en esta situación el operador sólo aporta con los criterios y objetivos de planificación de la red. Las dificultades de asumir esta categoría se da debido a que el operador no participó en la planificación y desarrollo de la red, por lo que el mantenimiento de la misma podría volverse dificultosa para el operador.

La tercera categoría es cuando el operador paga por servicios de consultoría; en este caso, el operador realiza la mayor parte del proyecto. Aquí el operador solo contrataría servicios externos para realizar trabajos específicos. Por lo general se contrata para obtener asesoramiento sobre los equipos de última tecnología.

Como antecedente, la empresa CNT tiene acuerdos con dos empresas contratistas encargadas para la ampliación de su red de tercera generación. La primera es HUAWEI, la cual se encarga de la región costa y sierra norte, y la segunda empresa es ALCATEL LUCENT, encargada de la región amazónica y sierra sur. Por lo cual el nodo de Suscal será instalado por la segunda empresa.

3.1.2 Criterios y objetivos de la planificación de la red

El objetivo final del proceso de planificación es definir el diseño de la red. La dificultad en la planificación de la red es combinar todos los requerimientos de la mejor manera para diseñar una red rentable.



Antes de iniciar la planificación de la nueva red se deben analizar otros aspectos de importancia como: realizar un análisis de mercado, análisis de competencias, cobertura, servicios, tráfico estimado etc. Además, basado en la situación del mercado, se puede diseñar estrategias para el futuro crecimiento de la red.

Los requerimientos básicos para una red celular son conocer la cobertura y los objetivos de calidad. Estos objetivos están relacionados con las expectativas del usuario. Los objetivos de cobertura principalmente dependen de la geografía del área que la red debe cubrir.

Los factores ambientales también intervienen en la planificación de la red; por ejemplo, la propagación de las ondas de radio varía dependiendo de la zona en la que éstas se desplazan. La atenuación de la señal también varía dependiendo del ambiente rural o urbano.

Todos los factores previamente mencionados ayudan a definir los parámetros para la planificación. El objetivo de la planificación de la red es construir la red con la mayor calidad como sea posible; sin embargo, hay que tener en cuenta la relación costo-eficiencia, cuánto dinero puede invertir el operador en la construcción de la estación base, y si el negocio es rentable para el operador.

Los principales factores ambientales que afectan la planificación de la red son:

- La topografía del área.
- Las bandas de frecuencia disponibles.
- Las localizaciones recomendadas para ubicación de BTS.

A continuación se listan los objetivos de la CNT para el presente proyecto:

- El principal objetivo de la CNT es ampliar su red de tercera generación y prestar los servicios de voz y datos al cantón Suscal.
- Cumplir con los requerimientos de cobertura que establece el ente regulatorio de telecomunicaciones para satisfacer los requerimientos de los usuarios.
- Instalar una estación base en el cantón procurando brindar la mayor cobertura, capacidad y calidad de servicio como sea posible a los usuarios.

En cuanto a los factores ambientales que intervienen en la planificación del nodo de Suscal consideramos los mismos mencionados anteriormente: Topografía, ubicación de la Estación Base, y bandas de frecuencia disponibles.



3.1.2.1 Topografía del área

El cantón Suscal, al estar ubicado en la cordillera de los Andes, presenta una topografía irregular; no obstante, el centro del cantón está ubicado en un espacio regular con pendiente. Además el cantón no presenta edificios altos que dificulten la propagación de ondas de RF. En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran los perfiles del cantón.

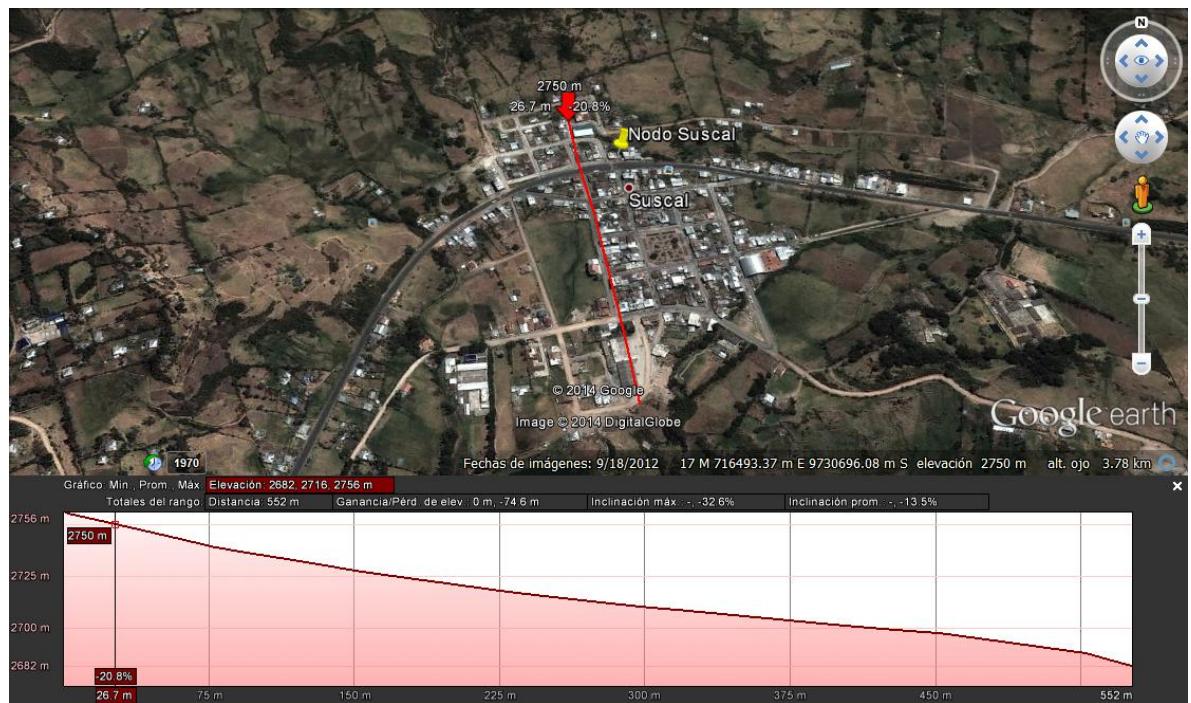


Figura 3.1 Perfil 1 del área de cobertura.

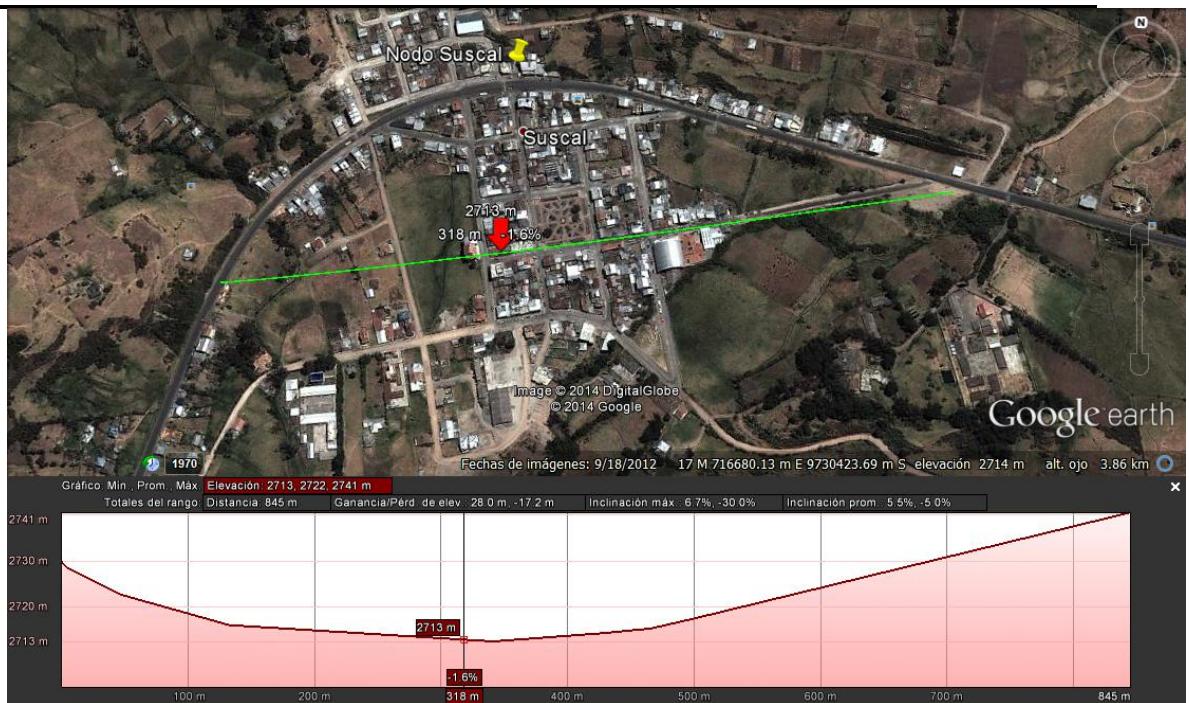


Figura 3.2 Perfil 2 del área de cobertura.

Como se puede ver en las imágenes anteriores, el sector no presenta muchas irregularidades lo que representa una ventaja para brindar mayor cobertura.

3.1.2.2 Localizaciones recomendadas para la BTS

Como se ve en la Figura 3.3, el nodo se pretende instalar en la parte alta del cantón; sin embargo, se tienen dos opciones. En la tabla 3.1 se muestra la información de las localizaciones recomendadas. Más adelante se presentará el cálculo de cobertura con sus respectivas simulaciones para una determinada ubicación.

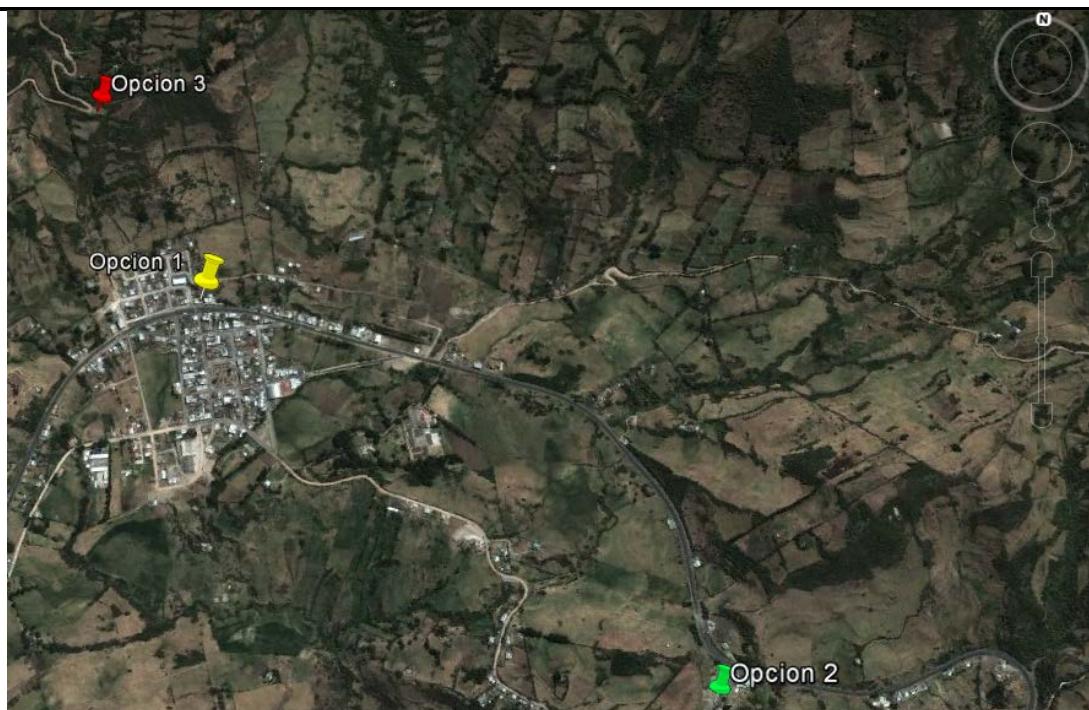


Figura 3.3 Posibles ubicaciones geográficas para la instalación de la estación base.

La opción 1, que se presenta en la imagen anterior, se ha considerado porque la empresa posee un edificio en esa ubicación, en la parte alta del cantón y cerca del centro de la ciudad.

La opción 2 se considera por su altura y la disponibilidad del terreno para la instalación de una estación base. El acceso a este punto resulta muy fácil debido a que se encuentra junto a la vía principal.

La opción 3 se ha considerado debido a la altura y la ubicación cercana al centro de la ciudad. Este punto es el menos accesible debido a que para llegar a éste se debe viajar por un carretero de tercer orden.

Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Distancia al centro de la ciudad
Opción 1	2°26'8.52" S	79° 3'8.46"O	2.742 m	200 m
Opción 2	2°26'37.3" S	79° 2'30.3"O	2.758 m	1.300 m
Opción 3	2°25'55.8" S	79° 3'16.1"O	2.924 m	690 m

Tabla 3.1 Referencias geográficas de las opciones para la instalación de la estación base.



3.1.2.3 Bandas de frecuencia disponibles

En la Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, SENATEL, establece la canalización para la banda de 1700 - 2100 MHz como se muestra en la figura 3.4, CNT tiene asignada en la banda de AWS (Advanced Wireless Services) los bloques A - A', B - B', C - C', Y D - D' correspondientes a los rangos 1.710 – 1.730 MHz (subida) y 2.110 – 2.130 MHz (bajada) con un total de 40 MHz de espectro en la banda de 1.700 MHz.

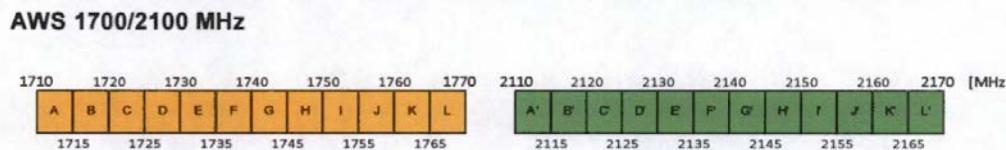


Figura 3.4 División de la banda de 1900. (CONATEL, TEL-804-29-CONATEL-2012, 2012)

3.1.3 Pasos para la planificación de una red

El proceso de planificación de una red consiste en varias fases, por lo cual este proceso se encuentra dividido en cinco pasos fundamentales de los cuales los cuatro primeros se realizan antes del lanzamiento de la red, y el último se realiza después de la misma. Los cinco pasos principales en la planificación de la red son: pre planificación, planificación, planificación detallada, aceptación, evaluación. Los mismos que serán revisados con detalle más adelante. La figura 3.5 muestra el orden de los pasos a seguir. Como se puede notar, el proceso de planificación de red es un proceso cíclico.

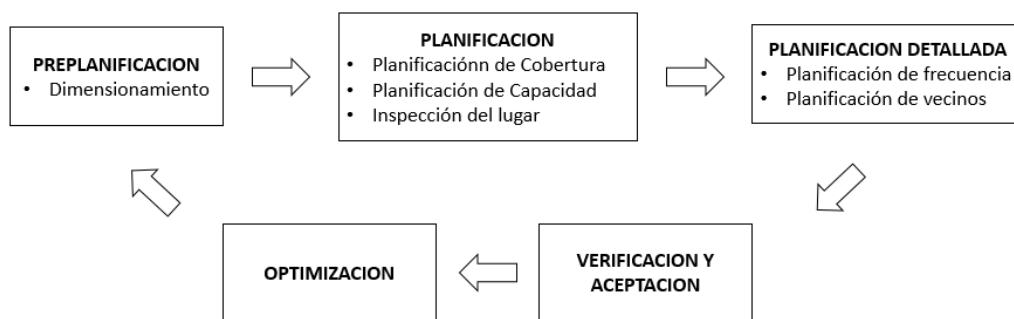


Figura 3.5 Pasos para la planificación de una red.

3.1.3.1 Preplanificación

En esta fase se cubren todas las asignaciones y preparación antes de comenzar la planificación de la red, para estar al tanto de la situación actual del mercado y la competencia, principalmente. Los criterios para la planificación de la red van de acuerdo a las necesidades del cliente, las



cuales principalmente tienen que ver con la cobertura y los objetivos de calidad; sin embargo, se deben tener en cuenta las limitaciones existentes, como las bandas de frecuencia y el presupuesto disponible de parte del operador. En muchos casos no se podrán cumplir con todas las aspiraciones de los usuarios debido a estas limitaciones, por lo cual el operador debe priorizar los servicios y necesidades del cliente.

Los criterios de planificación de la red son usados como una entrada para el dimensionamiento de la red. A continuación se listan los requerimientos para el dimensionamiento de la red.

- Requerimientos de cobertura: el nivel de señal para exteriores, interiores y en automóvil con las probabilidades de cobertura.
- Requerimientos de calidad: bloqueo de llamada y tasa de caída de llamadas.
- Espectro de frecuencia, número de canales, incluido información de posibles bandas de guarda.
- Información de abonados, número de abonados y gráficas de crecimiento.
- Tráfico por usuario y valor en hora pico.
- Servicios.

El dimensionamiento de la red entrega un plan de red preliminar como una salida. Este plan incluye el número de elementos de red que son necesarios para crear un plan más detallado. También se debe aclarar que el dimensionamiento se debe repetir en el caso de que sólo se realice la expansión de la red.

El resultado del dimensionamiento tiene dos aspectos importantes: el mínimo número de estaciones base debido a razones de cobertura y de capacidad. Estos dos aspectos deben ser analizados comparándolos con los objetivos iniciales de la planificación. Es importante también analizar el pronóstico de crecimiento de los usuarios y también los servicios que serán desarrollados.

3.1.3.1.1 Requerimientos para el dimensionamiento de la estación base

Los requerimientos serán detallados a continuación.

3.1.3.1.1.1 Requerimientos de cobertura y calidad de servicio

La siguiente tabla muestra los requerimientos del ente regulador para las operadoras de telefonía móvil celular.

Parámetro	Valor Objetivo
Porcentaje de llamadas establecidas	> 95%
Porcentaje de llamadas establecidas en menos de 12	> 95%



segundos	
Porcentaje de llamadas caídas	< 5%
Porcentaje de SMS exitosos	> 95%
Tiempo de entrega de SMS	< 30 segundos

Tabla 3.2 Requerimientos de cobertura y calidad de servicio.

A partir de esto, se presentan los datos medidos de CNT EP.

Parámetro Contractual	Valor Objetivo	Valor Medido	Cumplimiento (SI/NO)
Porcentaje de Llamadas Establecidas	≥ 95%	99,88%	SI
Porcentaje de Llamadas establecidas en menos de 12 segundos	≥ 95%	100,00%	SI
Porcentaje de Llamadas Caídas en 2G y 3G	A ≤ 2% B ≤ 5% C ≤ 7%	A - B - C -	A - B - C -
Porcentaje de SMS Exitosos	≥ 95%	99,54%	SI
Tiempo de entrega de SMS	≤ 30 (seg)	4,38	SI
MOS DL	≥ 3	3,35	SI

Tabla 3.3 Parámetros de calidad CNT EP (1 al 31 de Julio de 2014). (SUPERTEL, s.f.)

3.1.3.1.1.2 Espectro de frecuencia

La CNT tiene asignado 40MHz de espectro en la banda de 1900 MHz, de los cuales tiene 20 MHz para enlaces de subida y 20 MHz para enlaces bajada. Estas bandas tienen una canalización de 5 MHz, con bandas de guarda de 0,58 MHz teniendo disponible 3,84 MHz, como se ven en la figura 3.6.

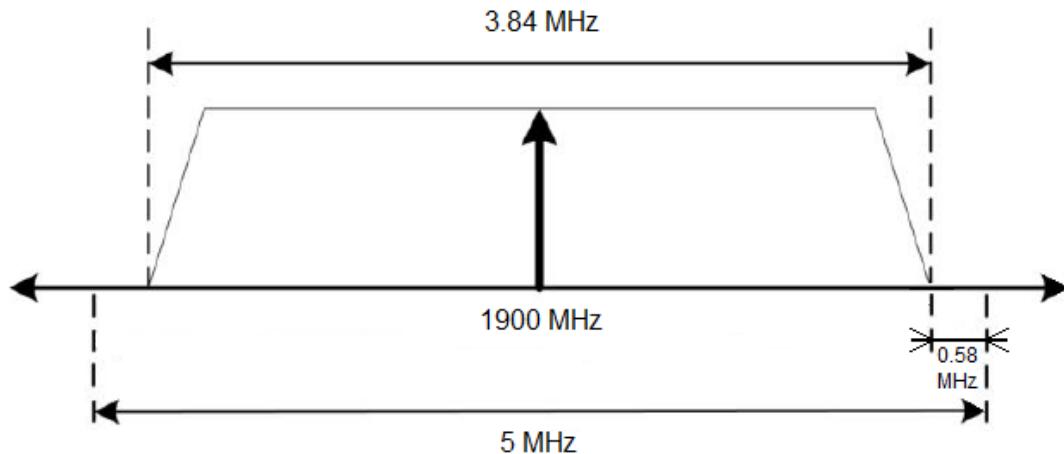


Figura 3.6 Ancho de banda disponible por canal.

3.1.3.1.1.3 Información de abonados

Para determinar la posible demanda del cantón Suscal se realizó un análisis basado en la información disponible. Partiendo de los porcentajes de abonados que tienen cada operadora a nivel nacional y provincial, se proyectó este resultado para el cantón Suscal. En la tabla 3.4 se muestran los resultados. Cabe recalcar que los datos utilizados son los brindados por la SENATEL hasta el mes de agosto de 2014.

	Ecuador	Cañar	Suscal
% Población que tiene celular	0,51	0,446	0,446
Población	15'737.878	249.297	4.770
Población que tiene celular	80.263,1778	111.186,462	2.127,42
%CNT	3,6	3,6	3,6
CNT	2.889,4744	4.002,71263	76,58712

Tabla 3.4 Predicción de captación de abonados.

Según esta proyección, la operadora CNT puede llegar a captar 76 abonados para los dos tipos de servicios voz y datos, si sus porcentajes no aumentan.

Para calcular el número de usuarios para el servicio de datos, se tiene que del total de la población que posee celular, el 16% cuentan con un celular inteligente. Así el número de usuarios proyectado para el servicio de datos serían 12 abonados.

Con este análisis se podría pensar que no se justificaría la inversión de instalar una estación base en este sector; sin embargo, además de tratarse de un sector altamente transitado por comerciantes y viajeros al ser una de las principales vías que conecta la provincia del Azuay con el Guayas, la



CNT debe cumplir con las exigencias de cobertura reguladas por el Estado, como se puede ver en el siguiente párrafo.

Según el Reglamento Para El Servicio De Telefonía Móvil Celular de la resolución del CONATEL 421 en el artículo 12 establece: “*El área geográfica de cobertura del servicio será todo el territorio nacional; la Operadora presentará a la SNT un plan de expansión para lograr dicha cobertura. Dicho plan de expansión será preparado de acuerdo a los lineamientos que para el efecto establezca el CONATEL. En el caso de que el Plan no sea aprobado, el CONATEL se reserva el derecho de conceder las áreas geográficas no concesionadas, a otras operadoras. A partir de la aprobación de dicho plan cualquier expansión no tendrá nuevos derechos de concesión. La Operadora tiene la obligación de cumplir con el plan de expansión y de informar de los avances a la Superintendencia de Telecomunicaciones y a la SNT.*” (CONATEL, Reglamento para el servicio de telefonía móvil celular).

3.1.3.1.1.4 Tráfico por usuarios

Para la estimación del tráfico que se generará en la celda, se utilizaron valores promedios del tráfico generado por usuario y también la información de los abonados.

VOZ	Tráfico por usuario hora pico [E]	0,025
	Número de usuarios	76
	Tráfico en hora pico [E]	1,9
	Tráfico total hora pico [kbps]	23,18
DATOS	Traffic al mes por usuario [Bytes]	2,00E+09
	Porcentaje utilización en hora pico	0,2
	Tráfico hora pico [Bytes]	1,33E+07
	Tráfico hora pico [Kbits]	1,07E+05
	Tráfico en kbps	29,63
	Número de usuarios	12,00
	Tráfico total 12 usuarios [kbps]	355,56
TOTAL	Tráfico total [kbps]	378,74
	Incluido 20% tráfico de control [kbps]	454,48

Tabla 3.5 Tráfico generado por usuario.

3.1.3.1.1.5 Servicios

Se dispone a dar servicio de voz y datos, en la tabla 3.6 se muestra los requerimientos de señal a ruido para brindar estos servicios en los distintos escenarios.



Servicio	R(kbps)	Características	Velocidad(km/h)	Eb/No (dB) UL	Eb/No (dB) DL
Voz	8	Interior	0 - 3	4,8	6,7
Voz	8	Peatonal	3	4,8	6,8
Datos	64	Interior	3	2,3	1,9
Datos	64	Peatonal	3	2,4	1,9
Datos	64	Vehicular	120	3,8	3,7
Datos	144	Vehicular	120	3	2,9
Datos	384	Peatonal	3	0,4	0,1

**Tabla 3.6 Requerimiento de señal a ruido para los servicios móviles.
Enlaces de subida y bajada.**

3.1.3.2 Planificación

La planificación toma los datos del dimensionamiento como entrada. En esta etapa básicamente está dedicada para la planificación de la cobertura y la capacidad de la red.

El plan nominal no determina las localizaciones de los sitios, pero da una recomendación de las mismas, así como la distancia entre ellos.

El plan nominal es el punto de inicio para la inspección del lugar (survey), la búsqueda de las ubicaciones reales de los sitios. El objetivo de la planificación de cobertura es encontrar la ubicación óptima para la estación base con el fin de satisfacer los requerimientos de los usuarios. La planificación de cobertura se desarrolla con distintas herramientas de planificación como mapas digitales y un modelo de propagación apropiado. Este debe tener una buena precisión.

La salida de la fase de planificación es el plan final y detallado de cobertura y capacidad.

El resultado de la inspección (survey) del lugar consta de tres partes básicamente, la evaluación para la obra civil, eléctrica y telecomunicaciones.

3.1.3.2.1 Survey

El informe de la inspección de sitio contiene tanto información general como técnica y específica del lugar donde se pretende instalar la estación base.

A continuación se detallan los datos que contiene el informe de la inspección:

1. Información general
 - 1.1 Ubicación del sitio
Aquí se adjunta la ubicación del sitio tanto en coordenadas y la dirección donde se pretende instalar la estación base, así también se adjunta la altura absoluta del lugar.
 - 1.2 Acceso al sitio
Se indica la forma de acceso al sitio y un contacto que dispone de la



- | | |
|-----|---|
| | <p>lleva y claves de alarmas del sitio.</p> |
| 1.3 | <p>Croquis de acceso al sitio</p> <p>Se adjunta un croquis con la ruta para llegar al sitio</p> |
| 1.4 | <p>Asistentes</p> <p>Se detalla la información personal e información profesional de las personas encargadas del estudio.</p> |
| 1.5 | <p>Condiciones del sitio</p> <p>En esta sección se detalla las condiciones del sitio, si éste es propio o rentado, si tiene una construcción, también se detalla si la estación base será interna o externa, además se detalla la superficie de terreno disponible.</p> |
| 2. | <p>Datos de antenas existentes</p> |
| 2.1 | <p>Antenas de RF existentes</p> <p>Se detalla la información de las antenas existentes tales como altura, orientaciones, modelo, tecnología.</p> |
| 2.2 | <p>Antenas de MW existentes</p> <p>Se detalla la información de las antenas MW existentes tales como altura, orientación, frecuencia y tamaño de la antena.</p> |
| 3. | <p>Propuesta de diseño RF/MW</p> |
| 3.1 | <p>Propuesta de diseño RF</p> <p>Se describe en tablas los parámetros considerados para la propuesta del diseño tales como: antenas con su respectiva información, orientación de las antenas, inclinación eléctrica y mecánica.</p> |
| 3.2 | <p>Enlace propuesto de MW</p> <p>Se detalla la información como tipo de antena, medidas de la antena, altura, orientación, frecuencia, además se detalla información de la instalación de la antena.</p> |
| 4. | <p>Instalación en interiores y exteriores</p> |
| 4.1 | <p>Equipos en interiores y exteriores existentes</p> <p>Se detalla los equipos de suministro de energía AC y DC, si el cuarto de equipos posee climatización, si existe respaldo de energía, la iluminación, aterrizaje de equipos.</p> |
| 4.2 | <p>Equipos a instalar</p> <p>Se especifica los equipos que faltan instalar con sus respectivas características.</p> |
| 4.3 | <p>Diseño propuesto del sistema de puesta a tierra</p> <p>Se presentan los resultados del estudio de puesta a tierra y, los accesorios necesarios para su instalación.</p> |
| 4.4 | <p>Accesorios para la instalación (interior o exterior)</p> <p>Se describen los accesorios a utilizar como: barra de tierra, baliza, pararrayos, escalerillas de cables, pasamuros.</p> |
| 4.5 | <p>Materiales de implementación RF</p> <p>Se detallan los materiales a utilizar para la instalación y soporte de las antenas.</p> |
| 5. | <p>Lista de fotomontajes</p> |
| 5.1 | <p>Ubicación (croquis)</p> |
| 5.2 | <p>Acceso</p> |



- 5.3 Ubicación y medidas del espacio a utilizar
- 5.4 Equipos proyectados
- 5.5 Ubicación de antenas
- 5.6 Ubicación del transformador
- 5.7 Ubicación del generador
- 5.8 Ubicación del medidor
- 5.9 Trayectoria de acometida
- 5.10 Ubicación de cajas de revisión
- 5.11 Tipo de cerramiento y puerta de acceso
- 5.12 Trayectoria de fibra óptica
- 5.13 Fotos panorámicas cada 30 grados
- 6. Detalles generales
 - En esta sección se describe cómo se pretende realizar la instalación desde la instalación de: Tableros distribuidores de energía y breakers, barras de puesta a tierra, escalerillas galvanizadas externas, mástiles y polos.
- 7. Planos eléctricos
 - Se adjuntan los planos del sistema eléctrico y sistema de puesta a tierra.
- 8. Minuta de campo
- 9. Transmisión
 - En esta sección se presenta la información de las conexiones físicas desde la antena al cuarto donde se encuentran los equipos. También se muestran detalles fotográficos de la ruta de transmisión.
- 10. Orden de trabajo
 - En esta sección se presenta un detalle de las conexiones físicas entre los equipos de la estación base y la RNC. También se detalla el ancho de banda que se necesita para esta conexión y la información relacionada con la agregación de la estación base a la red de tercera generación.
- 11. Anexos
 - En esta sección se agrega la información que no se pudo detallar previamente en el desarrollo del informe de la inspección, como el estudio de radio frecuencia, predicciones de cobertura, entre otros.

3.1.3.3 Planificación detallada

La fase de planificación detallada incluye la planificación de frecuencia y adyacencia. Las herramientas de planificación también incluyen algoritmos para la planificación automática de frecuencias. El objetivo de estos algoritmos es minimizar la interferencia co-canal y encontrar la menor interferencia por canal adyacente que sea posible.



3.1.3.4 Verificación y aceptación

El objetivo de esta fase es asegurarse del correcto funcionamiento de la red, una vez terminada la fase de planificación. Además de la puesta a punto de la red, se realiza un seguimiento completo de esta, revisando errores que posiblemente se cometieron en el momento de la instalación. También se realizan pruebas de cobertura y capacidad de la red, para esto son de mucha ayuda los estudios “drive test” para realizar las medidas a distintas distancias y velocidades.

3.1.3.5 Optimización

Después que la red haya sido puesta en marcha, la planificación y optimización no termina, porque la optimización es un proceso continuo. Para la optimización se requiere conocer toda la información de la red y el estado de la misma. Las quejas de los usuarios acerca de los servicios son una buena entrada para el proceso de optimización.

3.2 Dimensionamiento de la red de radio.

El dimensionamiento es la parte principal de la fase de pre planificación. Además de los parámetros de dimensionamiento, su prioridad también necesita ser acordada. Los parámetros de dimensionamiento de la red de radio tienen un impacto uno sobre otro y, por lo tanto, es importante decidir el énfasis, con el fin de obtener un resultado de dimensionamiento óptimo dentro de los rangos de parámetros acordados. Es imperativo acordar la disposición de la red, el uso de sitios tri-sectoriales, o una combinación de tres sectores y sitios omnidireccionales con la operadora. Una cuestión importante de planificación es también si sólo macro celdas son usadas al comienzo o una combinación de macro, micro y pico celdas. Las macro, micro y pico celdas pueden variar con el tamaño de la celda y la ubicación de la antena. Las macro celdas son usadas en áreas rurales y suburbanas para cubrir grandes áreas.

Las macro celdas tienen un rango de 1 - 20 km y son caracterizadas por una antena exterior, la cual cubre un área extensa. Para cubrir estas extensiones las antenas deben ser situadas por encima los techos de las viviendas.

3.2.1 Link Budgets

El Link Budget de radio apunta a calcular el área de cobertura. Uno de los parámetros requeridos es la propagación de ondas de radio para estimar la pérdida de propagación entre el transmisor y el receptor. Los otros parámetros requeridos son la potencia de transmisión, ganancia de la antena, pérdidas en los cables, sensibilidad del receptor y márgenes, etc.

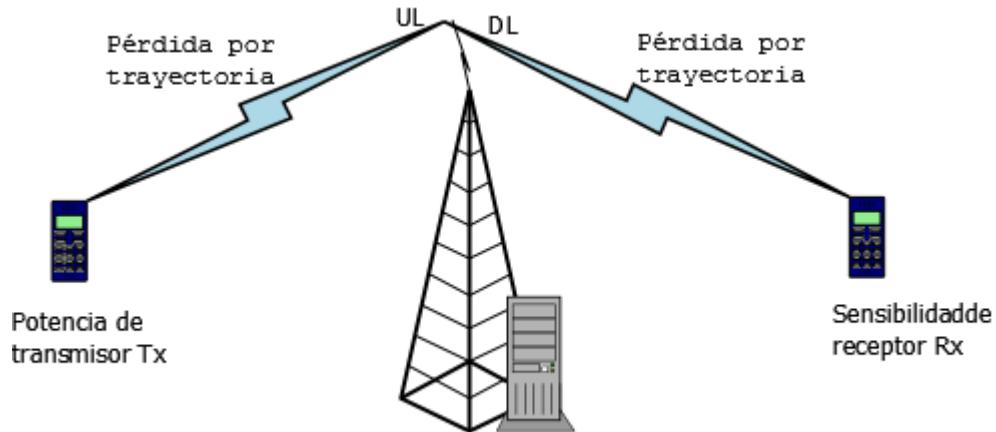


Figura 3.7 Pérdida por trayectoria.

Cuando se define el área de cobertura de celda, el objetivo es balancear las potencias de los enlaces de subida y de bajada. Los enlaces son calculados separadamente y son diferentes de las potencias de transmisión. La potencia de transmisión de la BTS es más alta que la de la MS (Mobil Station), por lo tanto la recepción de la BTS necesita tener mayor sensibilidad.

Antes de calcular el Link Budget, es necesario revisar ciertos parámetros para los enlaces de subida y de bajada que se van a asumir.

Se consideran tres escenarios para los enlaces de la estación base con el equipo del usuario: uno en el que el terminal móvil se encuentre en interiores, otro para exteriores y otro en un automóvil; todo esto para dos casos, en los que el usuario utilice servicio de voz, o de datos.

Para el servicio de voz se considera un requerimiento de capacidad de transmisión de 12,2 kbps. Se consideran pérdidas en el auto de 3 dB. Hay que considerar que la relación E_b/N_0 requerida depende de la tasa de bits, el servicio, el perfil multirayecto, la velocidad del móvil, los algoritmos de recepción y la estructura de antena de la estación base. Para velocidades bajas, la E_b/N_0 requerida es baja, pero por otro lado, se requiere un margen de desvanecimiento rápido.

Parámetro	Equipo de usuario (UE)
Potencia máxima de transmisión	Servicio de voz: 125 mW / 21 dBm Servicio de datos: 250 mW / 24 dBm
Ganancia de la antena	0 dBm
Pérdida en cuerpo	3 dB

Tabla 3.7 Datos asumidos para el UE

Parámetro	Estación Base
Figura de Ruido	5.0 dB
Walter Chauca	
Diego Méndez	62



Ganancia de la antena	17.5 dBi
Requerimiento E_b/N_0	Servicio de voz: 4.8 dB Servicio de datos: 2.3 ~ 3.8 dB
Pérdida por cable	2.0 dB (Patch cord: 0.8 dB; Conectores: 1.2 dB)

Tabla 3.8 Datos asumidos para la BTS

3.2.1.1 Link Budget. Enlace de subida.

Los fabricantes de equipos comúnmente requieren un cierto Link Budget, que es estudiado por potenciales compradores de operadoras con el fin de predecir el rendimiento, la cobertura, la capacidad y compararlos con los de otros proveedores de equipos. El enlace de subida se presta bien para un presupuesto de potencia de bajada, basado en la potencia máxima de transmisión del móvil y el nivel de sensibilidad de la estación base. La industria comúnmente admite que el enlace de subida es la base para el diseño de radio, y el enlace de bajada es estudiado subsecuentemente, simplemente con el fin de verificar que se proveen suficientes recursos para estar balanceado con el enlace de subida.



Parámetro	Valores en escenarios			Unidad
	Interior	Exterior	En auto	
Transmisor: Equipo Móvil				
Potencia de transmisión máxima	21,00	21,00	21,00	dBm
Ganancia de la antena	0,00	0,00	0,00	dBi
PIRE	21,00	21,00	21,00	dBm
Propagación				
Pérdida en cuerpo	3,00	3,00	3,00	dB
Margen de desvanecimiento log-normal	4,00	6,00	8,00	dB
Ganancia de soft handover, multicelda	0,00	2,00	3,00	dB
Margen de desvanecimiento rápido	3,00	3,00	0,00	dB
Pérdida por interiores	15,00	0,00	0,00	dB
Pérdida por automóvil	0,00	0,00	4,00	dB
Receptor: Estación base				
Tasa de transmisión	12,20	12,20	12,20	Kbps
Densidad de ruido térmico	-173,98	-173,98	-173,98	dBm/Hz
Figura de ruido de la estación base	5,00	5,00	5,00	dB
Densidad de ruido en el receptor	-168,98	-168,98	-168,98	dBm/Hz
Potencia de ruido en el receptor	-103,13	-103,13	-103,13	dBm
Margen de interferencia	3,00	3,00	3,00	dB
Ruido efectivo total + interferencia	-100,13	-100,13	-100,13	dBm
Ganancia de procesamiento	24,98	24,98	24,98	dB
E_b/N_0 requerido	4,80	4,80	4,80	dB
Sensibilidad del receptor	-120,31	-120,31	-120,31	dBm
Ganancia de la antena de la estación base	17,50	17,50	17,50	dBi
Pérdida en cable de la estación base	2,00	2,00	2,00	dB
Pérdida de trayectoria máxima	150,81	150,81	153,81	dB
Pérdida de propagación permitida para rango de celda	131,81	146,81	144,81	dB

Tabla 3.9 Link Budget para enlace de subida, servicio de voz.



Parámetro	Valores en escenarios			Unidad
	Interior	Exterior	En auto	
Transmisor: Equipo Móvil				
Potencia de transmisión máxima	24,00	24,00	24,00	dBm
Ganancia de la antena	0,00	0,00	0,00	dBi
PIRE	24,00	24,00	24,00	dBm
Propagación				
Pérdida en cuerpo	0,00	0,00	0,00	dB
Margen de desvanecimiento log-normal	4,00	6,00	8,00	dB
Ganancia de soft handover, multicelda	0,00	2,00	3,00	dB
Margen de desvanecimiento rápido	4,00	2,00	0,00	dB
Pérdida por interiores	15,00	0,00	0,00	dB
Pérdida por automóvil	0,00	0,00	4,00	dB
Receptor: Estación base				
Tasa de transmisión	144,00	384,00	384,00	Kbps
Densidad de ruido térmico	-173,98	-173,98	-173,98	dBm/Hz
Figura de ruido de la estación base	5,00	5,00	5,00	dB
Densidad de ruido en el receptor	-168,98	-168,98	-168,98	dBm/Hz
Potencia de ruido en el receptor	-103,13	-103,13	-103,13	dBm
Margen de interferencia	3,00	3,00	3,00	dB
Ruido efectivo total + interferencia	-100,13	-100,13	-100,13	dBm
Ganancia de procesamiento	14,26	10,00	10,00	dB
E_b/N_0 requerido	0,40	0,40	0,40	dB
Sensibilidad del receptor	-113,99	-109,73	-109,73	dBm
Ganancia de la antena de la estación base	17,50	17,50	17,50	dBi
Pérdida en cable de la estación base	2,00	2,00	2,00	dB
Pérdida de trayectoria máxima	149,49	147,23	149,23	dB
Pérdida de propagación permitida para rango de celda	130,49	143,23	140,23	dB

Tabla 3.10 Link Budget para enlace de subida, servicio de datos.

3.2.1.2 Link Budget. Enlace de bajada.

A veces, los fabricantes de equipos no proveen el Link Budget para enlace de bajada, y argumentan que esos sistemas están usualmente limitados por el enlace de subida. Para sistemas de voz, ambos Link Budget deberían estar balanceados; el Link Budget del enlace de bajada debería asegurar que la asignación de potencia entre los dispositivos dentro de la celda es suficiente para proveer suficiente capacidad. Para los sistemas de datos, el enlace de subida es típicamente usado para definir un rango máximo, y el enlace de bajada para determinar las correspondientes velocidades de descarga.



A diferencia del enlace de subida, toda la potencia no está necesariamente asignada a un solo dispositivo de cliente remoto: o bien le son asignados una porción de canales ortogonales (CDMA u OFDMA), o un cierto porcentaje del tiempo (como en sistemas TDMA). El Link Budget debería reflejar el hecho de que sólo una porción de la PIRE está disponible.

Link Budget. Enlace de bajada (DL). Servicio de voz.				
Parámetro	Valores en escenarios			Unidad
	Interior	Exterior	En auto	
Transmisor: Estación Base				
Potencia de transmisión máxima BTS	40	40	40	W
	46,02	46,02	46,02	dBm
Porcentaje de potencia máxima por canal	4,5%	4,5%	4,5%	
Potencia de transmisión máxima por canal	32,55	32,55	32,55	dBm
Pérdida en cable de la estación base	2,00	2,00	2,00	dB
Ganancia de la antena	17,50	17,50	17,50	dBi
PIRE (por canal)	48,05	48,05	48,05	dBm
Propagación				
Margen de desvanecimiento rápido	3,00	3,00	0,00	dB
Margen de desvanecimiento log-normal	4,00	6,00	8,00	dB
Ganancia de soft handover, multicelda	0,00	2,00	3,00	dB
Pérdida en cuerpo	3,00	3,00	3,00	dB
Pérdida por interiores	15,00	0,00	0,00	dB
Pérdida por automóvil	0,00	0,00	4,00	dB
Receptor: Equipo móvil				
Tasa de transmisión	12,20	12,20	12,20	Kbps
Ganancia de la antena del equipo móvil	0,00	0,00	0,00	dBi
Densidad de ruido térmico	-173,98	-173,98	-173,98	dBm/Hz
Figura de ruido base	7,00	7,00	7,00	dB
Densidad de ruido en el receptor	-166,98	-166,98	-166,98	dBm/Hz
Potencia de ruido en el receptor	-101,13	-101,13	-101,13	dBm
Margen de interferencia	2,00	2,00	2,00	dB
Ruido efectivo total + interferencia	-99,13	-99,13	-99,13	dBm
Ganancia de procesamiento	24,98	24,98	24,98	dB
E_b/N_0 requerido	6,80	6,80	6,80	dB
Sensibilidad del receptor	-117,31	-117,31	-117,31	dBm
Pérdida de trayectoria máxima	159,37	159,37	162,37	dB
Pérdida de propagación permitida para rango de celda	140,37	155,37	153,37	dB

Tabla 3.11 Link Budget para enlace de bajada, servicio de voz



Parámetro	Valores en escenarios			Unidad
	Interior	Exterior	En auto	
Transmisor: Estación Base				
Potencia de transmisión máxima BTS	40	40	40	W
	46,02	46,02	46,02	dBm
Porcentaje de potencia máxima por canal	4,5%	4,5%	4,5%	
Potencia de transmisión máxima por canal	32,55	32,55	32,55	dBm
Pérdida en cable de la estación base	2,00	2,00	2,00	dB
Ganancia de la antena	17,50	17,50	17,50	dBi
PIRE (por canal)	48,05	48,05	48,05	dBm
Propagación				
Margen de desvanecimiento rápido	4,00	2,00	0,00	dB
Margen de desvanecimiento log-normal	4,00	6,00	8,00	dB
Ganancia de soft handover, multicelda	0,00	2,00	3,00	dB
Pérdida en cuerpo	3,00	3,00	3,00	dB
Pérdida por interiores	15,00	0,00	0,00	dB
Pérdida por automóvil	0,00	0,00	4,00	dB
Receptor: Equipo móvil				
Tasa de transmisión	144,00	384,00	384,00	Kbps
Ganancia de la antena del equipo móvil	0,00	0,00	0,00	dBi
Densidad de ruido térmico	-173,98	-173,98	-173,98	dBm/Hz
Figura de ruido base	7,00	7,00	7,00	dB
Densidad de ruido en el receptor	-166,98	-166,98	-166,98	dBm/Hz
Potencia de ruido en el receptor	-101,13	-101,13	-101,13	dBm
Margen de interferencia	2,00	2,00	2,00	dB
Ruido efectivo total + interferencia	-99,13	-99,13	-99,13	dBm
Ganancia de procesamiento	14,26	10,00	10,00	dB
E_b/N_0 requerido	1,90	1,90	3,00	dB
Sensibilidad del receptor	-111,49	-107,23	-106,13	dBm
Pérdida de trayectoria máxima	152,55	150,29	151,19	dB
Pérdida de propagación permitida para rango de celda	133,55	146,29	142,19	dB

Tabla 3.12 Link Budget para enlace de bajada, servicio de datos.

De estos cálculos, se puede calcular el radio de la celda para un modelo de propagación conocido. Para las bandas de frecuencia asignadas a CNT, el modelo más aproximado es el modelo Cost-Hata, explicado en el capítulo anterior. Asumiendo los parámetros respectivos para el proyecto y tomando en cuenta los Link Budgets de los enlaces tanto de subida como los de bajada, podemos estimar los radios de cobertura.

Servicio	Velocidad (kbps)	Pérdidas (dB)	Radio de celda (km)
Voz	12,2	131,81	0,98061
Datos	144	128,59	0,78983
Datos	384	124,33	0,59322

Tabla 3.13 Radios de celda para servicios de voz y datos.



La concesión de CNT es de 40 MHz en el espectro de frecuencias: de 1.710 a 1.730 MHz para enlace de subida, y 2.110 a 2.130 MHz para enlaces de bajada. De los enlaces de subida, se asume para estos cálculos la frecuencia de 1.722,5 MHz por ser la portadora más alta, que proporciona una menor cobertura que las demás (el peor de los casos); una altura de la antena de 42 metros y altura de estación móvil de 2 metros. Las pérdidas consideradas para el cálculo de radio de celda con este modelo de propagación son de escenarios en interiores, para velocidades de 12,2 kbps para servicio de voz; 144 y 384 kbps para servicio de datos, que son los objetivos de la tecnología 3G.

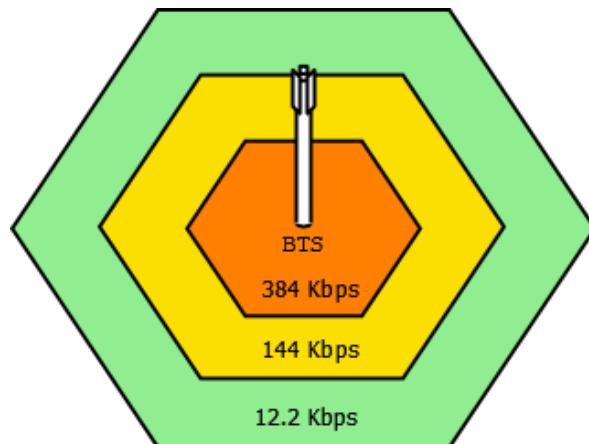


Figura 3.8 Rangos de velocidades.

3.3 Propagación de Ondas de Radio

Para la planificación de cobertura se utilizará el modelo de propagación Cost-Hata debido a que el nodo a instalar cumple con los parámetros técnicos para el modelo, y además el cantón Suscal es pequeño y no contiene grandes edificaciones.

En la tabla 3.14 se muestran los datos técnicos que se utilizarán en este modelo de propagación y sus rangos de operación correspondientes.

Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Datos	Rango	
Frecuencia	f	MHz	1.900	1.500	2.000
Radio de la celda	d	km	>3	1	20
Alto de antena transmisora	H_b	m	42	3	200
Alto de antena receptora	H_m	m	~1.5	1	10

Tabla 3.14 Datos técnicos del modelo Cost-Hata.

En la figura 3.9 se muestra la gráfica de las pérdidas de trayectoria del modelo Cost-Hata y las pérdidas de trayectoria en el espacio libre.

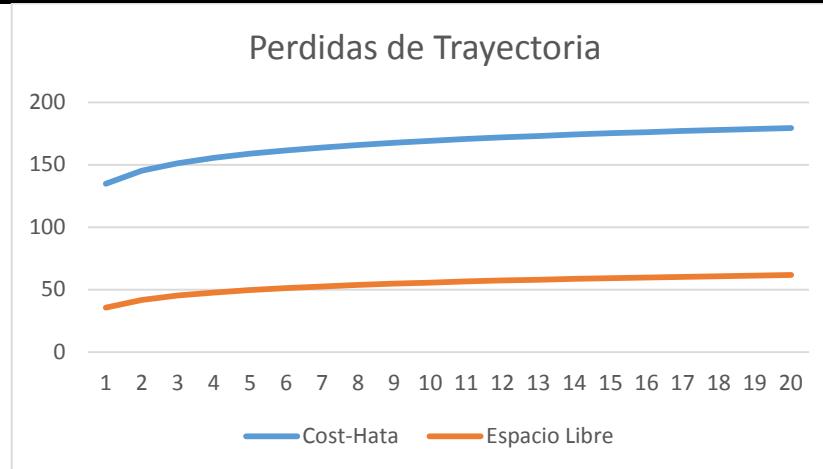


Figura 3.9 Pérdidas de trayectoria: Modelo Cost-Hata vs. Espacio libre.

3.4 Planificación de cobertura

Para la planificación de cobertura se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Análisis de las posibles ubicaciones para la estación base.
2. Análisis de las orientaciones de las antenas.
3. Determinación de las alturas e inclinación de las antenas.
4. Simulación de cobertura.

Antes de comenzar con el análisis para la planificación de cobertura, es de suma importancia saber las ubicaciones de estaciones base celulares vecinas existentes, o que se instalarán en un futuro. Por el momento se tienen dos estaciones base vecinas: la primera está ubicada a 16 km, en El Tambo, la cual también es de tercera generación, y la segunda se ubica a 3 km, en la localidad de Mesaloma, la cual es CDMA-450. En la figura 3.10 se muestran estas ubicaciones.

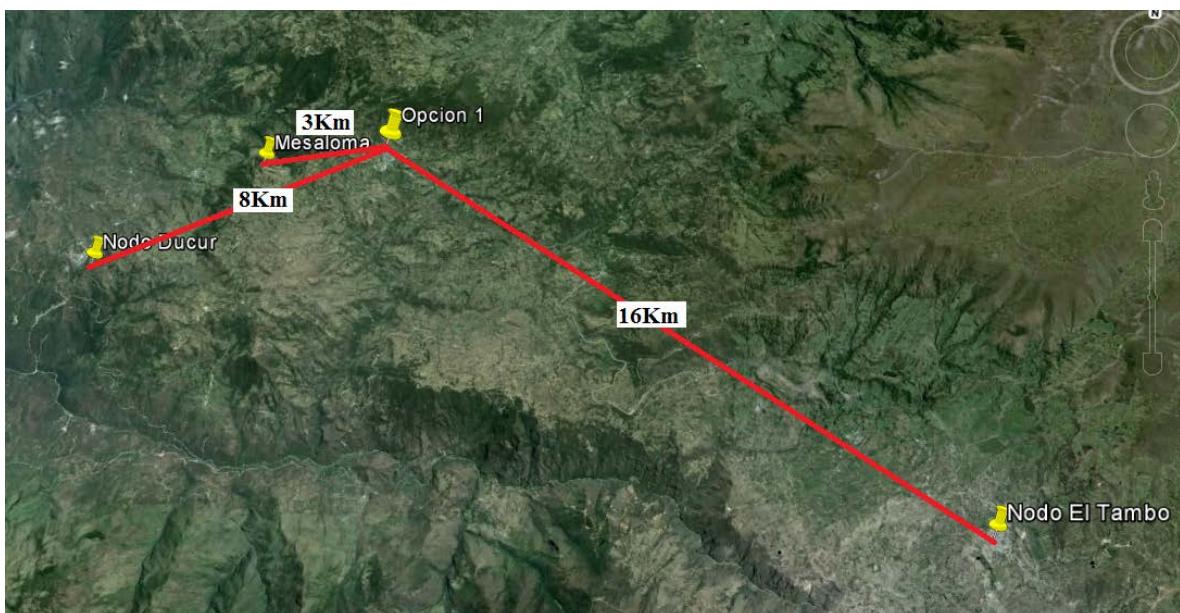


Figura 3.10 Distancias del nodo de Suscal hacia los nodos vecinos.

3.4.1 Análisis de las posibles ubicaciones para la estación base.

En la tabla 3.15 se muestran las referencias geográficas de las posibles ubicaciones para la estación base y en la figura 3.3 se muestra de forma gráfica.

Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Distancia al centro de la ciudad
Opción 1	2°26'8.52" S	79° 3'8.46"O	2.742 m	200 m
Opción 2	2°26'37.3" S	79° 2'30.3"O	2.758 m	1.300 m
Opción 3	2°25'55.8" S	79° 3'16.1"O	2.924 m	690 m

Tabla 3.15 Referencias geográficas de las posibles ubicaciones para la estación bases.

De los resultados obtenidos en el proceso de dimensionamiento, se obtuvo que el rango máximo de la celda para brindar servicio de voz es de 980 m, para lo cual las opciones 1 y 3 cumplen con este requerimiento. La opción 3 también se vería limitada debido a que el rango de la celda no cubriría con la parte sur del cantón. Además de esto, también se tiene que en la opción 1 existe una edificación perteneciente a la CNT, lo cual facilita la instalación debido a que omitiría el pago de renta por el terreno a utilizar, omitiría la construcción civil e instalación eléctrica (o de ser necesaria se planifica la remodelación de las



mismas), así también la extensión del enlace. Por estas razones se ha escogido la opción 1.

3.4.2 Análisis de Orientación de las Antenas

Las antenas a utilizar son de la marca TONGUY modelo 182010DE 65F y sus especificaciones más importantes se describirán en la tabla 3.16.

Parámetro	Datos
Rango de Frecuencia (MHz)	1.710 – 1.880
Ganancia (dBi)	17,3
Ancho de haz de media potencia horizontal (°)	65
Ancho de haz de media potencia vertical (°)	7,5
Impedancia (Ω)	50
Máxima potencia de ingreso (W)	300

Tabla 3.16 Especificaciones de las antenas a utilizar.

Los patrones de radiación se presentan a continuación en la figura 3.11.

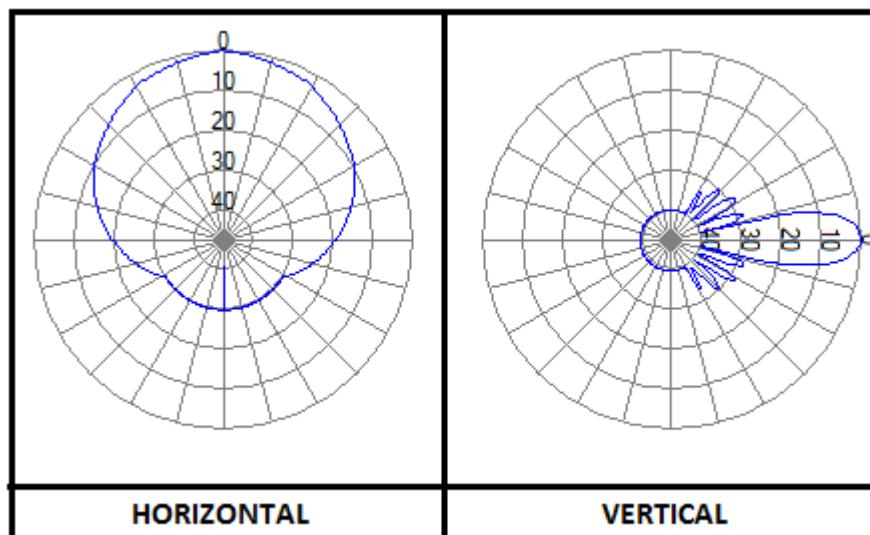


Figura 3.11 Patrón de radiación de antena 182010DE 65F.

Para mayor información, revisar la hoja de especificaciones técnicas de las antenas en la sección de anexos.

Antes de comenzar a analizar las orientaciones adecuadas de las antenas, se realizó una simulación de cobertura tratando de cubrir los 360° alrededor de la estación base. En la figura 3.12 se muestran los resultados de las simulaciones. Se usaron las orientaciones de 0°, 120° y 240°, respectivamente.

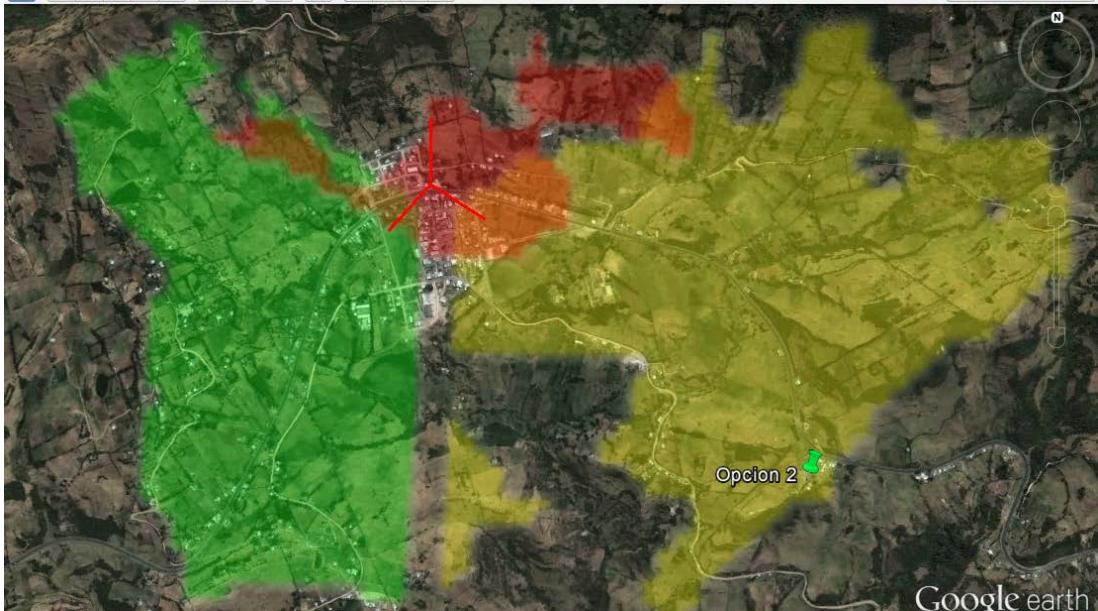


Figura 3.12 Cobertura de la estación base con las antenas orientadas a $0^\circ, 120^\circ$ y 240° .

En la imagen se pueden ver las zonas de cobertura de cada antena, distinguidas por los colores rojo, amarillo y verde. Se observa que en la intersección de las zonas roja-amarilla tenemos una franja sin cobertura, lo cual indica que separación de las antenas debe ser menor a 120° , esto es considerable debido a que el ancho de haz de media potencia de la antena es de 65° .

Además se puede observar que la orientación de la antena que está hacia el norte, no es eficiente, debido a que su zona de cobertura está limitada por la montaña que se encuentra al frente de ésta. Todo esto nos da una idea de las posibles orientaciones de las antenas.

Como se puede ver en el mapa, el centro de la ciudad se encuentra al sur de la ubicación de la estación base, por lo que se debe orientar una antena hacia esa zona; además, debido a que la población alejada del centro de la ciudad se encuentra con una mayor densidad ubicada a los bordes de la vía Panamericana, se cree conveniente apuntar las antenas hacia la vía, como se muestra en la figura 3.13.

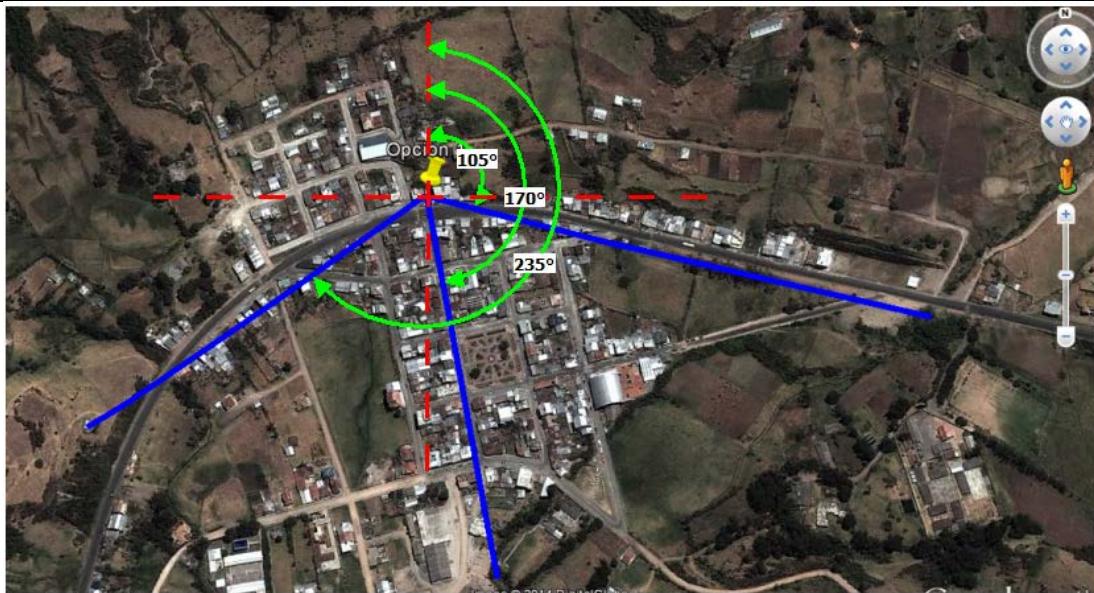


Figura 3.13 Orientación de las antenas.

El ancho de haz de media potencia de la antena es de 65° , por lo que la ubicación de las antenas resultaría en 105° , 170° y 235° .

3.4.3 Determinar las alturas e inclinaciones de las antenas.

Para el cálculo las alturas y la inclinación de las antenas, se tomará como dato el rango de la celda que se obtuvo para el servicio de voz, debido a que este servicio es el que requiere mayor cobertura.

El método para calcular la altura e inclinación de las antenas utiliza técnicas geométricas y trigonométricas, y se explicarán a continuación.

La altura de las antenas se calcula analizando los perfiles del terreno en las direcciones de las orientaciones de aquellas. El objetivo es llegar con la cobertura hasta el borde de la celda. Por lo general existen obstáculos que impiden que las ondas de radiofrecuencia se desplacen, por lo que es necesario incrementar la altura de la antena. Para determinar la altura se tomará como referencia el perfil de la figura 3.14, debido a que éste presenta un obstáculo dentro del rango de la celda.

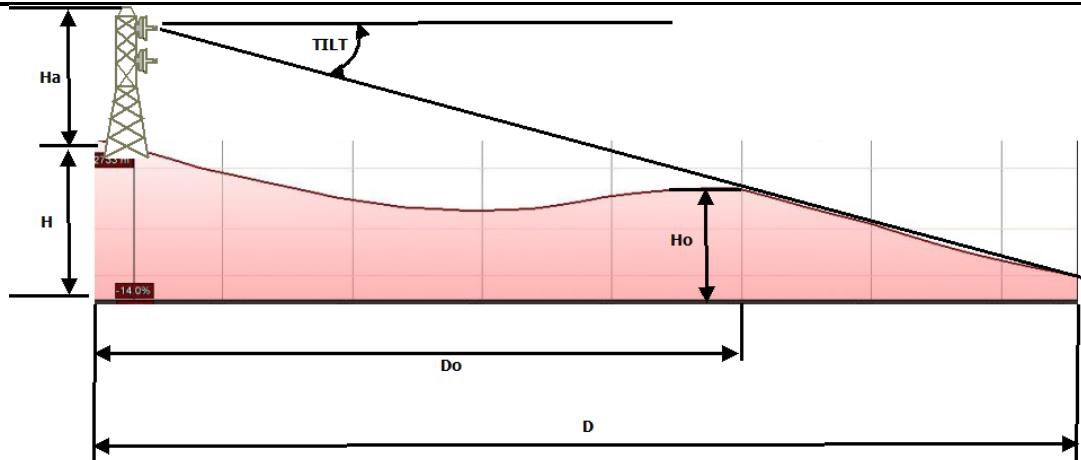


Figura 3.14 Cálculo de la altura e inclinación de las antenas cuando se presenta un obstáculo.

Donde:

Ha: altura de la antena

H: altura del sitio donde se encuentra la estación base

D: radio de la celda

Ho: altura del obstáculo

Do: distancia hasta el obstáculo

TILT: inclinación de la antena

Si se realiza un diagrama del perfil anterior, se obtiene dos triángulos rectángulos, facilitando así los cálculos con operaciones trigonométricas simples. Donde los datos H , Ho , d y do son valores conocidos y se pretende calcular la altura Ha y el ángulo $Tilt$.

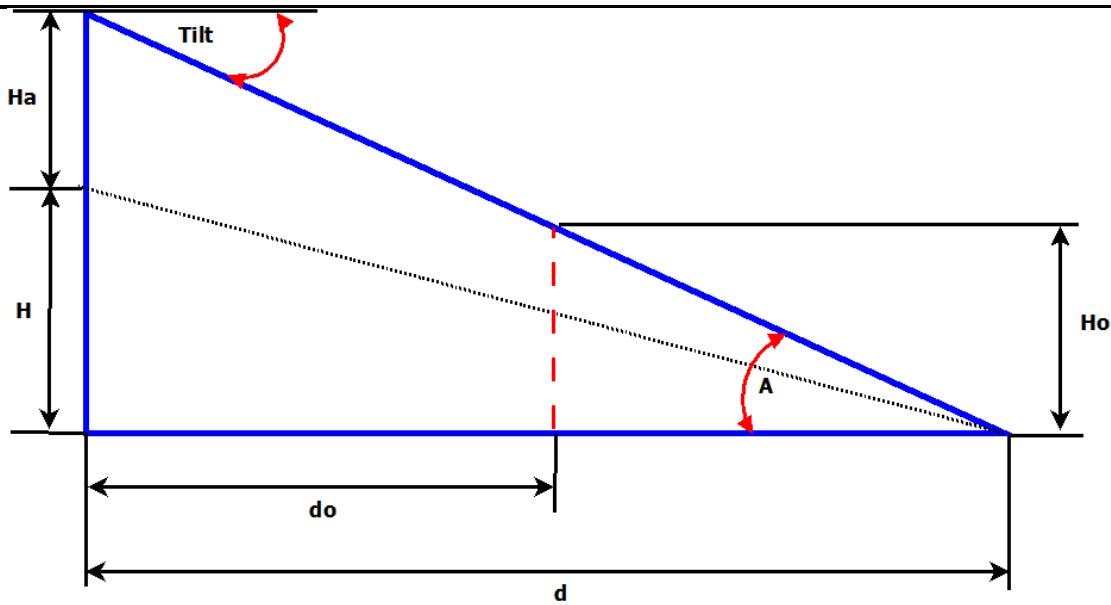


Figura 3.15 Método gráfico para calcular la altura e inclinación de la antena cuando se presenta un obstáculo.

$$A = \tan^{-1}\left(\frac{H_o}{d - d_o}\right)$$

$$H + H_a = \tan(A) * d$$

$$H_a = \tan(A) * d - H$$

$$Tilt = A$$

Para calcular la inclinación de las antenas que no presentan obstáculos dentro del rango de la celda se realiza en siguiente cálculo, basado en la figura 3.16.

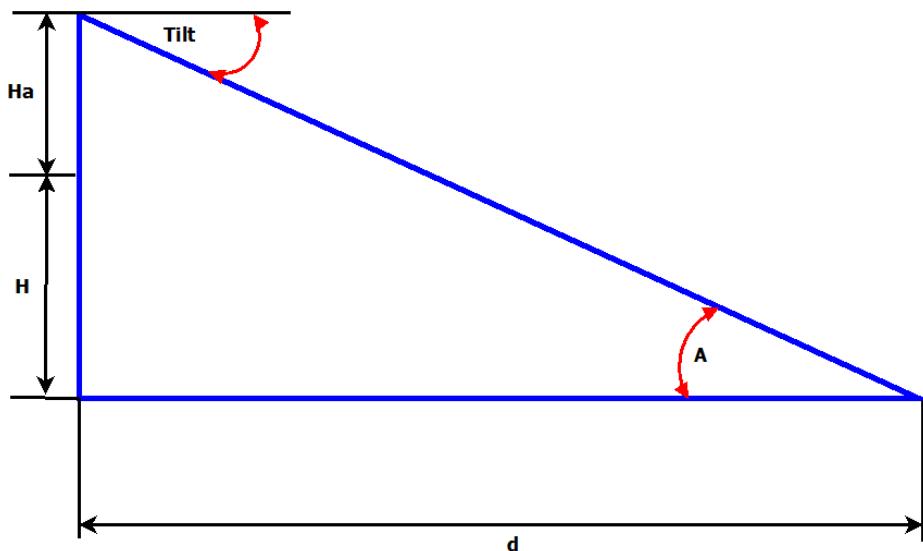


Figura 3.16 Método gráfico para calcular la altura e inclinación de la antena cuando no se presenta un obstáculo.



$$A = \tan^{-1}\left(\frac{H + Ha}{d}\right) \quad (19)$$

$$Tilt = A \quad (20)$$

Cabe recalcar que no es necesario que las tres antenas se encuentren a la misma altura; éstas pueden variar dependiendo de la topografía del terreno y se pueden ubicar a mayor o menor altura en la torre.

A continuación se analizarán los perfiles de cada antena con el fin de determinar el mejor perfil para calcular las alturas de las mismas.

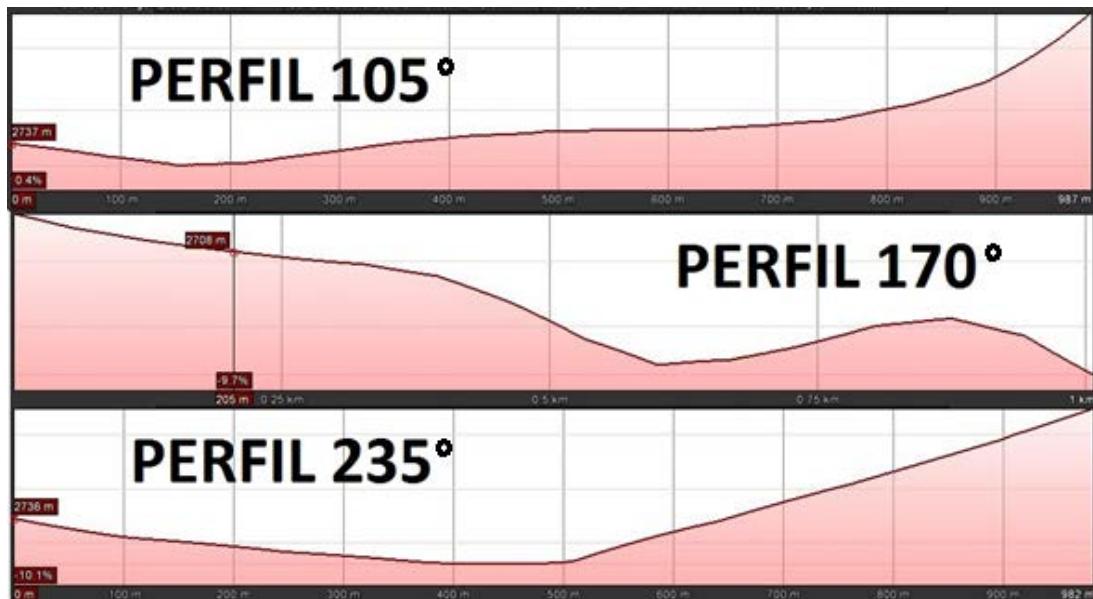


Figura 3.17 Perfiles en las respectivas orientaciones de las antenas.

Como se puede ver en la figura 3.17, los perfiles 105° y 235° no presentan obstáculos hasta el borde de la celda; sin embargo, el perfil 170° presenta un obstáculo, por lo que se utilizará este perfil para calcular la altura de las antenas. En la tabla 3.17 se muestran los resultados obtenidos de inclinación y altura.

Parámetro	Dato
H (m)	110
D (m)	670
Do (m)	368
Ho (m)	69
Ha (m)	42,07



Downtilt (°)	12,87
--------------	-------

Tabla 3.17 Inclinación y alturas calculadas para las antenas con datos del perfil de 170°.

Y las inclinaciones para las antenas de 105° y 235° se tienen detalladas en la tabla 3.18.

	Antena 105°	Antena 235°
H(m)	15	13
D (m)	980	980
Downtilt (°)	-0,87	-0,76

Tabla 3.18 Inclinaciones calculadas para las antenas.

3.4.3.1 Análisis del tipo de inclinación de las antenas

Antes de establecer las inclinaciones de las antenas, se debe saber los rangos que se tienen para la inclinación tanto eléctrica como mecánica, por lo que de las especificaciones de la antena se tiene que el rango de inclinación eléctrica está entre 0° y 10°, y el rango de inclinación mecánica va de 0° a 15°. En la tabla 3.19 se muestra los resultados para la inclinación de las antenas.

Antena	Downtilt (°)	Inc. Eléctrica (°)	Inc. Mecánica (°)
Orientada a 105°	-0,8	0	1
Orientada a 170°	12,87	10	3
Orientada a 235°	-0,7	0	1

Tabla 3.19 Inclinación de las antenas.

Las antenas orientadas a 105° y 235° requieren de una inclinación hacia arriba y esta inclinación es menor que un grado por lo cual se podría establecer cualquier tipo de inclinación. Analizando las condiciones del terreno, se cree conveniente aplicar una inclinación mecánica para ganar cobertura en las direcciones laterales, además cabe recalcar que estas antenas son las que están ubicadas en las partes laterales de la estación base.

La antena orientada a 170° requiere de una inclinación de 12,87° hacia abajo. Analizando las condiciones, se ve conveniente aplicar una inclinación eléctrica de 10° y mecánica de 2°, debido a que esta antena es la central de la Estación Base, por lo que para la cobertura en las direcciones laterales se tiene las otras antenas, y aplicando este tipo de inclinación se ganaría cobertura en la dirección central de la antena; sin embargo la inclinación eléctrica permitida por la antena es hasta 10° por lo que se aplicarán 3° de inclinación mecánica.

3.4.4 Simulación de Cobertura

Con los datos obtenidos en los cálculos, procedemos a realizar la simulación de cobertura. La figura 3.18 muestra el área de cobertura que prestará esta estación base y su respectiva leyenda.

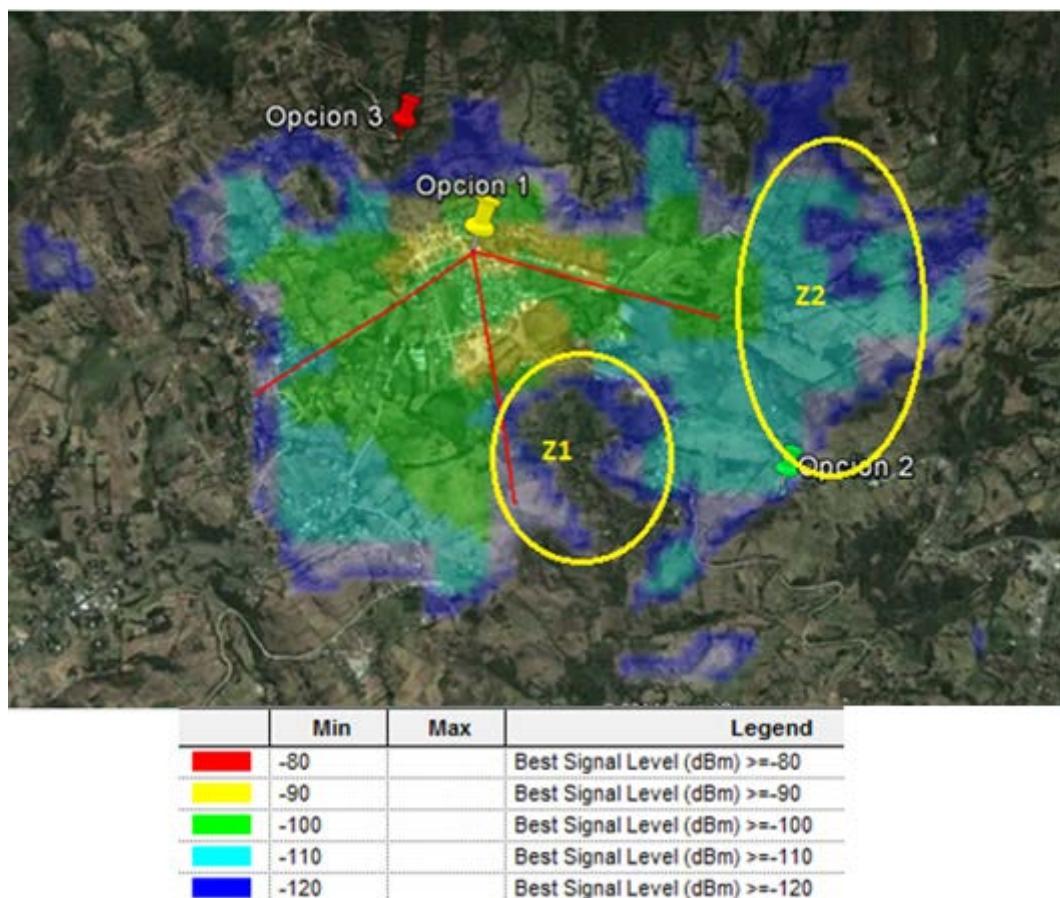


Figura 3.18 Cobertura de la estación base vista 2D.

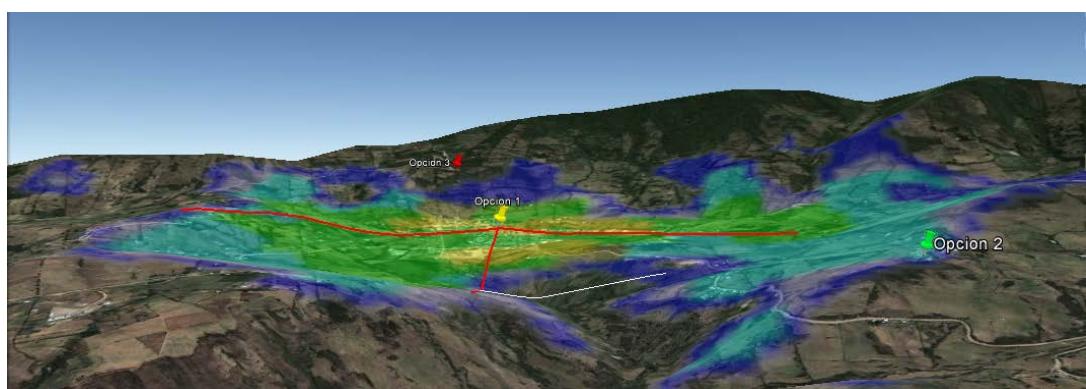


Figura 3.19 Cobertura de la estación base vista 3D.

3.4.4.1 Análisis de zonas críticas

En la figura 3.18 se muestra el área de cobertura, que cubre prácticamente todo el centro de la ciudad y se extiende a sus alrededores; sin embargo, debido a la topografía del terreno, existen zonas que a pesar de estar dentro del rango, no tienen cobertura. Se ve que la zona Z1 (figura 3.18), se encuentra en un hundimiento del terreno, lo que no permite tener línea de vista con las antenas transmisoras. Una posible solución para poder brindar cobertura a esta zona sería elevar la altura de la torre a por lo menos 80 metros. A continuación, en la figura 3.20 se muestra la simulación realizada con la altura de las antenas a 80 m.

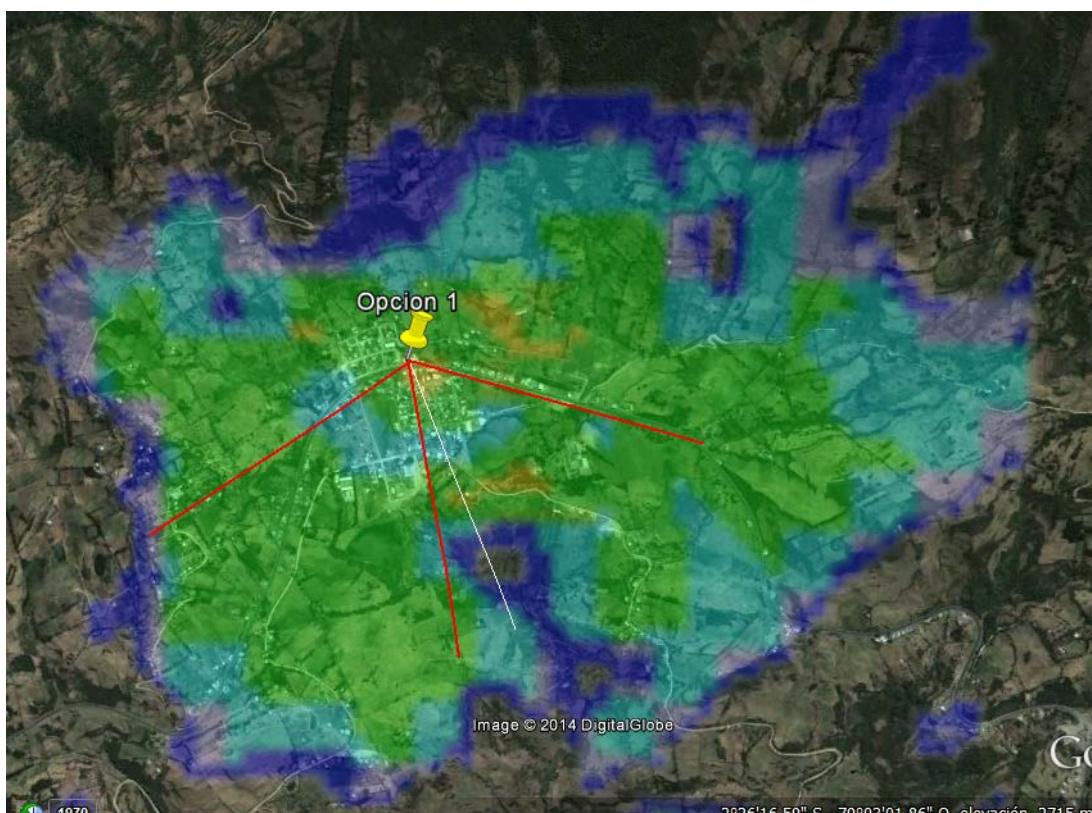


Figura 3.20 Cobertura de la estación base altura de la torre de 80 metros.

Se puede observar que al variar la altura de las antenas al doble de lo planificado, no se logra cubrir ese sector. Elevar la altura de la torre requiere una mayor inversión; además, en la inspección del lugar observamos que la Z1 no está habitada, por lo que concluimos que cambiar el tamaño de la antena para cubrir esa zona sería innecesario.

Otro caso puntual que se presenta debido a la topología del terreno es en la zona Z2, donde existe cobertura fuera del rango de la celda. Esto se da debido a que la pendiente del terreno en ese sector es casi constante, como se puede ver en la figura 3.21.

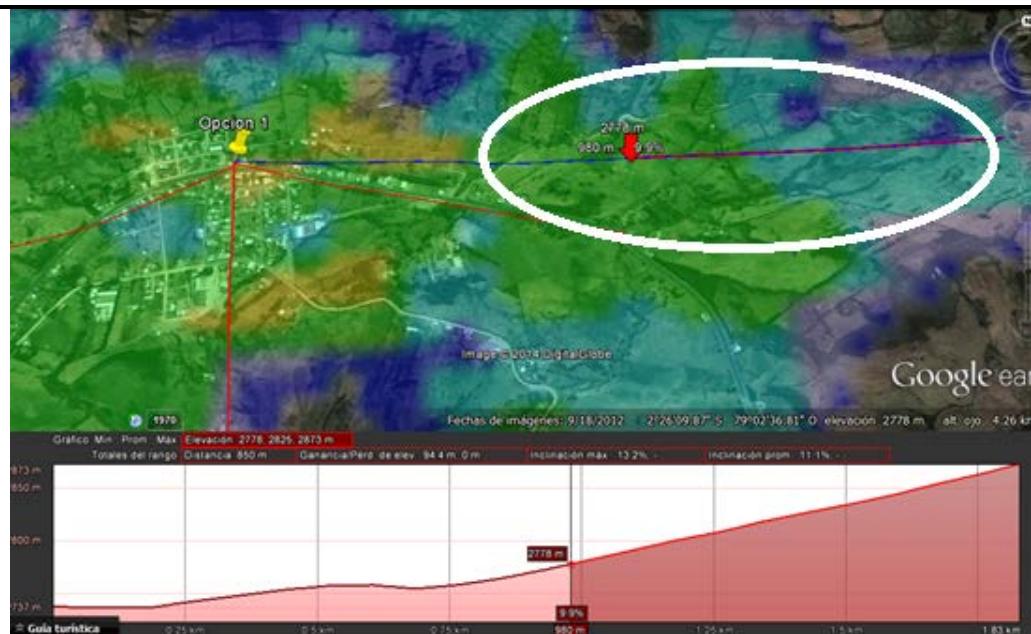


Figura 3.21 Análisis de cobertura en zona crítica.

Después del punto señalado con la flecha roja (la sección sombreada en el perfil) hacia la derecha, se puede ver que la pendiente del terreno avanza uniformemente y no se encuentran obstáculos que atenúen la señal. Este caso presentaría inconvenientes si existieran otras celdas junto a esta, que causaría interferencia, pero la estación base más cercana en esa dirección está a 16 km (figura 3.10). Si bien este efecto se podría corregir incrementando la inclinación de la antena, pero si recordamos que uno de los objetivos de la empresa es brindar la mayor cobertura posible, asumimos esta situación como un beneficio.

3.4.4.2 Cobertura para los servicios de voz y datos

A continuación se mostrará la cobertura distinguiendo las zonas en las que se tiene cobertura para el servicio de voz y datos. En la figura 3.22 se puede observar la zona de color azul, es en la que se garantiza tener servicio de voz, y la zona celeste es donde se garantiza el servicio de datos.

Para obtener esta simulación se utilizaron los datos obtenidos de la fase de Dimensionamiento, tales como la sensibilidad requerida por los equipos móviles para el correcto funcionamiento del servicio a prestar. Aquí que se tomaron los datos del enlace de subida (móvil – estación base) debido a que la potencia del móvil es mucho menor que la de la estación base.

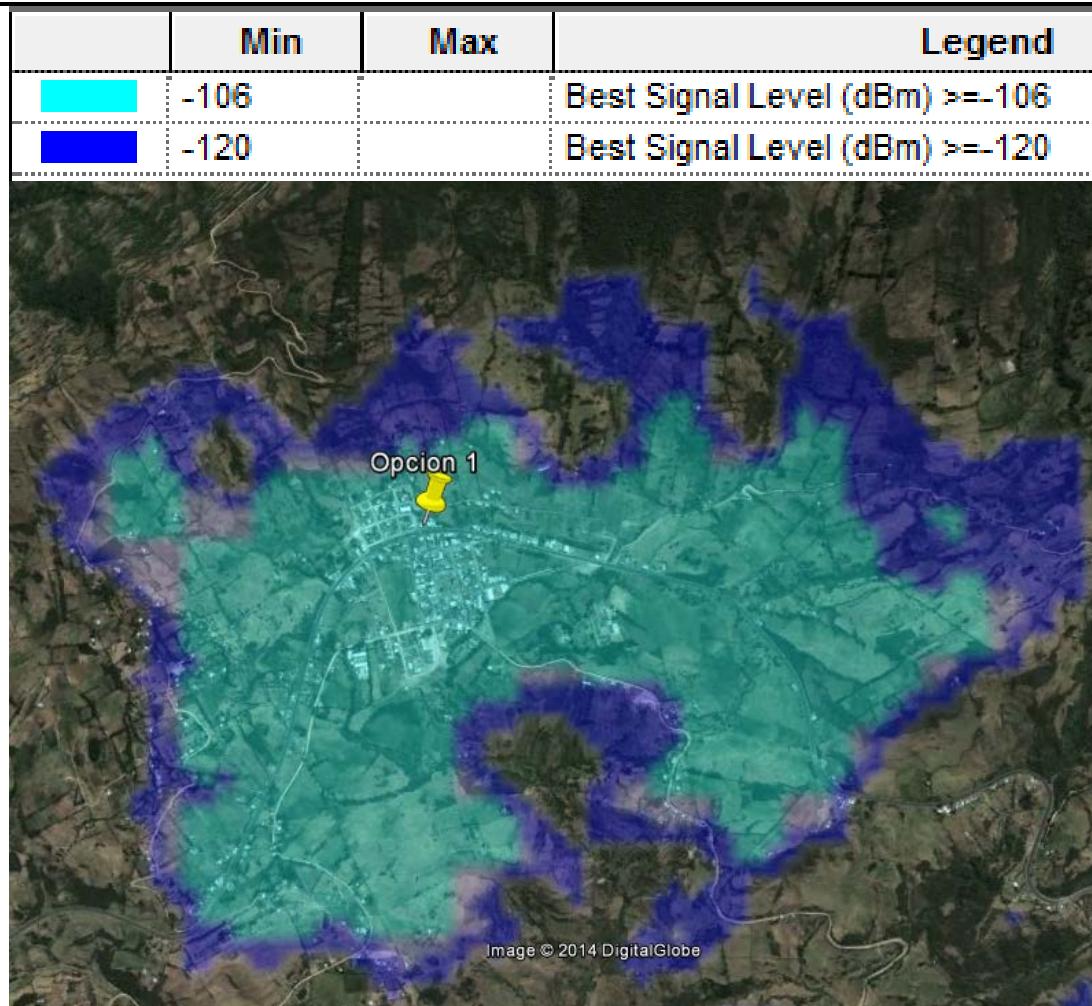


Figura 3.22 Cobertura para los servicios de voz y datos.

3.5 Planificación de capacidad.

La planificación de capacidad en redes WCDMA es más complicada que en GSM/EGPRS. Existen factores que afectan los cálculos de cobertura, como la carga, la interferencia, el comportamiento del tráfico, la velocidad de los suscriptores, etc.

La planificación de capacidad consiste en estimar una **cantidad de tráfico** soportado por cada estación base en un sitio. Cuando el reúso de frecuencia de un sistema WCDMA es 1, el sistema se puede llamar *limitado por interferencia*, y la cantidad de interferencia y la capacidad de celda deben entonces ser estimadas.

Los factores de carga para los diferentes servicios deben ser calculados separadamente. La carga total es entonces la suma de los diferentes servicios en el área de la celda.



3.5.1 El factor de carga en el enlace de subida.

El factor de carga para el enlace de subida η_U , está dado por la ecuación.

$$\eta_U = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{N}{W} \cdot R_j \cdot v_j \cdot (1 + i) \quad (21)$$

El E_b/N_0 requerido puede obtenerse de simulaciones de nivel de enlace, de mediciones, y de los requisitos de rendimiento de 3GPP. Esto incluye el efecto del control de potencia de lazo cerrado y el soft handover. La relación interferencia i de otras celdas a la misma celda es una función del ambiente de celda o del aislamiento de celda (macro / micro celda, urbana / suburbana) y el patrón de antena (omni, tri-sectorial o hexa-sectorial). La ecuación de carga es comúnmente usada para hacer una predicción semi-analítica de la capacidad promedio de una celda WCDMA. En la siguiente tabla se muestran algunos valores típicos para los parámetros del factor de carga.

El incremento de ruido será igual a $-10 \log_{10}(1 - \eta_U)$.

Parámetro	Definición	Valores recomendados
N	Número de usuarios por celda	
v_j	Factor de actividad de usuario j en la capa física.	0,67 para voz, asumiendo un 50% de actividad de voz y DPCCH por encima durante DTX (Transmisión discontinua). 1,0 para datos.
E_b/N_0	Energía de la señal por bit dividida para la densidad espectral de ruido que es requerida para satisfacer una tasa de error por bloque predefinida. El ruido incluye el ruido térmico y la interferencia.	Dependiente del servicio, tasa de bits, desvanecimiento por multirayecto del canal, diversidad de la antena transmisora, velocidad del móvil. Los valores recomendados para UMTS son: Voz: 5 dB Datos comutación de circuitos a 144 kbps: 1,5 dB Datos comutación de circuitos a 384 kbps: 1,0 dB
W	Tasa de chips en WCDMA.	3,84 Mcps
R_j	Tasa de bits del usuario j .	Depende del servicio.
i	Interferencia entre celdas	Macro celda con antena omnidireccional: 0,55 Macro celda con tres sectores: 0,65 Micro celda con antenas sectoriales: 0,60 – 0,87

Tabla 3.20 Parámetros para cálculos de factor de carga para enlace de subida en un sistema UMTS.



Asumimos los siguientes parámetros para el cálculo del factor de carga de la celda en el enlace de subida en los servicios de voz y de datos respectivamente.

Parámetro	Voz	Datos	Unidad
i	0,65	0,65	
W	3.840	3.840	Kcps
E_b/N_0	4,8	0,4	dB
v_j	0,67	1,00	

Tabla 3.21 Datos asumidos para los cálculos del factor de carga en el enlace de subida. Servicio de voz y datos.

Calculamos entonces el factor de carga para el enlace de subida con la ecuación 21, y con éste, el aumento de ruido en función de la tasa de bits. Se observa que con el aumento de la tasa de bits, el valor del factor de carga se aproxima a 1, y el aumento de ruido tiene un valor cada vez mayor, con un comportamiento exponencial.

Se interpreta esta gráfica como el aumento de requerimiento de tasa de bits de los usuarios, es decir mientras más móviles se conecten a la estación base, cada uno requerirá una tasa de bits para sus servicios. A medida que aumenta la cantidad de usuarios se genera más ruido en la estación base, hasta un punto de saturar la capacidad (tasa de transmisión) de la estación base.

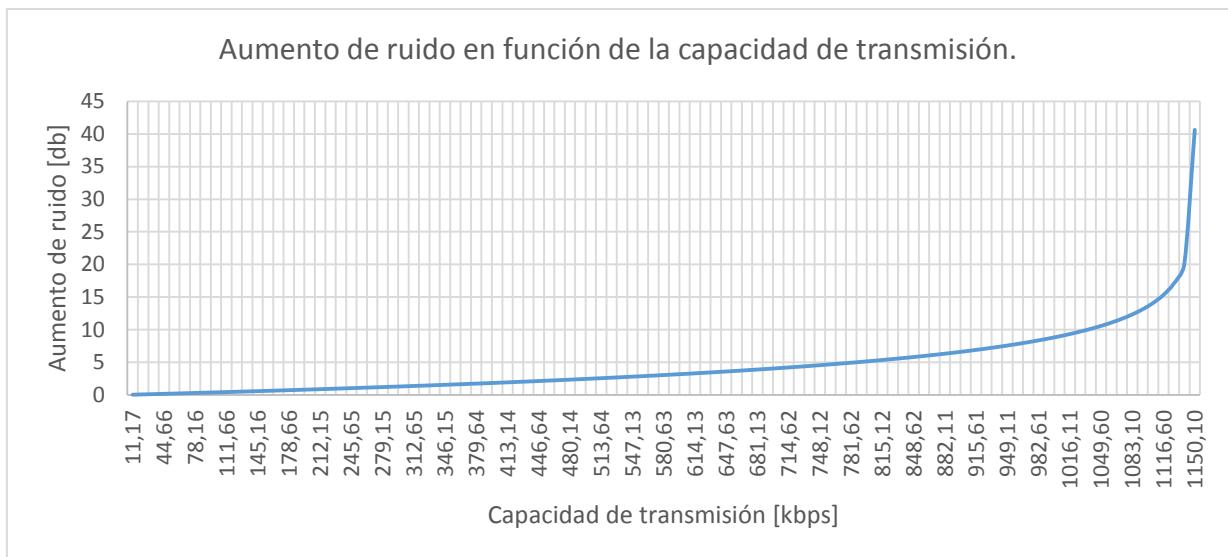


Figura 3.23 Variación del aumento de ruido en función de la tasa de transmisión. Servicio de voz. Enlace de subida.

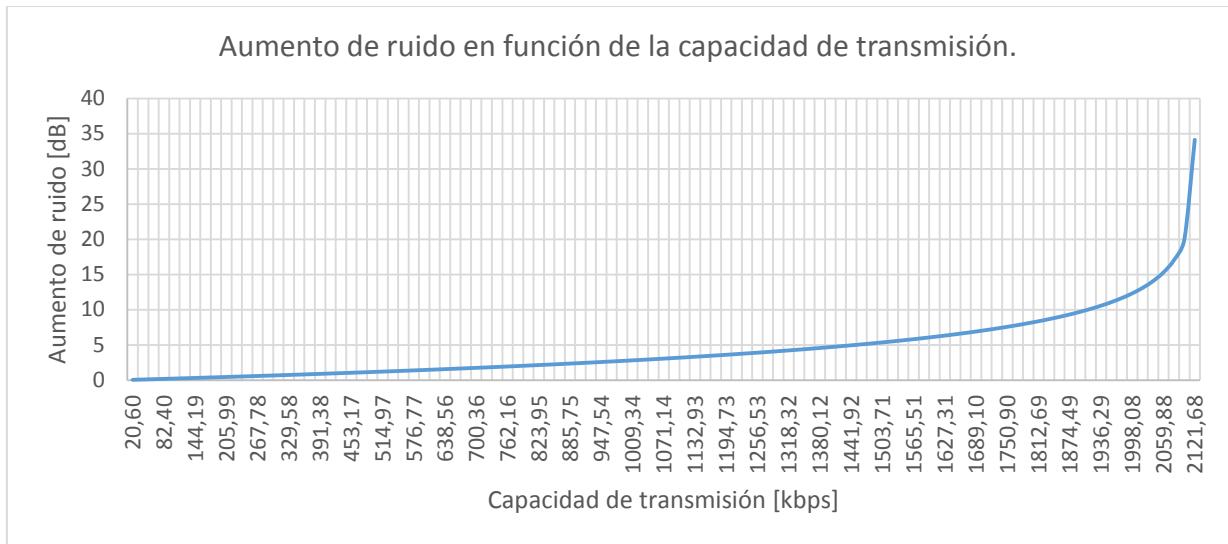


Figura 3.24 Variación del aumento de ruido en función de la tasa de transmisión. Servicio de datos. Enlace de subida.

3.5.2 El factor de carga en el enlace de bajada.

En el enlace de bajada, la potencia transmitida por la estación base es compartida entre todos los usuarios. La capacidad es determinada por la potencia transmitida por la estación base, ubicaciones de los móviles e interferencia. Entonces los parámetros necesarios para los cálculos del factor de carga en el enlace de bajada incluyen la potencia transmitida por la estación base (incluyendo la asignación de potencia al canal de control común CCCH). La capacidad en el enlace de bajada está determinada por la potencia transmitida por la estación base, la ubicación de móvil y la interferencia. Esto hace los cálculos más complicados en el enlace de bajada que los del enlace de subida. Para el enlace de subida cada usuario tiene su propio amplificador para transmitir potencia. Entonces la cobertura viene a ser desde este punto de vista, una función del número de usuarios. En el enlace de bajada, la interferencia en la propia celda es reducida por el factor $(1 - \alpha)$, debido a los códigos de canalización sincronizados, que son usados en el enlace de bajada. El factor de carga en el enlace de bajada se define con un principio similar al del enlace de subida.

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j] \quad (22)$$

Lo que luego podría reescribirse como



$$\overline{\eta_{DL}} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \bar{\alpha}) + \bar{\iota}] \quad (23)$$

Donde el incremento de ruido sobre el ruido térmico debido a la interferencia de acceso múltiple será $-10\log_{10}(1 - \eta_{DL})$. El parámetro α_j representa el factor de ortogonalidad en el enlace de bajada; si hay suficiente dispersión de retardo en el canal de radio, el móvil verá parte de la señal de la estación base como interferencia de acceso múltiple. La ortogonalidad de 1 corresponde a usuarios perfectamente ortogonales. Los valores típicos de ortogonalidad están entre 0,4 y 0,9 en canales multirayos.

Los valores típicos para los parámetros usados en el cálculo del factor de carga para el enlace de bajada son presentados en la siguiente tabla.

Parámetro	Definición	Valores recomendados
N	Número de usuarios por celda.	
v_j	Factor de actividad de usuario j en la capa física.	0,58 para voz, asumiendo un 50% de actividad de voz y DPCCH por encima durante DTX (Transmisión discontinua). 1,0 para datos.
E_b/N_0	Energía de la señal por bit dividida para la densidad espectral de ruido que es requerida para satisfacer una tasa de error por bloque predefinida. El ruido incluye el ruido térmico e interferencia.	Dependiente del servicio, tasa de bits, desvanecimiento por multirayos del canal, diversidad de la antena transmisora, velocidad del móvil. Los valores recomendados para UMTS son: Voz: 5 dB Datos comutación de circuitos a 144 kbps: 1,5 dB Datos comutación de circuitos a 384 kbps: 1,0 dB
W	Tasa de chips en WCDMA.	3,84 Mcps
R_j	Tasa de bits del usuario j .	Dependiente del servicio.
α_j	Ortogonalidad de canal del usuario j .	Dependiente de la propagación multirayos. 1: completamente ortogonal 0: sin ortogonalidad
i_j	Relación de potencia de las otras celdas a la propia celda, recibida por el usuario j .	Cada usuario ve un diferente i_j , dependiendo de su ubicación en la celda y el sombreado logarítmico-normal.
$\bar{\alpha}$	Factor de ortogonalidad promedio en la celda.	ITU canal A vehicular: ~50% ITU canal A peatonal: ~90%
$\bar{\iota}$	Relación promedio de potencia de las estaciones base de otras	Macro celda con antena omnidireccional: 0,55 Macro celda con tres sectores: 0,65



	celdas a la propia celda, recibida por el usuario. La interferencia en la propia celda es aquí de banda ancha.	Micro celda con antenas sectoriales: 0,60 – 0,87
--	--	--

Tabla 3.22 Parámetros para cálculos de factor de carga para enlace de bajada en un sistema UMTS.

Asumimos que la propia celda como la celda de mejor servicio. Si un usuario está en soft handover, las otras estaciones base “activas” son contadas como parte de “otras celdas”.

El factor de carga η_{DL} muestra un comportamiento similar al factor de carga η_{UL} , en el sentido de que cuando se aproxima a la unidad, el sistema alcanza su capacidad máxima y el aumento de ruido sobre el térmico va al infinito.

Calculamos entonces la variación del factor de carga para el enlace de bajada, en función de la capacidad de transferencia y viceversa, asumiendo los siguientes datos:

PARÁMETRO	VOZ	DATOS	UNIDAD
I	0,65	0,65	
W	3840	3840	kcps
E_B/N_0	6,80	2,00	dB
V_J	0,58	1	
$ALPHA$	0,50	0,50	

Tabla 3.23 Parámetros asumidos para el cálculo del factor de carga en el enlace de bajada.

Para el servicio de voz tenemos.

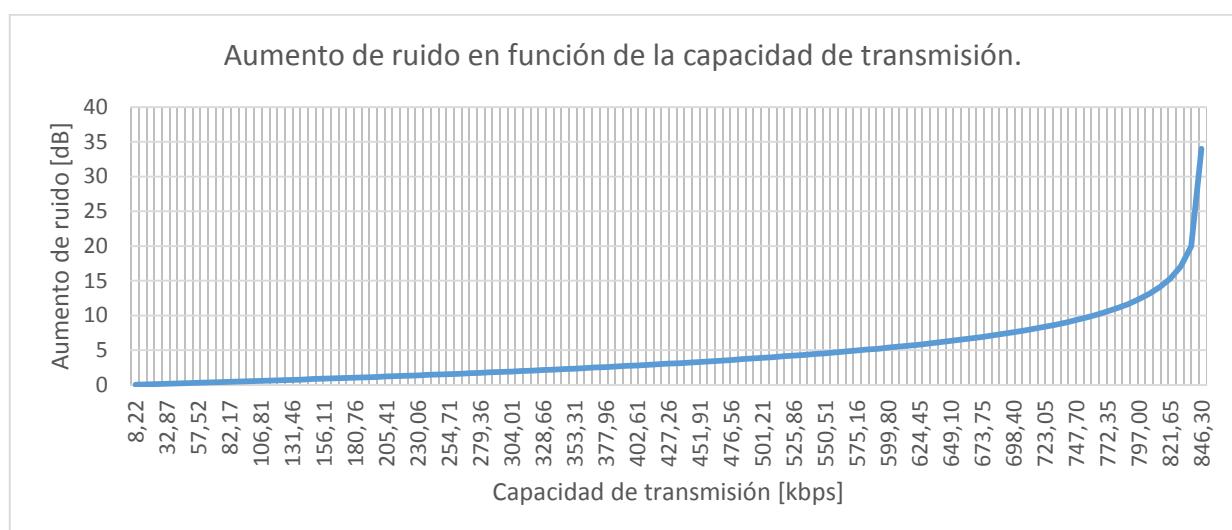


Figura 3.25 Variación del aumento de ruido en función de la tasa de transmisión. Servicio de voz. Enlace de bajada



Así mismo, para el servicio de datos.

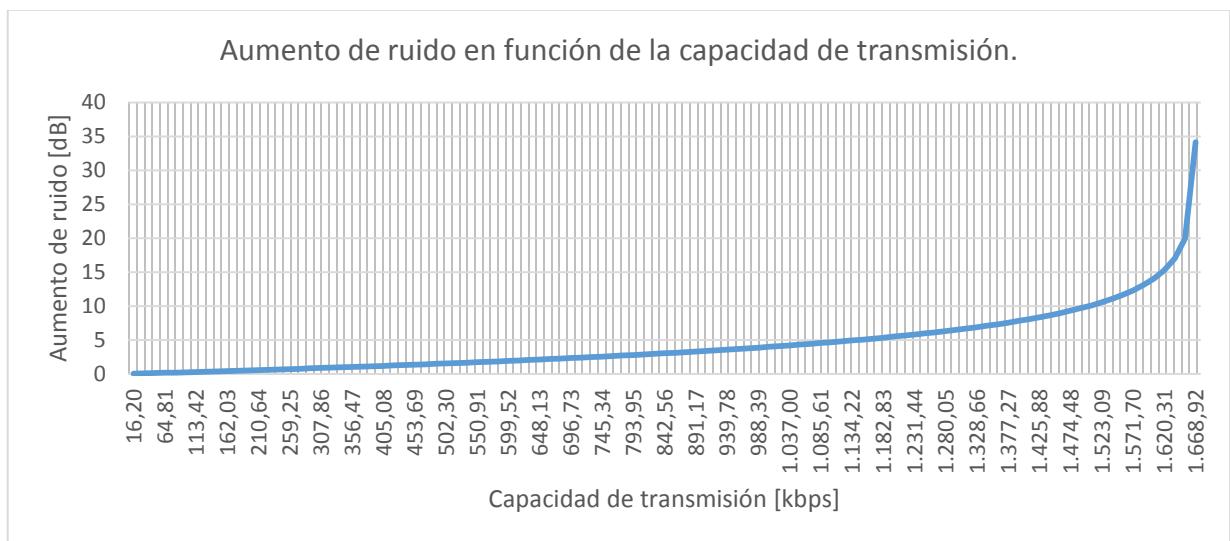


Figura 3.26 Variación del aumento de ruido en función de la tasa de transmisión. Servicio de datos. Enlace de bajada.

Las figuras anteriores muestran la variación del aumento de ruido en función de la capacidad, basándose en el factor de carga para enlace de bajada. La diferencia en la aplicación de las fórmulas son los parámetros asumidos para los cálculos.

3.5.3 Cálculo de capacidad de carga para la celda

De estos cálculos procedemos, por ejemplo, a establecer un factor de carga para cada servicio, y con esto calcular un límite de capacidad de transmisión:

Servicio	Factor de carga	Capacidad de transmisión [kbps]
Voz	0,3543438	300
Datos	0,5989583	1.000
Total	0,9533021	1.300

**Tabla 3.24 Factor de carga para la capacidad de transmisión en el enlace de subida**

También se puede escoger un factor de carga y calcular la capacidad de transmisión, obteniendo los mismos resultados, mientras se considere los mismos parámetros en las ecuaciones.

Dado que la capacidad de transmisión (Throughput) puede expresarse como:

$$T = N \cdot R \cdot (1 - BLER) \quad (24)$$

En donde N es el número de usuarios, R la tasa de bits, y $BLER$ la relación de bloques erróneos. En UMTS la mayoría de servicios son provistos sobre canales dedicados, lo que significa que cada usuario tiene un enlace asignado solamente para este usuario. Entonces el operador UMTS, establece una relación de bloques erróneos (BLER) objetivo para estos diferentes servicios. La BLER objetivo determina el nivel de potencia promedio a ser usado por el enlace de radio. Para servicios de voz, BLER es usualmente del 1%. Esto significa que el 1% de los bloques son recibidos con errores después de la transmisión por radio. Un valor de BLER del 10% es destinado a servicios de mejor esfuerzo, tal como las conexiones a internet.

De aquí asumimos los siguientes parámetros:

Parámetro	Servicio de voz	Servicio de datos
BLER	0,01	0,10
Capacidad requerida [kbps]	12,2	64

Tabla 3.25 Valores de BLER y Capacidad de canal requerida para cálculos de número de usuarios en enlace de subida.

Y usando las ecuaciones anteriores calculamos la variación del rendimiento de la celda en función de la variación de su carga.

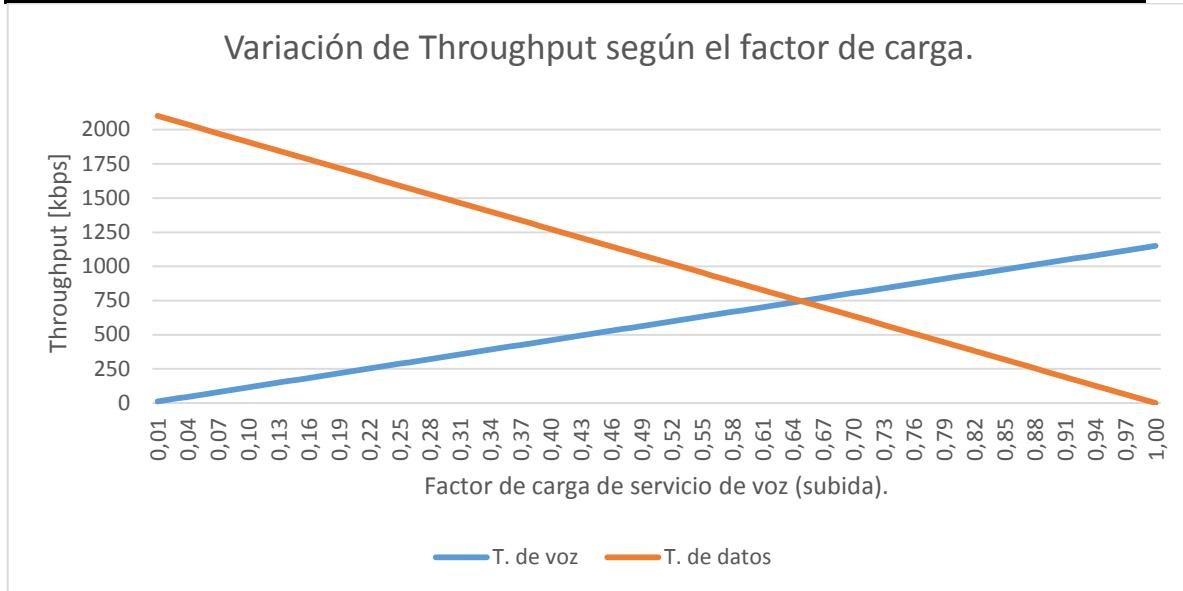


Figura 3.27 Variación de throughput en función del valor de carga. Enlace de subida.

La gráfica anterior indica la variación de la capacidad de transmisión para el enlace de subida según la variación del factor de carga del servicio de voz. Téngase en cuenta que para el servicio de datos, el factor de carga se asume como:

$$\eta_d = 1 - \eta_v \quad (25)$$

De manera que la suma de los factores de carga de ambos servicios sea equivalente a la utilización de capacidad máxima de la celda. Entonces utilizamos el consumo promedio asumido anteriormente para encontrar un número de usuarios simultáneos a esas tasas de transferencia.



Variación de número de usuarios según el factor de carga.

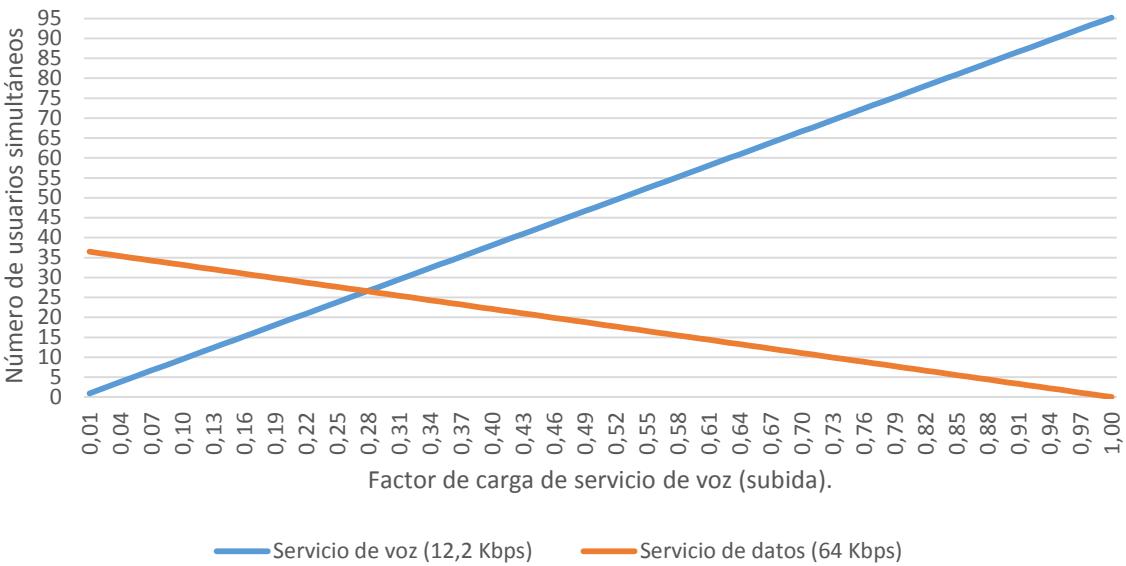


Figura 3.28 Número de usuarios simultáneos por servicio según el factor de carga. Servicio de voz a 12,2 kbps y de datos a 64 kbps. Enlace de subida.

De esto, la suma de los dos servicios nos puede dar un total de usuarios simultáneos para el enlace de subida.

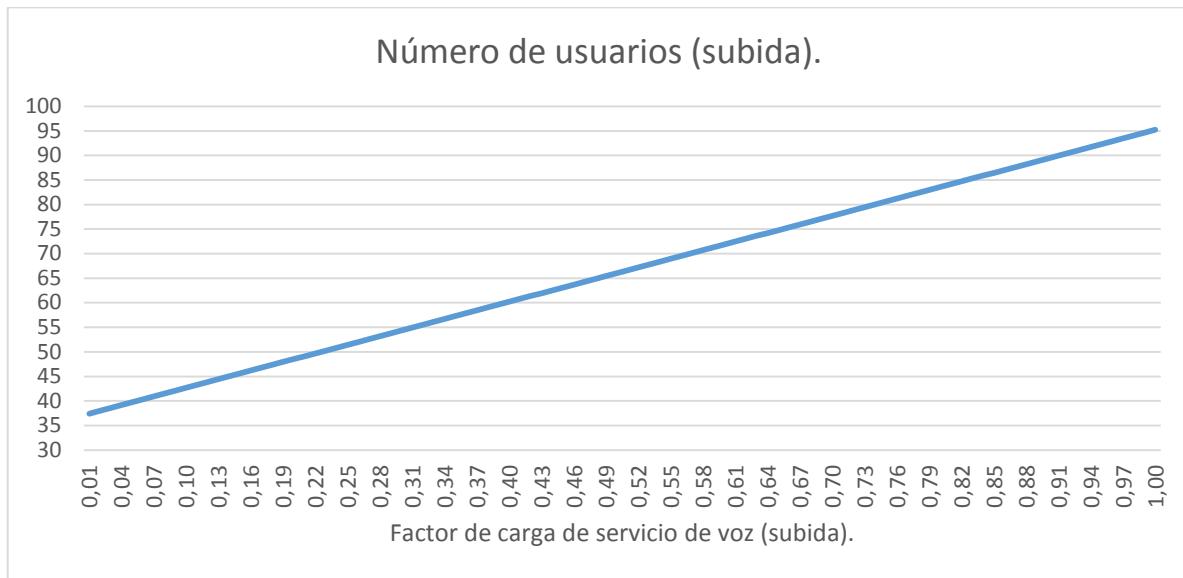


Figura 3.29 Número de usuarios para el enlace de subida según el factor de carga. Servicio de voz y datos.

La figura anterior muestra la suma del número de usuarios de ambos servicios, de esta manera se hace una predicción del número de usuarios. Por ejemplo, para el caso de que el factor de carga del servicio de voz sea 0,40, asumimos



un factor de carga del servicio de datos de 0,60; de manera que el throughput será de 460 y 1.273,5 kbps respectivamente, lo cual es suficiente para satisfacer el uso de 38 personas utilizando el servicio de voz, y 22 personas utilizando el servicio de datos a 64 kbps, todos simultáneamente (60 usuarios).

De igual manera, para el enlace de bajada, utilizando las ecuaciones ya presentadas encontramos las gráficas de las variaciones de capacidad de canal, y número de usuarios.

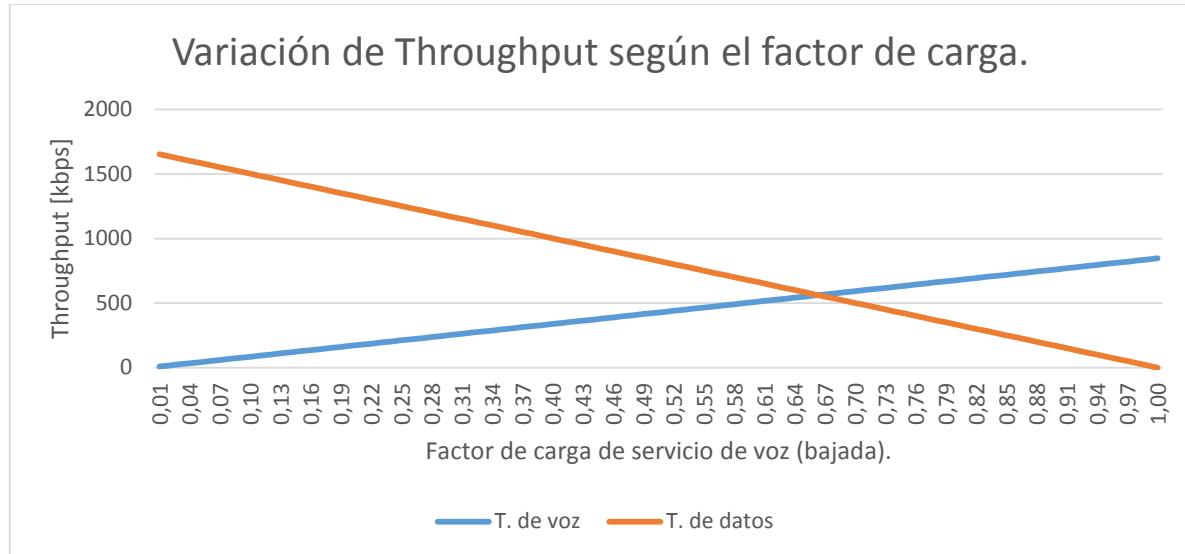


Figura 3.30 Variación de throughput en función del valor de carga. Enlace de bajada.

Asumimos también los mismos requerimientos de capacidad para el servicio de voz y el de datos, de 12,2 y 64 kbps respectivamente, así aproximamos una variación del número de usuarios simultáneos.

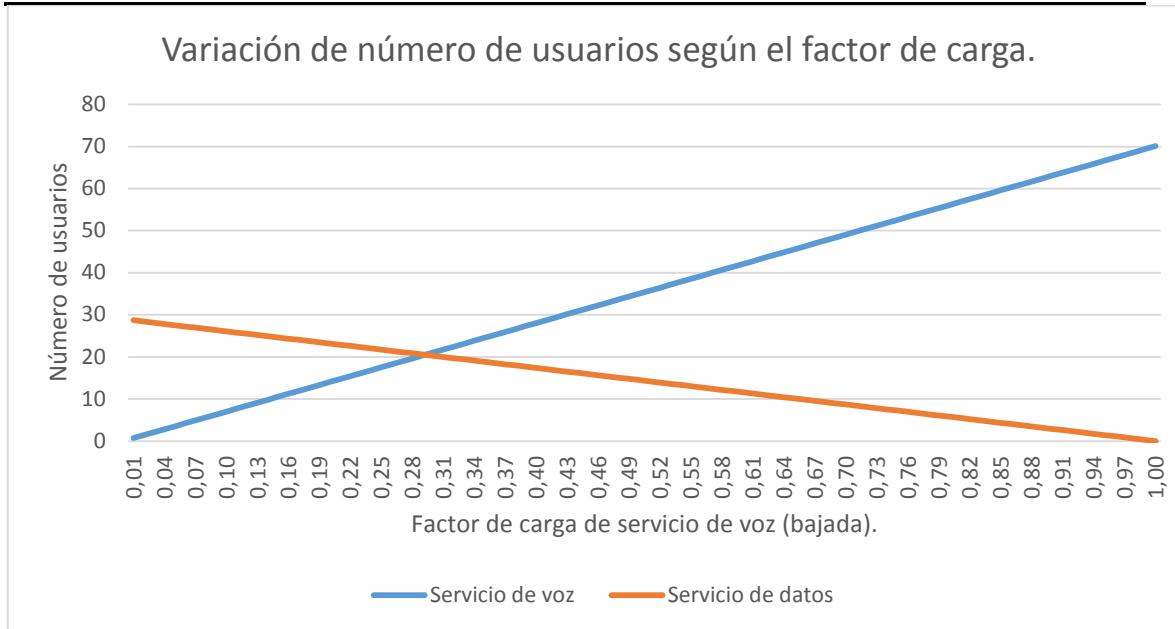


Figura 3.31 Número de usuarios simultáneos por servicio según el factor de carga. Servicio de voz a 12,2 kbps y de datos a 64 kbps. Enlace de bajada.

De la suma de los dos servicios, obtenemos la variación de usuarios según el factor de carga para el enlace de bajada.

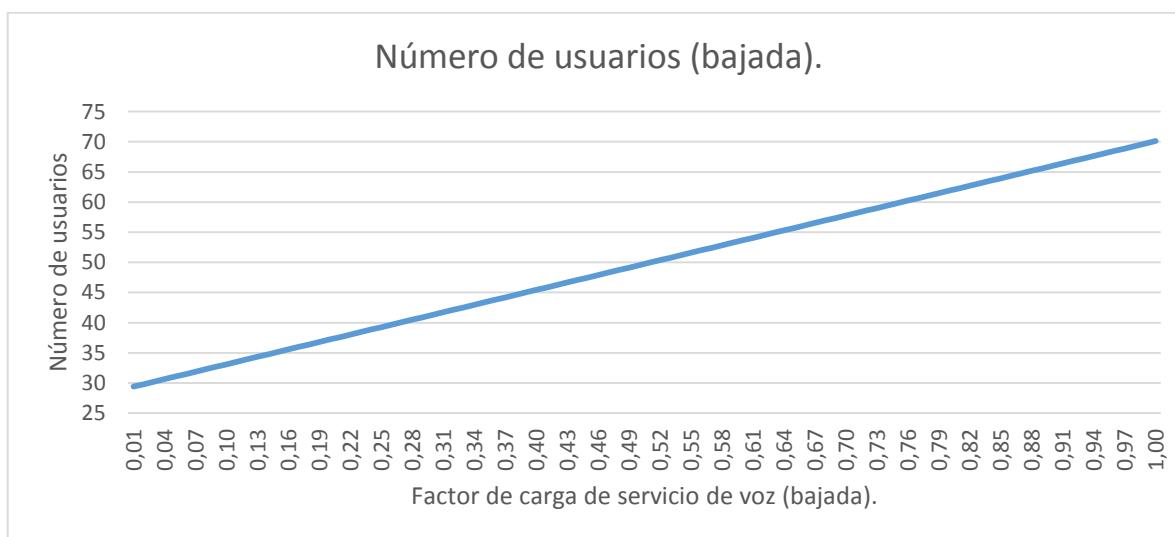


Figura 3.32 Número de usuarios para el enlace de bajada según el factor de carga. Servicio de voz y datos.

De estos análisis se puede evidenciar que la carga en los enlaces de subida y de bajada es asimétrica, pero siempre se toma como punto de referencia la estación base. También debe recalcarse que estos análisis se realizaron asumiendo que el factor de carga total (la suma del factor de carga de voz y el factor de carga de datos) siempre es igual a 1, esto es el caso en que la estación base estuviera saturada todo el tiempo, lo cual no ocurre



frecuentemente en la práctica, pero se ha hecho con el fin de mostrar los casos de capacidad máxima de la estación base.

3.6 Variación del radio de celda en función de la capacidad

El radio de celda depende también del factor de carga de la misma, de la capacidad de transferencia que tenga celda y su factor de carga. Si bien las variables de número de usuarios conectados y tasa de transferencia por usuario son muy aleatorias, esta sección intenta estimar una utilización promedio de capacidad de transferencia, para usuarios conectados simultáneamente.

Esto demuestra que a mayor cantidad de usuarios, menor será el radio de celda, para producir un efecto llamado “respiración de celda”.

3.6.1 Enlace de bajada.

Para el dimensionamiento del enlace de bajada, es importante estimar la cantidad total de potencia requerida de transmisión de la estación base. Esto debería basarse en la transmisión de potencia promedio por usuario. La razón del por qué, es que mientras algunos usuarios en el borde de la celda requieren alta potencia, otros usuarios cerca de la estación base necesitan mucha menos potencia al mismo tiempo. La diferencia entre las máximas pérdidas por trayectoria y las promedio es típicamente 6 dB.

La potencia de transmisión mínima requerida por cada usuario es determinada por la atenuación promedio entre el transmisor de la estación base y el receptor del móvil, esto es \bar{L} , y la sensibilidad del receptor del móvil, en ausencia de interferencia de múltiple acceso. Entonces el efecto del aumento de ruido debido a la interferencia es agregado a esta potencia mínima y el total representa la potencia de transmisión requerida por un usuario en una ubicación ‘promedio’ en la celda. Matemáticamente se expresa como:

$$BS_TxP = \frac{N_{rf} \cdot W \cdot \bar{L} \cdot \sum_{j=1}^N v_j \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j}}{1 - \eta_{DL}} \quad (26)$$

Donde N_{rf} es la densidad espectral del ruido de la interfaz del receptor móvil. El valor de N_{rf} se puede obtener de:

$$N_{rf} = k \cdot T + NF \quad (27)$$

Donde k es la constante de Boltzman, $1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K; T es la temperatura en grados Kélin y NF es la figura de ruido del receptor de la estación móvil con



valores típicos de 5 a 9 dB. Asumiendo una figura de ruido de 9 dB, calculamos la densidad espectral de ruido.

$$N_{rf} = 10 \cdot \log_{10} \left(1,381 * 10^{-23} \left[\frac{J}{K} \right] \cdot 290[K] \right) + 9 \text{ dB} \quad (28)$$

$$N_{rf} = -194,974083 \text{ dB} \quad (29)$$

$$N_{rf} = 3,18121 * 10^{-20} \frac{W}{Hz} \quad (30)$$

Así, la potencia de transmisión requerida puede escribirse como:

$$BS_TxP = \frac{N_{rf} \cdot W \cdot \bar{L} \cdot \nu \frac{E_b/N_0}{W/R}}{1 - \bar{\eta}_{DL}} \quad (31)$$

Y la pérdida promedio entre estación base y equipo terminal sería:

$$\bar{L} = \frac{BS_TxP \cdot (1 - \bar{\eta}_{DL})}{N_{rf} \cdot W \cdot \nu \cdot \frac{E_b/N_0}{W/R}} \quad (32)$$

Donde

Parámetro	Definición	Valor
BS_TxP	Potencia transmitida por la estación base para un solo usuario. En nuestro caso la potencia máxima de transmisión de la estación base es de 40 W, y en promedio, WCDMA asigna típicamente un 4% de la potencia máxima a cada canal.	1,6 W 1.600 mW 32 dBm
$\bar{\eta}_{DL}$	Factor de carga del enlace de bajada.	Función de R .
N_{rf}	Densidad espectral de ruido.	$3,18121 * 10^{-20} \frac{W}{Hz}$
W	Tasa de chips en WCDMA.	3,84 Mcps
ν	Factor de actividad de usuario en la capa física.	0,58
E_b/N_0	Relación señal a ruido.	6,80 dB
R	Tasa de bits por usuario.	Depende del servicio.

**Tabla 3.26 Valores asumidos para los parámetros de cálculo de pérdidas en el enlace de bajada en función de la carga.**

Los resultados de los cálculos son mostrados en la siguiente tabla.

Capacidad [kbps]	Porcentaje de carga de celda	Pérdida promedio por trayectoria L [dB]	Pérdida máxima por trayectoria [dB]
33,86	4,00%	177,108	183,108
67,71	8,00%	173,912	179,912
101,57	12,00%	171,959	177,959
135,42	16,00%	170,507	176,507
169,28	19,99%	169,326	175,326
203,13	23,99%	168,312	174,312
236,99	27,99%	167,408	173,408
270,84	31,99%	166,580	172,580
304,70	35,99%	165,805	171,805
338,55	39,99%	165,067	171,067
372,41	43,99%	164,354	170,354
406,26	47,99%	163,654	169,654
440,12	51,98%	162,959	168,959
473,97	55,98%	162,260	168,260
507,83	59,98%	161,546	167,546
541,68	63,98%	160,809	166,809
575,54	67,98%	160,035	166,035
609,39	71,98%	159,207	165,207
643,25	75,98%	158,304	164,304
677,10	79,98%	157,290	163,290
710,96	83,97%	156,111	162,111
744,81	87,97%	154,662	160,662



778,67	91,97%	152,714	158,714
812,52	95,97%	149,535	155,535
846,38	99,97%	128,187	134,187

Tabla 3.27 Cálculos de máximas pérdidas en trayectoria en función de la carga. Enlace de bajada.

Graficando estos resultados, tenemos la variación de las pérdidas máximas en función de la capacidad de la celda.

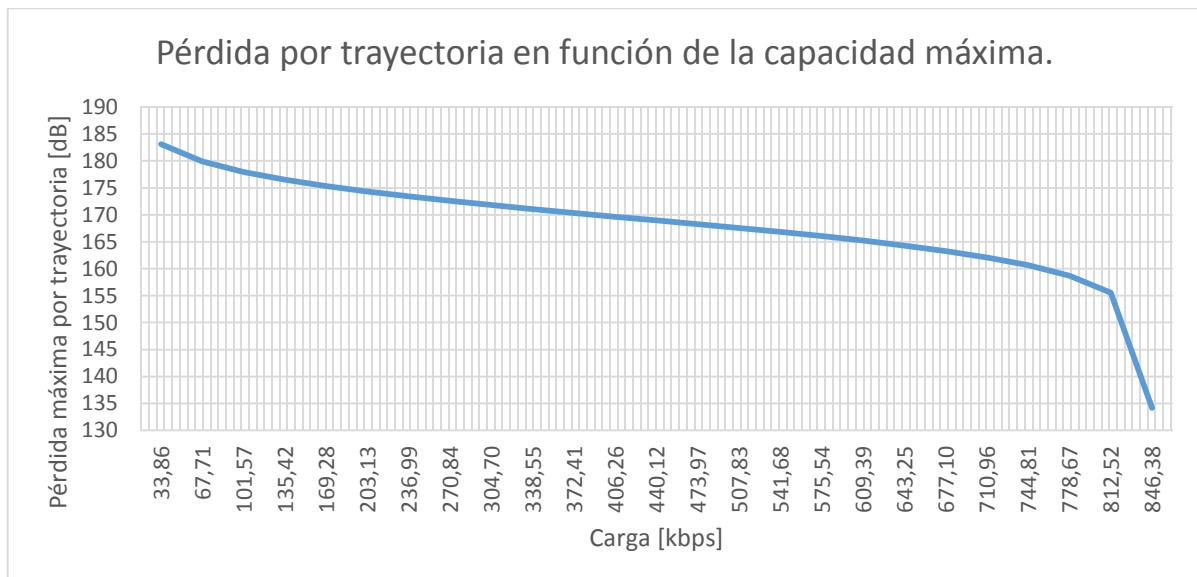


Figura 3.33 Variación de las pérdidas por trayectoria en función de la capacidad de la celda. Enlace de bajada.

Podemos ver que al aumentar la carga en la celda (R , ecuación 32), disminuye la atenuación promedio entre el transmisor y receptor, pues depende directamente del factor de carga: el aumentar la capacidad causa que el factor de carga se acerque más a la unidad, haciendo el término del paréntesis más pequeño, al mismo tiempo que aumenta R en el mismo denominador. Al variar las pérdidas por trayectoria podemos deducir que estos cambios se reflejarán inmediatamente en el radio de la celda. Por lo tanto, empleando el mismo modelo de propagación Cost-Hata, obtenemos la variación de los radios de celda en función de la carga, o de las pérdidas máximas por trayectoria.

Capacidad [kbps]	Pérd. Tray. Máx. [dB]	Radio de celda [km]
33,86	183,10754	30,793
67,71	179,91247	24,844
101,57	177,95857	21,787



135,42	176,50722	19,762
169,28	175,32631	18,255
203,13	174,31182	17,052
236,99	173,40764	16,047
270,84	172,57959	15,178
304,70	171,80490	14,408
338,55	171,06718	13,711
372,41	170,35378	13,070
406,26	169,65423	12,470
440,12	168,95920	11,901
473,97	168,25972	11,354
507,83	167,54647	10,823
541,68	166,80898	10,300
575,54	166,03462	9,777
609,39	165,20707	9,248
643,25	164,30358	8,704
677,10	163,29012	8,131
710,96	162,11079	7,511
744,81	160,66215	6,814
778,67	158,71374	5,978
812,52	155,53522	4,828
846,38	134,18658	1,150

Tabla 3.28 Cálculo de radios de celda en función de máxima pérdida por trayectoria y capacidad.

Graficando estos cálculos, tenemos:



Variación de radio de celda por pérdidas de trayecotria.

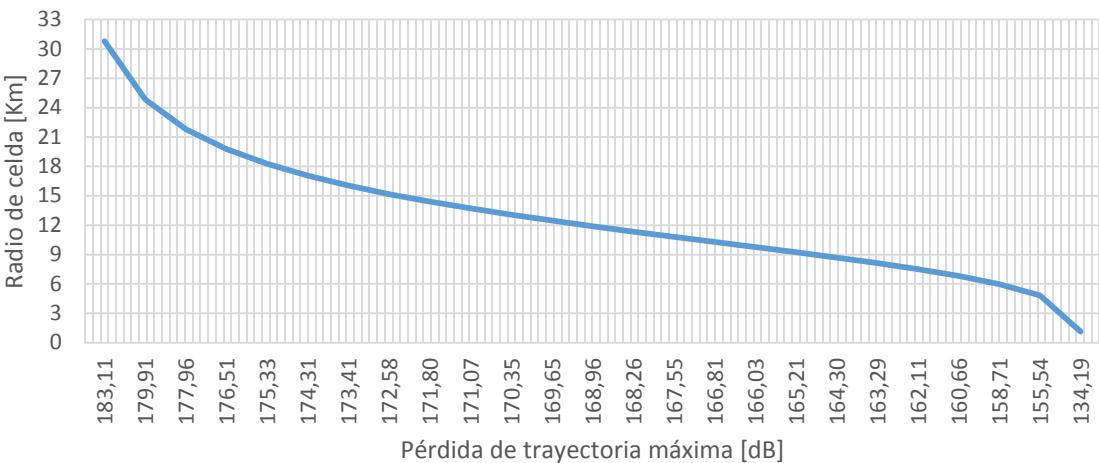


Figura 3.34 Variación del radio de celda en función de la pérdida de trayectoria máxima.

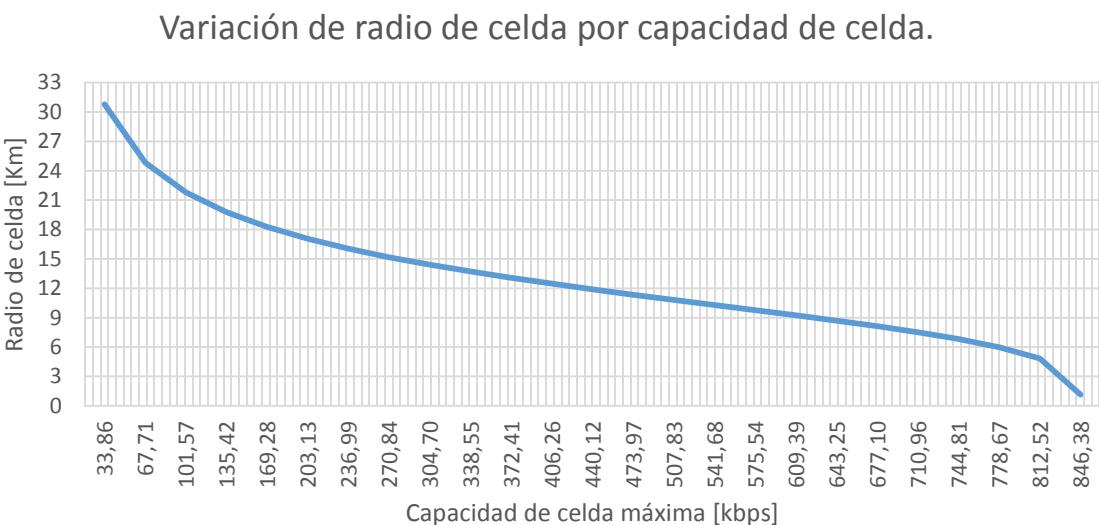


Figura 3.35 Variación del radio de celda en función de la capacidad máxima de la celda.

3.6.2 Enlace de subida

Para el enlace de subida se puede hacer un análisis similar partiendo de los cálculos del Link Budget, es decir, variando la tasa de transferencia en el enlace de subida y calculando para cada valor con la tabla de Link Budget, se obtienen los siguientes resultados.



Tasa de Tx [kbps]	P. máxima [dB]	Radio de celda [km]
33,86	146,38	2,610243273
67,71	143,37	2,132232005
101,57	141,61	1,894294653
135,42	140,36	1,741758467
169,28	139,39	1,631953068
203,13	138,60	1,547394347
236,99	137,93	1,479328431
270,84	137,35	1,422791961
304,70	136,84	1,374719463
338,55	136,38	1,333095117
372,41	135,97	1,29652809
406,26	135,59	1,264021551
440,12	135,24	1,234838626
473,97	134,92	1,208420478
507,83	134,62	1,184334043
541,68	134,34	1,162237477
575,54	134,08	1,141856605
609,39	133,83	1,122968448
643,25	133,59	1,105389422
677,10	133,37	1,088966727
710,96	133,16	1,073571941
744,81	132,96	1,059096183
778,67	132,76	1,04544641
812,52	132,58	1,032542534
846,38	132,40	1,020315172

Tabla 3.29 Variación de pérdida de trayectoria máxima y radio de celda en función de la tasa de transferencia en el enlace de subida.

Graficando estos valores tenemos:

Radio de celda en función de la capacidad.

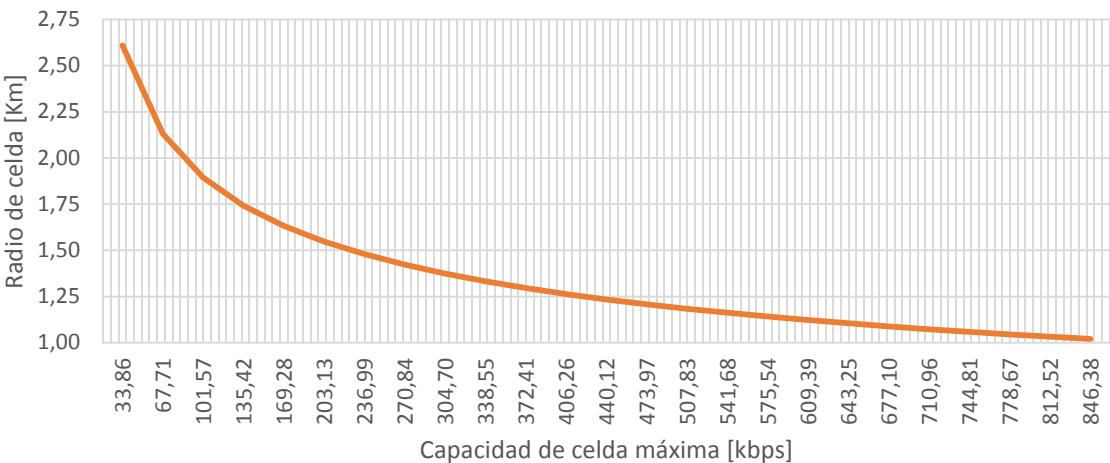


Figura 3.36 Variación del radio de celda en función de la tasa de transferencia en el enlace de subida.

Sobreponiendo ambas gráficas tenemos:

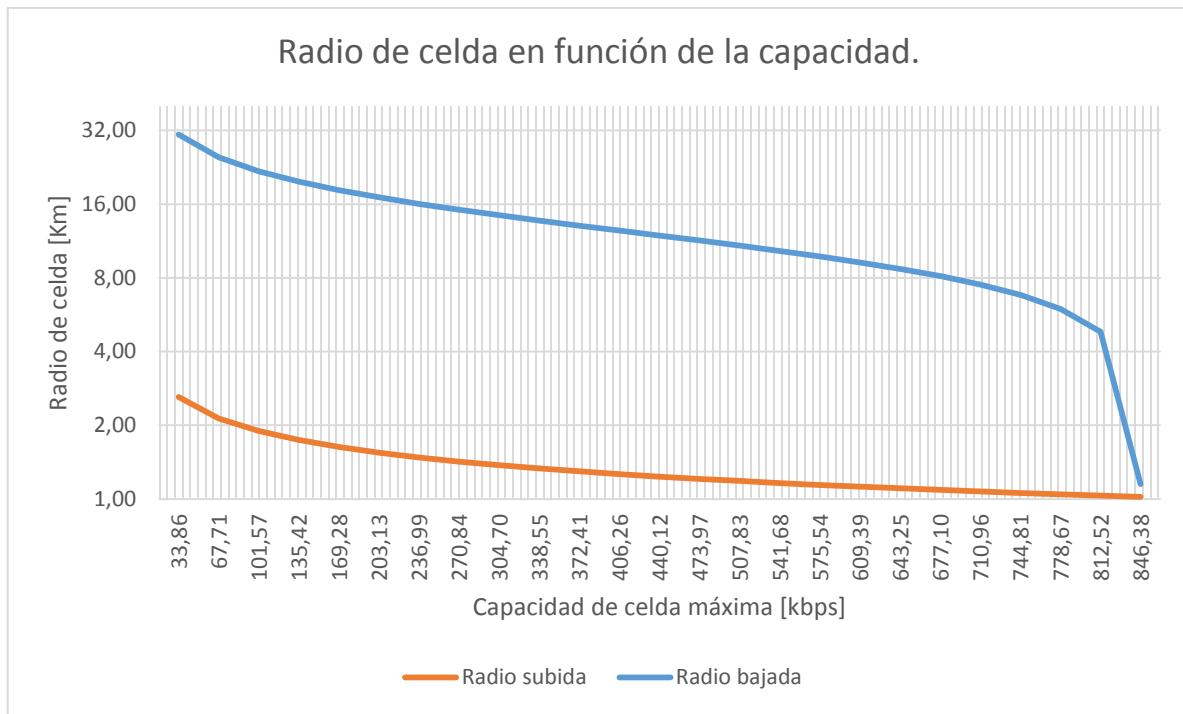


Figura 3.37 Variación del radio de celda en los enlaces de subida y bajada.

En ambos enlaces, de subida y de bajada, la carga de interferencia en el aire afecta la cobertura, pero el efecto no es el mismo. En el enlace de bajada, la cobertura depende más de la carga que en el enlace de subida, de acuerdo con la figura anterior. La razón es que en el enlace de bajada la potencia de 40

Walter Chauca

Diego Méndez



W es compartida entre los usuarios del enlace de bajada: a más usuarios, menos potencia por usuario. Por lo tanto, incluso con poca carga en el enlace de subida, la cobertura decrece como una función del número de usuarios.

Notamos entonces que con los supuestos anteriores, la cobertura está claramente limitada por el enlace de subida, mientras la capacidad está limitada por el enlace de bajada.

La siguiente figura muestra la curva de variación de pérdida máxima por trayectoria en función de la capacidad, pero para indicar el número de **usuarios simultáneos** del servicio de voz, a 12,2 kbps.

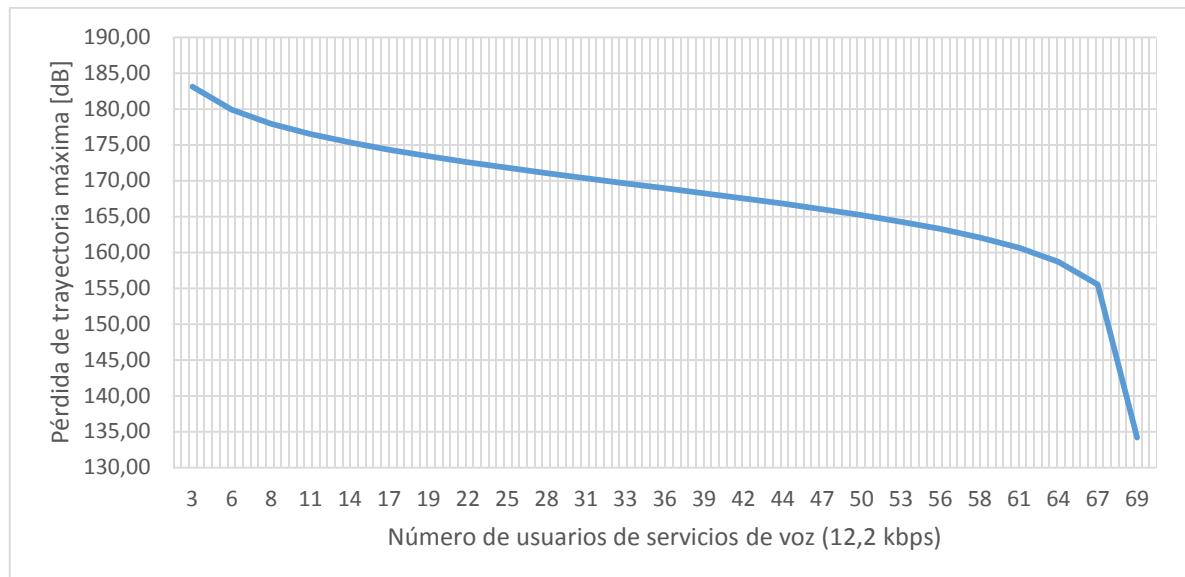


Figura 3.38 Relación de cobertura vs. Capacidad para usuarios del servicio de voz.

En las siguientes figuras se muestran las gráficas de las variaciones del radio de celda para el uso de una cantidad de usuarios simultáneos del servicio de voz (12,2 kbps) y de datos (64 kbps).



Variación del radio de celda según el número de usuarios.
Servicio de voz.

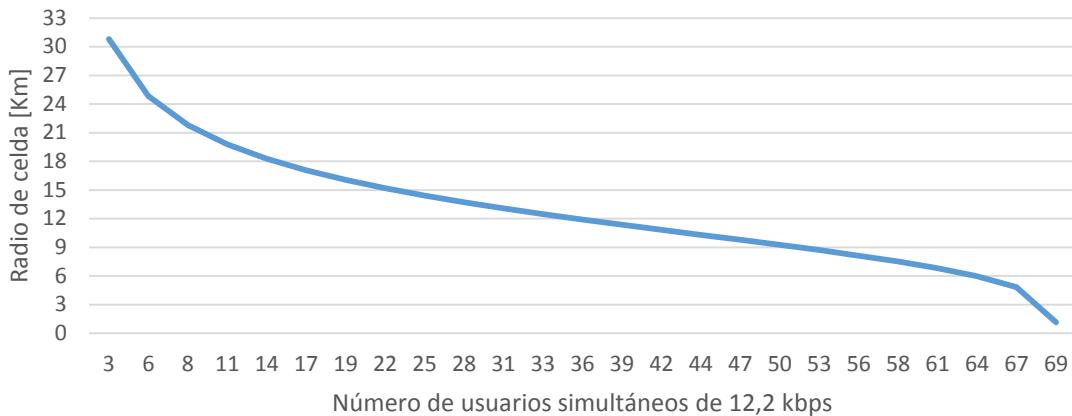


Figura 3.39 Radio de celda vs. Número de usuarios simultáneos. Servicio de voz a 12,2 kbps.

Variación del radio de celda según el número de usuarios.
Servicio de datos.

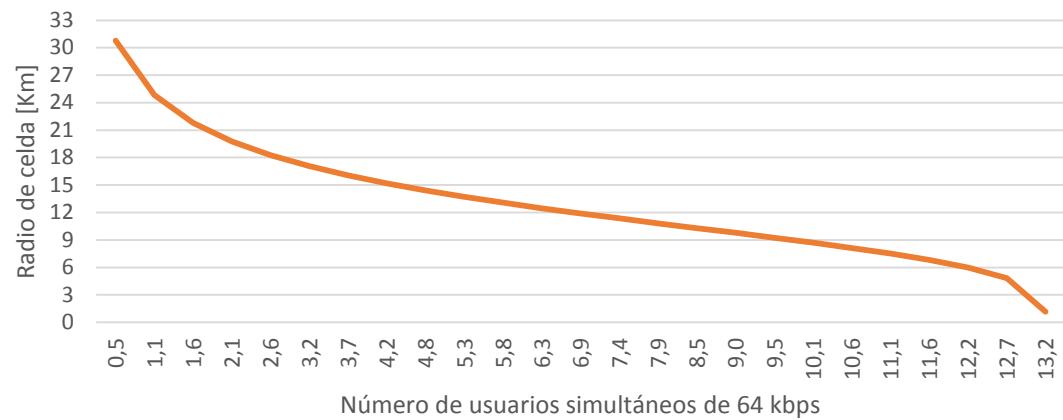


Figura 3.40 Radio de celda vs. Número de usuarios simultáneos. Servicio de datos a 64 kbps.

3.6.3 Simulación de la variación del radio de celda en función de la capacidad

En la tabla 3.29 se presentaron los datos de la variación del rango de la celda de acuerdo a la carga de la misma, en la figura 3.41 se muestra la simulación realizada, diferenciando el área de cobertura de acuerdo a la sensibilidad requerida para cada caso. Debemos recordar que los datos obtenidos en la



tabla 3.29 son datos teóricos, por lo que debido a que la sensibilidad mínima de un equipo móvil de tercera generación es de -120 dBm la simulación se realizó con los cinco últimos valores de la tabla únicamente.

Como se puede observar en la tabla 3.29, el mayor throughput se genera cuando el factor de carga de la celda es mayor, entonces cuando la celda está totalmente llena se tiene el área de cobertura de color rojo.

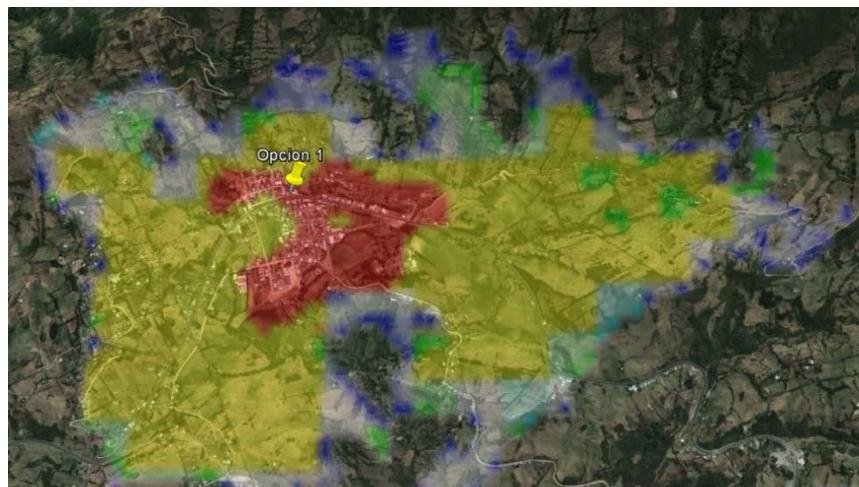


Figura 3.41 Variación del rango de la celda de acuerdo a la carga.

COLOR	TROUGHPUT
Red	846 [kbps]
Yellow	812 [kbps]
Green	778 [kbps]
Light Blue	744 [kbps]
Dark Blue	710 [kbps]

Tabla 3.30 Leyenda figura 3.41.

En la figura 3.42 se muestra el área de cobertura para cada valor del throughput, y se puede observar que la variación del área de cobertura amarillo, verde, celeste y azul es casi imperceptible a simple vista por lo cual se ha realizado



una comparación de las mismas en el software de simulación.

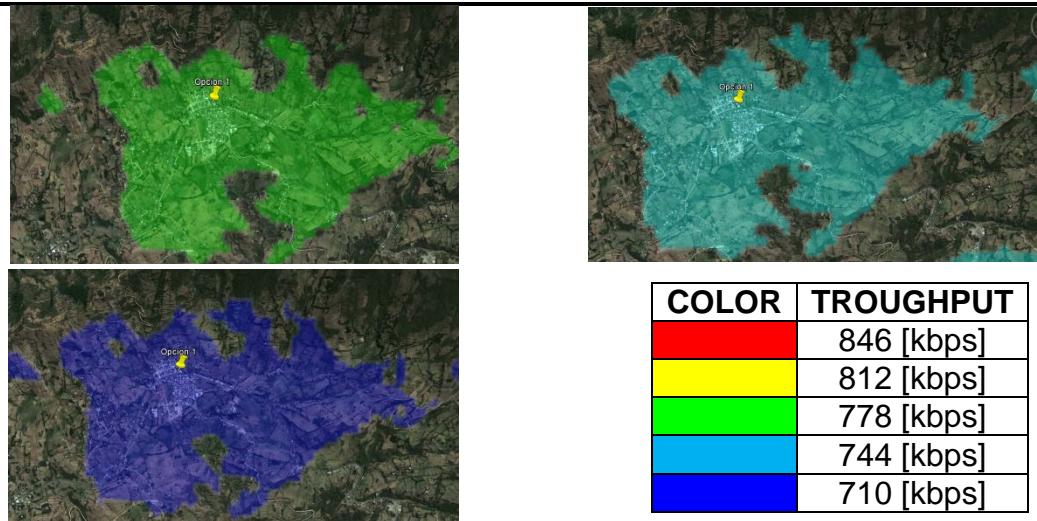


Figura 3.42 Variación del rango de la celda de acuerdo a la carga individualmente.

En la figura 3.43 se muestra la comparación entre las áreas de cobertura para una tasa de transferencia de 710 kbps y uno de 744 kbps. Las pequeñas superficies de color rojo representan la variación de cobertura.

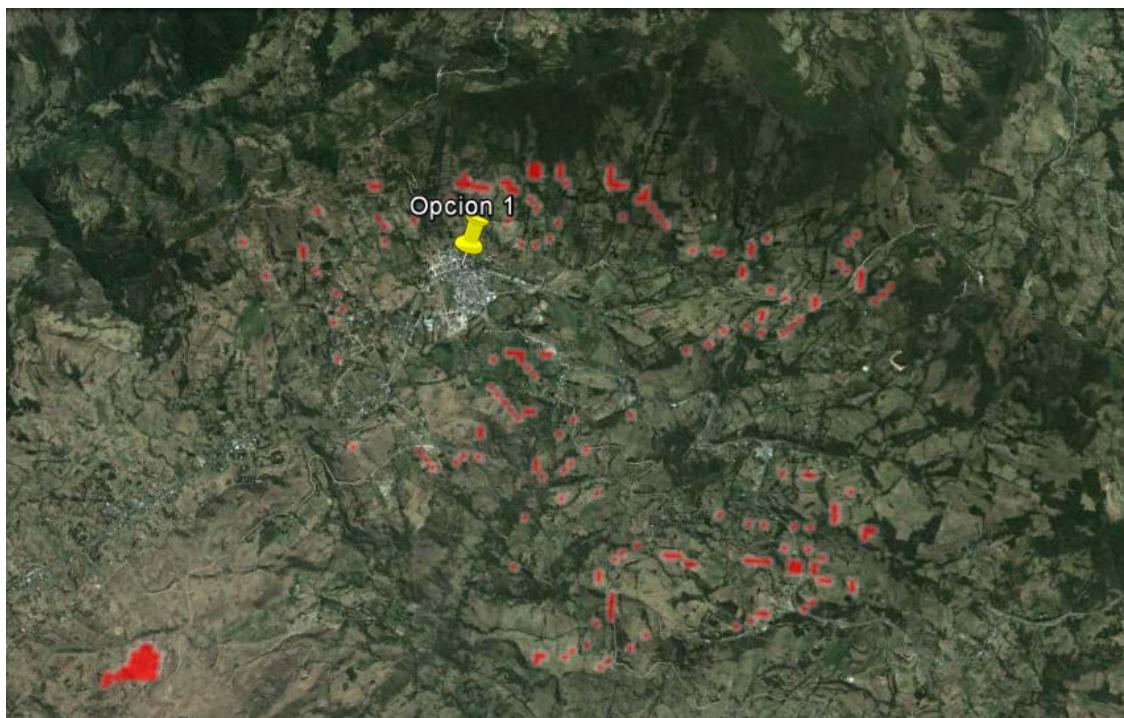


Figura 3.43 Comparación cobertura con tasas de transferencia de 714 kbps y 744 kbps.



En la figura 3.44 se muestra la comparación entre las áreas de cobertura para una tasa de transferencia de 710 kbps y uno de 812 kbps. Las pequeñas superficies de color verde representan la variación de cobertura.

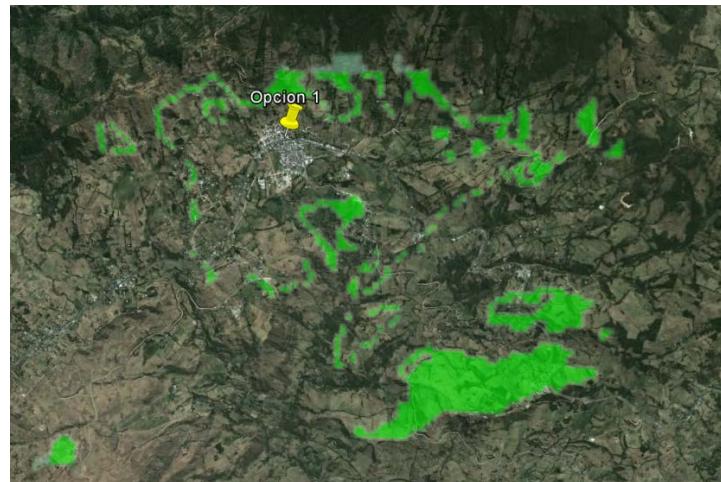


Figura 3.44 Comparación cobertura tasas de transferencia 710 kbps vs 812 kbps.

3.7 Límites de zonas de exposición de personas

El cálculo de estas zonas tiene la finalidad de facilitar el cumplimiento de los límites de seguridad de este tipo de instalaciones de telecomunicaciones, como las estaciones base, los teléfonos móviles y demás dispositivos que se utilizan cerca de la cabeza, cuando existe una exposición a campos electromagnéticos. Para estos cálculos nos basamos en las fórmulas de la resolución 01-01-CONATEL-2005 referenciadas de la norma ITU-T K52 “Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos”.

3.7.1 Definiciones

Corriente de contacto: Corriente que circula por el cuerpo cuando la persona toca un objeto conductor en un campo electromagnético.

Exposición: Se produce cuando una persona está sometida a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos, o a corrientes de contacto distintas de las originadas por procesos fisiológicos del cuerpo o fenómenos naturales.

Nivel de exposición: Valor de la magnitud utilizada cuando una persona está expuesta a campos electromagnéticos o corrientes de contacto.



Exposición ocupacional: Exposición de situaciones en que las personas están expuestas como consecuencia de su trabajo y en las que las personas expuestas han sido advertidas del potencial de exposición y pueden ejercer control sobre la misma. También se aplica a exposiciones transitorias o de paso ocasional.

Región de campo lejano: Región de campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia con respecto a la antena. En esta región predomina el campo del tipo de onda plana.

3.7.2 Cálculos de las zonas

En la tabla 3.31, tomada del documento de la CONATEL se muestra los límites de densidad de potencia campo eléctrico y campo magnético de acuerdo a la frecuencia de operación y el tipo de exposición.

Tipo de exposición	Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico, E (V/m)	Intensidad de campo magnético, H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m ²)
Ocupacional	3 - 65 kHz	610	24,4	—
	0,065 - 1 MHz	610	1,6 /f	—
	1 - 10 MHz	610 /f	1,6 /f	—
	10-400 MHz	61	0,16	10
	400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0,36	50
Poblacional	3-150 kHz	87	5	—
	0,15-1 MHz	87	0,73 /f	—
	1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73 /f	—
	10-400 MHz	28	0,073	2
	400-2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$f/200$
	2-300 GHz	61	0,16	10

Tabla 3.31 Límites de densidad de potencia campo eléctrico y campo magnético. (CONATEL, RESOLUCION 01-01-CONATEL-2005, 2005)

Se está trabajando en la banda de 1.900 MHz por lo cual los límites de densidad de potencia ocupacional y poblacional son $f/40$ y $f/200$ respectivamente, obteniendo los valores presentados a continuación.

DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]	
OCUPACIONAL	47,75
POBLACIONAL	9,55

Tabla 3.32 Límites de densidad de potencia para las antenas de la estación base.

Adicionalmente se tiene:

PIRE [dBm]	48,05
PIRE [W]	63,8264



Frecuencia [Mhz]	1.910
Altura Torre [m]	42

Tabla 3.33 Datos para el cálculo de las distancias de seguridad.

Para el cálculo de los radios de las zonas se tiene la siguiente formula:

$$S = \frac{PIRE}{\pi R^2} \quad (33)$$

Despejando R tenemos:

$$R = \sqrt{\frac{PIRE}{\pi S}} \quad (34)$$

Donde:

S: Densidad de potencia [W/m²]

PIRE: Potencia radiada por la antena [W]

R: Distancia desde el centro de la antena hacia el punto de estudio [m]

Obteniendo los siguientes resultados para la distancia R:

Distancia R [m]	
Ocupacional	0,181039961
Poblacional	4,525999025

Tabla 3.34 Distancias de seguridad.

Para calcular la distancia horizontal se basará en la figura 3.45 y se aplica el teorema de Pitágoras quedando de la siguiente manera:

$$X = \sqrt{R^2 - (h - d)^2}$$

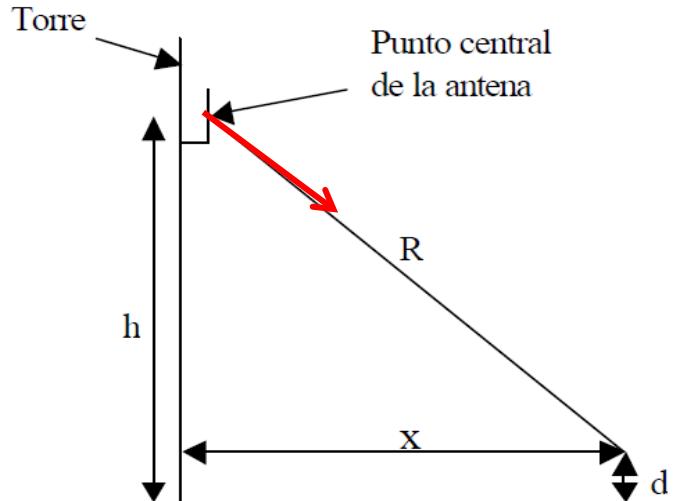


Figura 3.45 Esquema para el cálculo de la distancia antena-persona.

Al analizar las distancias obtenidas en la tabla 3.34 se puede ver que estas son mucho menores que la altura de la antena, por lo que se entiende que las zonas de exposición no llegan al suelo como se muestra en la figura 3.46. Para determinar estas distancias se ha utilizado el ángulo del ancho de haz a media potencia que según la hoja de datos característicos de la antena es de $7,5^\circ$.

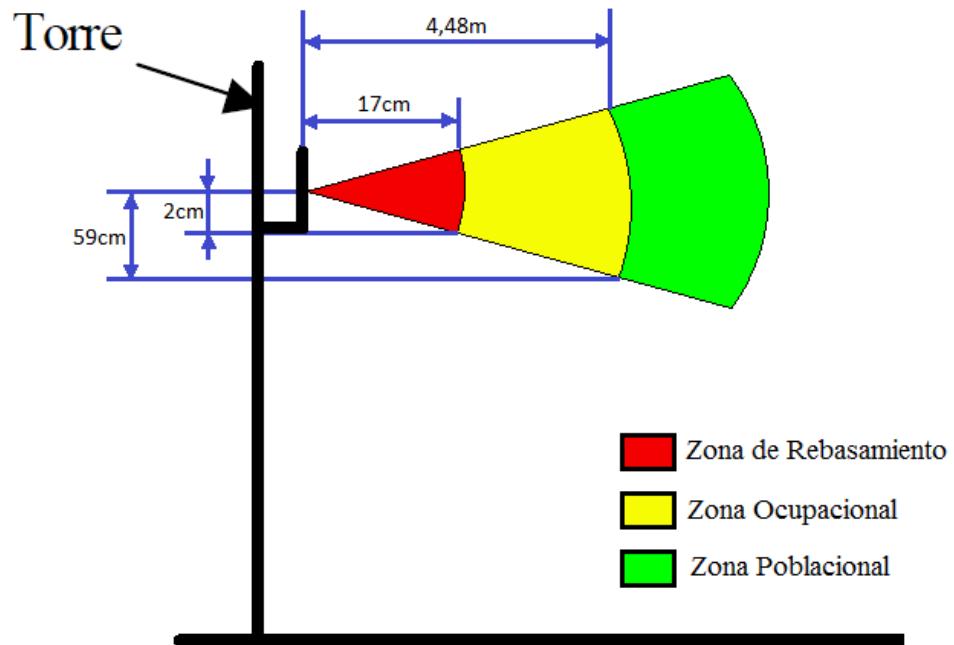


Figura 3.46 Resultados de las distancias de seguridad.





4 EVOLUCIÓN DEL NODO A 4G

4.1 LTE

Hasta el momento, las tecnologías de tercera generación como HSPA/EV-DO brindan velocidades más altas que las tecnologías de segunda generación; sin embargo no satisfacen los requerimientos para prestar servicios de banda ancha. Con LTE se podrá lograr altas tasas de velocidades y mucha menor latencia. Las operadoras móviles tienen la oportunidad de migrar su red a una de cuarta generación para poder brindar mejores servicios a sus suscriptores tales como: voz sobre IP, video en HD, HDTV bajo demanda, juegos multijugadores en línea, etc.

Otra ventaja de LTE es que reduce el costo por byte, es aproximadamente seis veces menor comparado con HSPA. La reducción de este costo es debido a la simplificación de la red con una arquitectura IP plana.

4.1.1 Características de LTE

- Velocidades pico
 - Descarga: para 20 MHz
 - 100 Mb/s SISO (Single Input Single Output)
 - 173 Mb/s 2x2 MIMO (Multiple Input Multiple Output)
 - 326 Mb/s 4x4 MIMO
 - Subida: una sola antena del transmisor del equipo del usuario
 - 58 Mb/s 16 QAM
 - 86 Mb/s 64 QAM
- Incremento de la eficiencia espectral
 - Descarga: 3-4 veces HSDPA en MIMO 2x2
 - Subida: 2-3 veces E-DCH en MIMO 1x2
- Baja latencia
 - Menor que 10 mseg de retardo de ida y vuelta
 - Tiempos de establecimientos de llamadas reducidos (50-100ms)
- Capacidad por celda
 - 200 usuarios en 5 MHz, 400 usuarios en mayores asignaciones de espectro
- Uso flexible del espectro
 - 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz
 - Todas las frecuencias usadas para tercera generación y otras adicionales desde 450 MHz a 2,6 GHz.

Para alcanzar estas características LTE usa equipos y técnicas de última tecnología en el mercado. Por ejemplo, para radio se usa un nuevo esquema de modulación basado en OFDM, y lo más avanzado en antenas, como es MIMO. Además de la red de núcleo, una topología de red basada en IP.



LTE usa OFDMA (Acceso múltiple con división de frecuencia ortogonal) para el enlace de bajada y SC-FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia con portadora simple) la cual resulta más eficiente en el ahorro de batería a comparación de OFDMA para el enlace subida.

La tecnología MIMO se refiere a la técnica de emplear múltiples antenas tanto para transmisión como para recepción, de lo cual resulta en múltiples rutas de datos operando paralelamente y, a través de una decodificación adecuada se obtiene una ganancia en la recepción de señal.

Sin embargo, LTE requiere una nueva arquitectura de red, que consta de cuatro entidades principales; para la red de núcleo: la MME (entidad de administración móvil), S-GW (Pasarela de servicios) y P-GW (pasarela de paquetes), y para la red de acceso solo con el e-NodoB como se muestra en la figura 4.1.

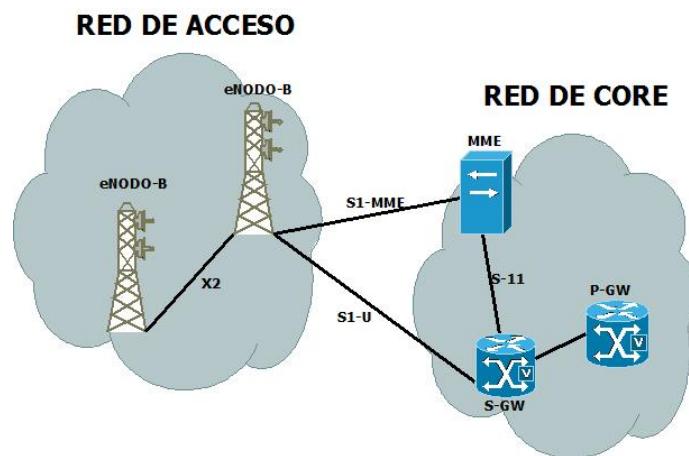


Figura 4.1 Principales entidades de la red LTE.

4.1.2 Infraestructura y elementos de una red LTE

En la figura 4.1 se muestra la arquitectura básica de una red LTE, denominada formalmente en las especificaciones como EPS (Evolved Packet System). Sus elementos principales son básicamente la nueva red de acceso E-UTRAN y la nueva red troncal EPC. Estos componentes han sido diseñados para dar soporte a todo tipo de servicios de telecomunicaciones mediante mecanismos de conmutación de paquetes.

La EPC y la E-UTRAN brindan conjuntamente servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos terminales conectados a la red LTE y las redes de telecomunicaciones externas. Entonces el servicio de transporte de paquetes IP que ofrece la red LTE entre el equipo terminal y las redes externas se denomina servicio portador EPS. Otra particularidad fundamental del sistema LTE es que permite también el acceso a sus servicios mediante otras redes de acceso las cuales pueden ser 3GPP como UTRAN y GERAN y otras no pertenecientes a 3GPP como CDMA2000, Mobile Wi-Max entre otras.



Por último, es importante destacar que para la comunicación de los equipos tanto de la red troncal EPC como de la red de acceso E-UTRAN, se realiza mediante tecnologías de red basadas en IP. Por lo tanto, la red de transporte es una red IP convencional, por lo cual, a más de los equipos para las comunicaciones celulares, existen equipos de red convencionales como ruteadores, servidores DHCP, servidores DNS, etc.

	Denominación	Descripción
Entidades de la red EPC	MME	Nodo que canaliza el plano de control de la red LTE
	S-GW	Punto de anclaje del plano de usuario en la red troncal.
	P-GW	Pasarela para la interconexión con redes externas.
Entidades comunes a las redes 3GPP	HSS	Base de datos global del sistema.
	PCRF	Elemento central del sistema de uso de la red y control de tarificación.
	OCS	Nodo de control para la provisión de servicios que requieren tarificación online.
	OFCS	Nodo de recogida de la información de tarificación para su posterior transferencia al sistema de facturación.
	Denominación	Entidades de red asociadas
Interfaces	S1-MME	MME E-UTRAN (eNB)
	S1-U	S-GW E-UTRAN (eNB)
	SGi	P-GW Redes externas
	S6a	MME HSS
	S5/S8	P-GW S-GW
	S11	MME MME
	S10	UE MME
	Senalizacion NAS	UE MME
	Rx	PCRF Plataformas servicios
	S9	PCRF PCRF
	Gx/Gxc	P-GW/SGW PCRF
	Gz/Gy	P-GW OFCS/OCS

Tabla 4.1 Entidades de red e interfaces de EPC.

Básicamente existen tres vías para migrar hacia LTE y son las siguientes:

- Prestar solo servicio de Datos con LTE.
- Prestar servicios de datos mediante LTE y servicios de voz y mensajes con redes de 3G o 2G.
- Prestar servicios de datos, voz y mensajes con LTE.



4.1.2.1 Prestar solo servicio de Datos con LTE.

Se puede recurrir a esta opción para simplificar la evolución hacia LTE, debido a que para poder brindar servicio de voz se debe hacer un cambio en la red troncal lo cual representa grandes inversiones. La ventaja es que permite el rápido despliegue de la red LTE y el operador puede ganar experiencia en el manejo de esta red para a futuro prestar servicios de voz y mensajes. El ofrecer un servicio sólo de datos implicaría la orientación a clientes que deseen dispositivos inteligentes para la utilización del servicio.

4.1.2.2 Prestar servicios de datos mediante LTE y servicios de voz y mensajes con redes de 3G o 2G.

El servicio de voz continúa siendo una de las mayores entradas de dinero para las operadoras móviles, por lo cual, para captar grandes cantidades de suscriptores, las operadoras optan por prestar el servicio de datos mediante LTE y el de voz usando la infraestructura anterior facilitando así la incorporación de la red de cuarta generación, sin la necesidad de hacer cambios en la red de núcleo.

4.1.2.3 Prestar servicios de datos, voz y mensajes mediante LTE.

LTE es una tecnología inalámbrica de datos con acceso totalmente IP, por lo cual para prestar el servicio de voz, LTE se basa en nuevas tecnologías; sin embargo, existen mecanismos adicionales para la interacción de LTE con las redes de voz existentes.

4.2 Aspectos Regulatorios

4.2.1 Bandas de frecuencia para LTE

Existen 17 bandas pares y 8 bandas impares en las que se puede desplegar LTE; sin embargo, algunas de ellas están ocupadas por otros servicios. Recordemos que las bandas de frecuencia más bajas brindan mayor cobertura, por lo cual la mejor banda para el despliegue de LTE sería la de 700MHz. A continuación se muestran las bandas designadas por 3GPP para el despliegue de LTE.



Operating band	3GPP name	Total spectrum	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]
Band 1	2100	2x60 MHz	1920-1980	2110-2170
Band 2	1900	2x60 MHz	1850-1910	1930-1990
Band 3	1800	2x75 MHz	1710-1785	1805-1880
Band 4	1700/2100	2x45 MHz	1710-1755	2110-2155
Band 5	850	2x25 MHz	824-849	869-894
Band 6	800	2x10 MHz	830-840	875-885
Band 7	2600	2x70 MHz	2500-2570	2620-2690
Band 8	900	2x35 MHz	880-915	925-960
Band 9	1700	2x35 MHz	1750-1785	1845-1880
Band 10	1700/2100	2x60 MHz	1710-1770	2110-2170
Band 11	1500	2x25 MHz	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9
Band 12	US700	2x18 MHz	698-716	728-746
Band 13	US700	2x10 MHz	777-787	746-756
Band 14	US700	2x10 MHz	788-798	758-768
Band 17	US700	2x10 MHz	704-716	734-746
Band 18	Japan800	2x30 MHz	815-830	860-875
Band 19	Japan800	2x30 MHz	830-845	875-890

Tabla 4.2 Bandas de frecuencia pareadas en 3GPP.

Operating band	3GPP name	Total spectrum	Uplink and downlink [MHz]
Band 33	UMTS TDD1	1x20 MHz	1900-1920
Band 34	UMTS TDD2	1x15 MHz	2010-2025
Band 35	US1900 UL	1x60 MHz	1850-1910
Band 36	US1900 DL	1x60 MHz	1930-1990
Band 37	US1900	1x20 MHz	1910-1930
Band 38	2600	1x50 MHz	2570-2620
Band 39	UMTS TDD	1x40 MHz	1880-1920
Band 40	2300	1x50 MHz	2300-2400

Tabla 4.3 Bandas de frecuencia no pareadas en 3GPP.
(LTE_Introduction_into_GSM-UMTS_Networks, 210)

Según los *artículos cuatro y cinco de la RESOLUCION TEL-804-29-CONATEL 2012*, CNT tiene asignada en la banda de AWS (Advanced Wireless Services) los bloques A - A', B - B', C - C', Y D - D' correspondientes a los rangos 1.710 – 1.730 MHz (UP LINK) y 2.110 – 2.130 MHz (DOWN LINK) con un total de 40 MHz de espectro en la banda de 1.700 MHz. Y en la banda de 700 MHz los bloques G - G', H - H' e I - I' correspondientes a los rangos 733 – 748 MHz (UP LINK) y 788 – 803 MHz (DOWN LINK) a nivel nacional.



4.3 Aspectos Técnicos

La solución distribuida de Alcatel-Lucent está compuesta por dos partes principales:

- El Nodo B digital Alcatel-Lucent.
- El cabezal Alcatel-Lucent 9341 RRH40-21, que provee el transceptor, funciones de MCPA (Multi-Carrier Power Amplifier. Amplificador de potencia multiportadora) y de filtro, típicamente encontradas en un NodoB convencional.



Figura 4.2 RRH Alcatel-Lucent 9341. Vista frontal. Fuente: hoja de datos del equipo.

El NodoB y el cabezal remoto generalmente se conectan mediante fibra óptica, llevando las señales digitales en banda base de las portadoras UMTS para subida y bajada.

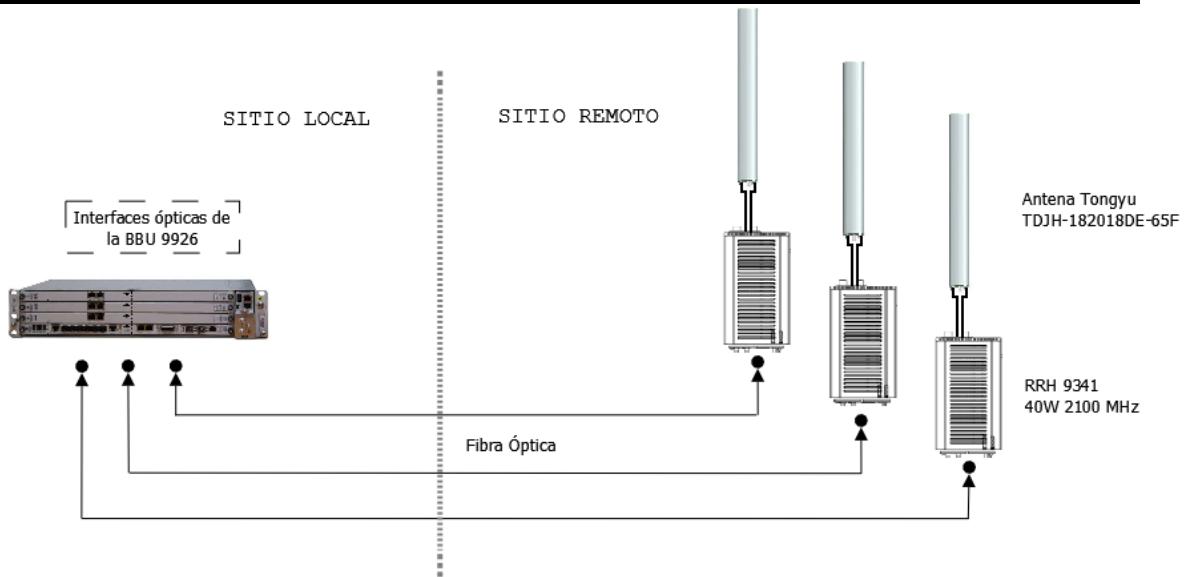


Figura 4.3 Conexiones de la BBU al RRH del sitio local al sitio remoto.

4.3.1 El Cabezal de Radio Remoto “Alcatel-Lucent 9341 RRH” 40W 2.100MHz (9341 RRH40-21)

Soporta hasta tres portadoras adyacentes. Dispone de 40 W para trabajar en los modos: 40 W x 1 portadora; 20 W x 2 portadoras; 13 W x 3 portadoras. Dependiendo de la red, se puede alimentar con corriente alterna o directa.

El RRH está empacado en un contenedor que soporta la intemperie y puede ser montado en una torre, en un mástil o en un muro. Soporta un rango de hasta 15 km de fibra óptica entre el RRH y la BBU.

Especificaciones para enlaces de subida y bajada

Enlace de bajada	Especificación	Comentarios
Banda de frecuencia de operación	2.110 MHz – 2.170 MHz	Banda I, según 3GPP TS25.104
Ancho de banda instantáneo	15 MHz	3 portadoras adyacentes UMTS
Impedancia nominal	50 Ω	
Pérdida de retorno del puerto de la antena	14 dB min	
Potencia de salida compuesta nominal	40 W / +46 dBm	En el conector de antena del 9341 RRH40-21
Precisión de potencia de salida	+/- 0,75 dB	A 40 W de potencia de salida

Tabla 4.4 Especificaciones características del 9341 RRH40-21 para el enlace de bajada.

Enlace de subida	Especificación	Comentarios
Banda de frecuencia de operación	1.920 MHz – 1.980 MHz	Banda I, según 3GPP TS25.104
Ancho de banda instantáneo	15 MHz	3 portadoras adyacentes UMTS
Impedancia nominal	50 Ω	
Pérdida de retorno del puerto de la antena	14 dB min	
Figura de ruido pasa banda	3 dB máx.	2,5 dB a temperatura del cuarto
Sensibilidad típica	-125,5 dBm	Para AMR 12,2 kbps, sin diversidad en Rx, a temperatura ambiente

Tabla 4.5 Especificaciones características del 9341 RRH40-21 para el enlace de bajada.

4.3.1.1 Interfaces de conexión

En la parte superior se observan las interfaces de conexión del RRH con la antena.

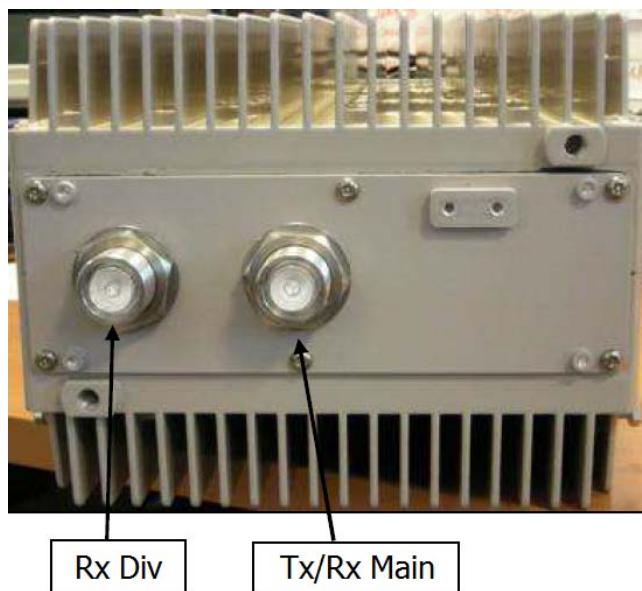


Figura 4.4 Alcatel-Lucent. 9341 RRH40-21. Vista superior.

El RRH recibe por medio de estas interfaces las señales enviadas desde la antena que se obtienen en la interfaz de aire UMTS. Recibe las señales del equipo de usuario y las convierte a un formato digital ajustable para la transmisión hacia la estación base que brinda el servicio.

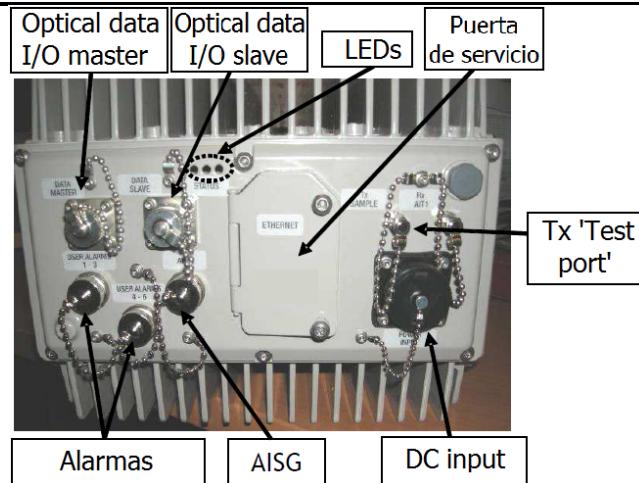


Figura 4.5 Alcatel-Lucent. 9341 RRH40-21. Vista inferior.

En la figura 4.5 se muestran los puertos de datos de entrada o salida para maestro o esclavo que sirven para la configuración de tres RRH con tres portadoras distintas, o se puede encadenar las tres para que trabajen todas con una sola portadora. Se les llama a estas, conexión estrella y conexión “Daisy chain” (en cadena).

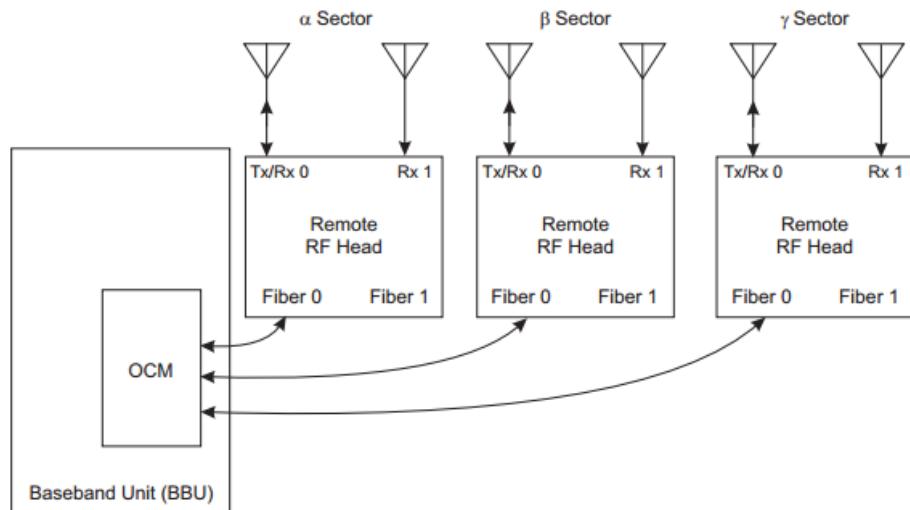


Figura 4.6 Configuración en estrella para una sola portadora de la ALU 9341 RRH40W-21. Fuente: Hoja de datos característicos del equipo.

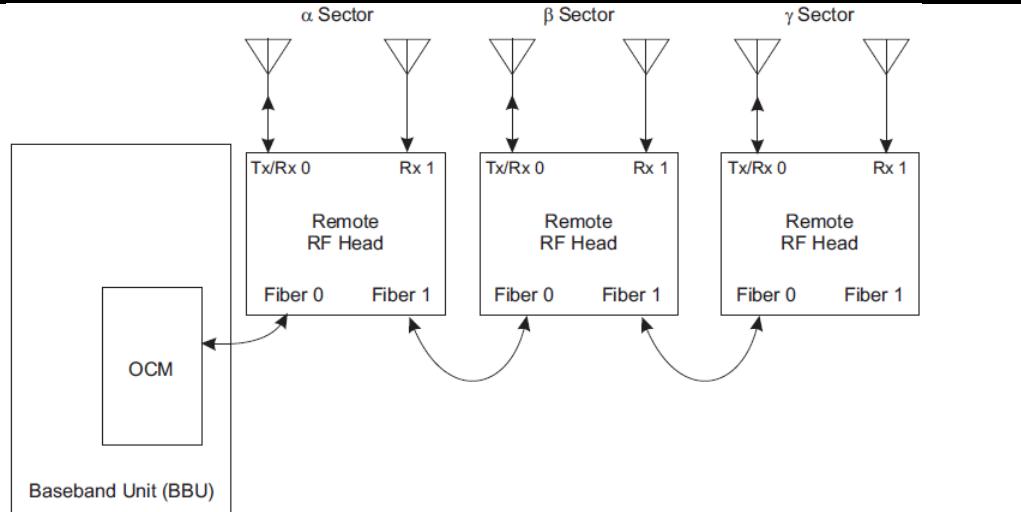


Figura 4.7 Configuración en cadena o “Daisy chain” para tres portadoras de la ALU 9341 RRH40W-21. Fuente: Hoja de datos característicos del equipo.

La puerta de servicio tiene como fin controlar el acceso a las interfaces de operación y gestión, y facilita un mantenimiento correctivo mediante un puerto Ethernet.

Posee un puerto óptico de pruebas de Tx. Dos conectores para alarma, deben tener conectores dedicados a prueba de agua. Un conector AISG (V1.1) RS485.

El puerto AISG (Antenna Interface Standards Group) es una conexión que tiene el fin de controlar y monitorear remotamente los dispositivos en línea.

4.3.2 La Unidad de Banda Base “Alcatel-Lucent 9926 BBU Digital 2U eNodeB”

La Unidad de Banda Base (BBU) 9926 de Alcatel-Lucent es el producto indicado para el proyecto en cuestión. Soporta las tecnologías de W-CDMA, LTE-TDD y LTE-FDD. Está diseñada para proveer alta capacidad y ser una solución confiable para su uso a través de múltiples tecnologías de acceso.



Figura 4.8 Alcatel-Lucent 9926 Digital 2U eNodeB. Vista frontal.



Esta unidad ofrece una entrada rentable al mercado UMTS para lugares donde se dificulte la selección del sitio. Es una opción particularmente buena para una rápida integración a una estación base 2G o a racks de 19 pulgadas ya instalados. La plataforma de software de la 9926 permite a las operadoras de WCDMA agregar rápida y fácilmente soporte a tecnología LTE a sus redes existentes.

La BBU 9926 d2U consta de varias tarjetas de administración de procesamiento digital del eNodoB que describiremos a continuación.

4.3.2.1 Módulo de Control de Núcleo.

El CCM-u (Core Control Module) provee una interfaz de red Ethernet Gigabit (2 conectores SFP y 2 RJ45 GE), comunicación interna con las tarjetas CEM, ruteo de muestras en banda base, etc. Adicionalmente es responsable de la potencia de la CPU para gestionar los flujos que van hacia el eNodoB, sincronización del eNodoB, funciones de operación y mantenimiento (O&M), y terminación de las interfaces CPRI (Common Public Radio Interface) a RRHs (Remote Radio Head) que controlan la gestión de operación, administración y mantenimiento (funciones OAM), se encarga también de la parte de procesamiento de llamadas y la combinación/commutación de flujos de datos internos y externos. Se pueden instalar hasta dos de estos módulos por nodo 9926 LTE (para bandas base de tecnología dual o redundancia).

4.3.2.2 Módulo de elemento de canal

El CEM-u (Chanel Element Module), tiene dos elementos funcionales principales, las unidades de banda base (BBU), que desempeñan todas las funcionalidades de procesamiento de señal en banda base y la unidad de control (ICU), que provee las interfaces de datos, control y temporización a la estación base. La CEM-u (unidad módem) provee la unidad de programación para celdas de RRM rápido. Unidad de Capa 2 para el soporte de capas MAC/RLC y unidad de Capa 1 para procesar parte de controles de muestras en banda base de procesamiento de llamadas y procesamiento de señales digitales de transmisión/recepción en banda base. Estos módulos son escalables de uno a un máximo de tres (con redundancia) por módulo digital 9926 LTE.

Ambos módulos, CCM-u y CEM-u son Unidades Reemplazables (FRUs). Adicionalmente, el d2U alberga un RBP (Plano Trasero de Rack de usuario), soportando todos los enlaces internos entre módulos CCM-u y CEM-u y un RUC (Rack de Arranque de Usuario), que soporta todo arranque de memorias no volátiles, y alarmas de ventiladores.

El Módulo Digital 9926 LTE es común entre LTE y WCDMA (9926 d2U). Esto significa que el mismo rack digital puede ser configurado por software para operar en tecnología WCDMA o LTE.

4.3.2.3 Escenarios de despliegue LTE

La intención de Alcatel-Lucent es de cubrir redes en nuevas bandas de espectro y ofrecer un trayecto de evolución suave para redes GSM, WCDMA/HSPA y CDMA actualmente desplegadas. Para esto su solución LTE está diseñada para integrar dentro de ofertas de productos existentes que soporten una evolución elegante a un eNodo B de tecnología LTE: La solución es modular y está compuesta por la unidad de banda base o digital (d2U eNB), lo cual puede ser desplegado en una arquitectura distribuida con RRHs o en configuraciones clásicas con módulos de radio integrados.



Figura 4.9 Medidas del equipo e identificación de los módulos que lo integran.

4.3.2.4 Consideraciones de espectro

El Alcatel-Lucent d2U eNB puede ser desplegado en cualquier banda futura o existente. Flexibilidad de uso de espectro de frecuencia en la red, con opciones de ancho de banda de 1,4; 3; 5; 10; 15 o 20 MHz soportado en todas las frecuencias de IMT-2000: 450 MHz a 2.6 GHz.

4.3.2.5 Compartiendo fibras ópticas a las cabeceras de RF Remotas.

La solución de la BBU 9926 puede concentrar el tráfico de CPRI de las redes heredadas junto con su propio tráfico y entonces usar fibras comunes hasta el RRH. Si son usadas diferentes bandas, el RRH puede ser encadenado.

El Alcatel-Lucent presenta una arquitectura modular, permitiendo el soporte de tecnología dual en un solo case, o alternativamente, capacidad de redundancia. Soporta también módems de alta capacidad, de tres sectores con MIMO 4x4 y ancho de banda de 20 MHz.

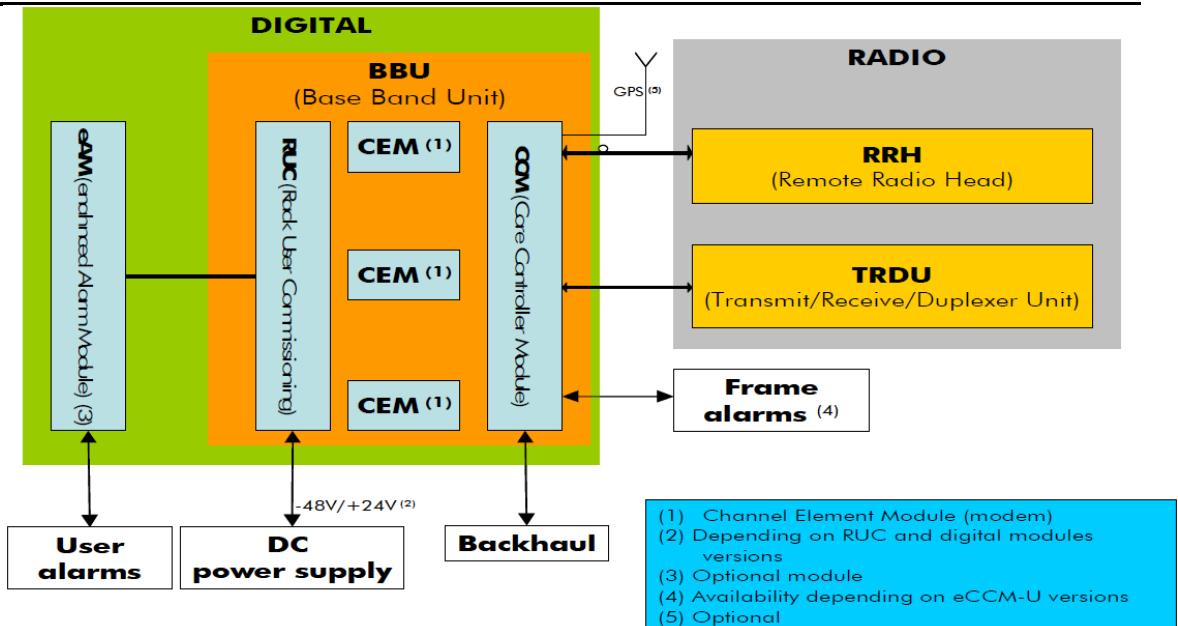


Figura 4.10 Arquitectura modular de la Unidad de Banda Base Alcatel-Lucent 9926 d2U eNB. Fuente: hoja de datos característicos del producto.

4.3.2.6 Actualizaciones y reconfiguraciones para la BBU 9926

A continuación detallamos el procedimiento para remover un módulo existente. Para instalar uno nuevo el proceso es similar al inverso de éste.

4.3.2.6.1 Remover un módulo bCEM existente y agregar uno nuevo de la BBU 9926

El módulo CEM tiene capacidad de ser intercambiado en caliente (hot swapping); sin embargo, el propósito del procedimiento es el de remover y remplazar el bCEM con una mínima pérdida de servicio.

Dado que no sabemos qué celdas están apoyadas en qué módulos, se debe bloquear las celdas (suspender la emisión de señal por las antenas) antes de remover el módulo, o simplemente removerlo. Si sólo es removido, el proceso OAM de la BBU 9926 detecta que el módulo bCEM ya no está disponible; entonces cambia de estado operacional asociado con el módulo bCEM a “deshabilitado”, si es que no está ya en ese estado.

Es aconsejable bloquear las celdas antes de remover un módulo, no asegurarlas puede resultar en una inesperada pérdida de servicio.

1. Si el módulo bCEM no está bloqueado, siga los siguientes pasos para bloquearlo manualmente:
 - a. Conecte la PC NEM al puerto PORT1 de la eCCM-U con un cable Ethernet RJ-45 o contacte al OMC para conectar la BBU 9926 remotamente.

- b. Abra el software NEM en el ordenador.
 - c. Clic en el ícono de *Vista de árbol*.
 - d. Clic en la BBU deseada, la BBU 9926, entonces clic en los módulos de hardware.
 - e. Seleccione el módulo a ser bloqueado.
 - f. Clic derecho en el módulo, se abre un menú contextual, clic en **Bloquear Módulo** para bloquear el módulo bCEM.
2. En el slot superior de los módulos bCEM, remueva el soporte y el tornillo Torx del centro de la carilla frontal. Omitiremos mencionar este paso para los siguientes módulos.



Figura 4.11 Ubicación del soporte de módulos CEM y tornillo Torx.

3. Afloje los dos tornillos **de montaje** del plato frontal. No remueva los tornillos del plato frontal.
4. Inserte la herramienta de extracción en el hoyo de extracción del módulo bCEM en el medio de la tarjeta y hale el módulo bCEM hacia afuera del slot.

Nota:

No deje un slot abierto. Los módulos y paquetes de circuitería del Alcatel-Lucent 9926 BBU sufrirían daños debidos a flujos de aire de refrigeración inadecuados.

Inserte el módulo bCEM de remplazo o la tapa de relleno para mantener un flujo de aire apropiado a través de la BBU.



Figura 4.12 Identificador de módulo individual eCEM-U.

Para insertar el nuevo módulo el proceso es similar al reverso del ya descrito. Se debe comprobar el estado de los LEDs al iniciar el módulo (verde encendido y rojo apagado).

4.3.2.7 Agregar una nueva celda a la BBU 9926

A continuación detallamos el procedimiento para la creación de una celda LTE desde la BBU.

4.3.2.7.1 Creación de una celda LTE

Con la creación de una nueva celda, se propone un conjunto de nuevos canales para los enlaces de subida y de bajada. Veremos el procedimiento paso a paso para esto.

4.3.2.7.2 Proceso de creación de una celda LTE.

Durante el proceso de creación de una celda LTE, el operador tiene que usar un algoritmo PCI (PCI DSS. Payment Card Industry Data Security Standard) centralizado implementado en el Alcatel-Lucent 9952 WPS (Wireless Provisioning System) con el fin de asignar el PCI a la celda.

El Alcatel-Lucent 9952 WPS es un sistema que permite a los administradores de red configurar, cambiar y optimizar parámetros de acceso inalámbrico. La gestión de configuración de redes móviles es un proceso complejo, este sistema es una solución basada en Java para sistemas que corren Windows. Ha sido únicamente diseñado con la habilidad de manejar y gestionar objetos y



componentes de acceso a la red con facilidad. Utiliza órdenes de trabajo XML para proveer flexibilidad y habilitar múltiples usuarios.

Durante el nivel de la creación de la celda, el equipo eNodoB en cuestión puede requerir una operación de reseteado. La creación sólo requiere un reseteo si los objetos o parámetros de Clase A fueron creados, borrados o modificados.

Ejecute el siguiente procedimiento para agregar una nueva celda a la BBU 9926.

1. Configure el eNodoB desconectado usando el procedimiento de configuración del SAM 5620 en modo desconectado como sigue:
 - a. Desde el cliente SAM 5620, cree una instancia de configuración instantánea de la BBU 9926 que está siendo actualizada.
La configuración instantánea es almacenada en el directorio `/opt/5620sam/server/nms/activation/snapshot_export`
 - b. Desde el WPS 9952, prepare la nueva configuración, ejecute comprobaciones, y exporte la orden de trabajo delta (WO).
 - c. Desde el cliente SAM 5620, active y despliegue la orden de trabajo delta para la BBU 9926.
2. Desbloquee la BBU 9926 para restaurar el servicio.
3. Compruebe los datos de desempeño para asegurarse que el tráfico de telecomunicaciones está disponible para el o los eNodosB actualizados.
También se puede tomar como referencia la Guía de Administración de Estadísticas del SAM 5620.
4. Desde el cliente SAM 5620 o el software NEM compruebe que no haya alarmas activadas en la BBU 9926.



Figura 4.13 Módulos de la BBU 9926. Vista frontal.

La BBU 9926 trabaja normalmente con tres rectificadores de poder para operar con W-CDMA. Para su actualización a LTE es necesario aumentar un módulo bCEM-U, por esto es recomendable adicionar un rectificador más para contar con respaldo suficiente.

Una vez terminada la construcción de la obra civil: adecuación del sitio, tuberías y estructura de la torre; la instalación eléctrica: iluminación del sitio, energización y respaldo de todos los equipos; y la instalación de los equipos de telecomunicaciones, el contratista hace la entrega del nodo a CNT EP. Para lo cual se reúnen los trabajadores responsables por parte de Alcatel, con los fiscalizadores de CNT para cada una de las obras: civil, eléctrica y telecomunicaciones.

Los principales aspectos revisados en la recepción de las instalaciones de telecomunicaciones del nodo son:

- Existencia y correcto ajuste de todos los pernos de los equipos.
- Correcta alimentación eléctrica (en caso de que el encargado de telecomunicaciones se haya ocupado de la energización de los equipos), esto incluye cumplimiento de normas de cableado estructurado, aterramiento de los equipos, estructuras y gabinetes; adicionalmente se revisan los colores de los cables.
- Etiquetado de cables. Tanto de energía como de datos.



- Correcta conexión de cables (en este caso de fibra óptica) desde los equipos MPLS (desde la red) y hacia los equipos RRH.
- Luego de esto se conecta la PC con el software NEM, para revisar el correcto funcionamiento de las alarmas.

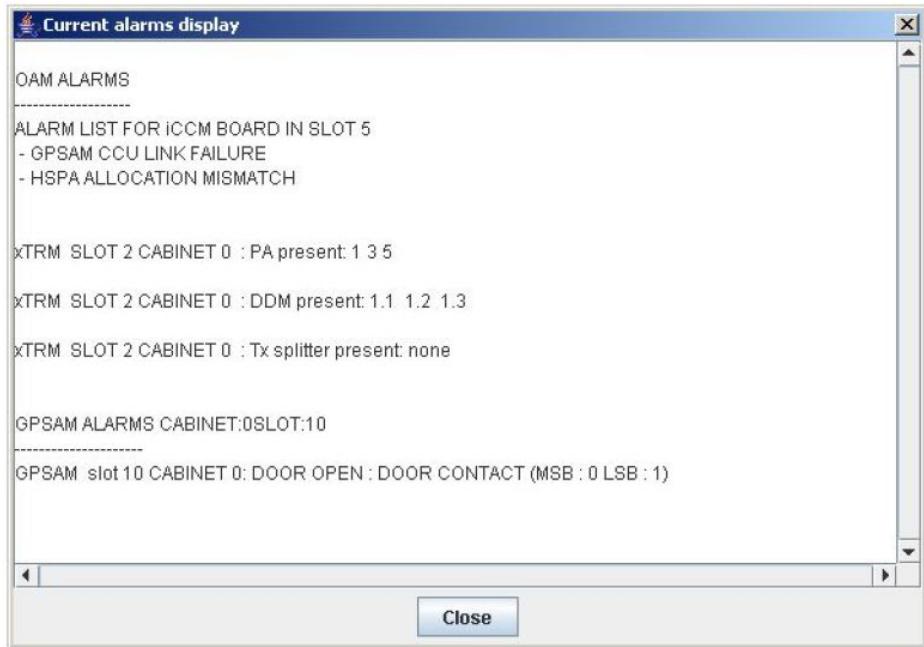


Figura 4.14 Ventana de alarmas en la aplicación TIL para la BBU 9926.

En la figura 4.14 podemos observar la ventana en la que son presentadas las distintas alarmas de la BBU. Existen *prioridades* de alarma y todas son configurables, en rangos de valores y demás parámetros. Así las alarmas fiscalizadas (prioritarias) para la entrega del nodo son:

Código	Razón	Prioridad	Observaciones
Alarma 1	Falla en suministro de corriente alterna (AC).	Mayor	Falla el suministro eléctrico y entra en funcionamiento el respaldo de baterías.
Alarma 2	Falla de rectificadores de corriente.	Mayor	Fallan varios rectificadores. Insuficiencia de respaldo. Vulnerable a daños por picos de corriente.
Alarma 3	Alerta de temperatura muy alta de la BBU.	Mayor	La temperatura de la BBU es elevada pero sigue en funcionamiento.
Alarma 4	Puerta del gabinete abierta.	Menor	
Alarma 5	Falla de rectificadores de corriente.	Menor	Falla un rectificador de corriente.
Alarma 6	Puerta del banco de baterías abierta.	Menor	
Alarma 7	Falla en contacto de	Mayor	Falla en contacto o suministro



	corriente continua (DC).		de corriente continua.
--	-----------------------------	--	------------------------

Tabla 4.6 Alarmas emitidas por la BBU.





5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Consideramos importante la elaboración de una planificación para la expansión de la red de un operador móvil. Muchas veces los operadores despliegan y expanden sus redes sin la debida planificación y esto puede traer, entre otros, problemas de velocidades de transferencia, falta de cobertura o capacidad, interferencia, etc. El levantamiento de los nodos de telefonía celular en nuestro medio se ve muchas veces retrasado por la obtención de permisos municipales o la socialización del operador a los habitantes del sector.
2. Es importante establecer los principales criterios para la planificación de una red de acceso a radio, como son: el dimensionamiento de la red, la planificación de cobertura, la planificación de capacidad, el modelo de propagación, los requerimientos del operador y de los usuarios, etc.
3. El proceso inicial es el dimensionamiento de la red, en éste se basa la planificación de cobertura y luego la planificación de capacidad. Es importante definir previamente con el operador si su prioridad es brindar mayor cobertura, o mayor capacidad, ya que en la ecuación 32, que define la pérdida de potencia promedio entre la Estación Base y la Estación Móvil observamos que la pérdida de potencia es inversamente proporcional a la capacidad de transferencia requerida por los usuarios. Y como el radio de celda depende de la pérdida máxima permitida, podemos decir de las Figuras 3.37, 3.38 y 3.39 que a mayores pérdidas entre la Estación Base y el Equipo de Usuario, menor capacidad de transferencia (y viceversa), y un nivel alto de pérdidas máximas permitidas, permite una mayor distancia de enlace (radio de celda), que se traduce en una mayor cobertura. Este fenómeno se define como el *efecto de respiración de celda*.
4. El dimensionamiento de la red se enfoca en definir las pérdidas de potencia en los enlaces de subida y de bajada entre la Estación Base y la Estación Móvil, con éstas pérdidas es posible predecir el radio de la celda empleando un modelo de propagación que se adapte a las condiciones del proyecto como frecuencia de operación, topografía del sitio, etc.



5. En este caso de estudio, tratamos con un caso especial de un área suburbana, en el que una celda es suficiente para brindar el servicio debido al tamaño del área que se pretende cubrir, y a la topografía del terreno; además, al tener un factor de reúso de frecuencia igual a uno, por lo que no abordamos la planificación de frecuencias. Este aspecto es mucho más importante cuando se trata de sitios urbanos, en los que se trata con celdas adyacentes y es necesario reutilizar las bandas de frecuencia y prevenir interferencias, debido a la mayor densidad poblacional, se emplean celdas más pequeñas, con el fin de proveer mayor capacidad.
6. Las pérdidas calculadas por la variación de carga y las calculadas en el Link Budget del enlace de bajada son muy similares, por lo que los radios de celda también se aproximan.
7. De las gráficas del capítulo tres determinamos que la cobertura está limitada por el nivel de carga en el enlace de subida, mientras que la capacidad está limitada por la carga en el enlace de bajada. Esto es debido principalmente a la diferencia de potencia en los transmisores en cada enlace, pues para el enlace de subida, el terminal de usuario transmite con una potencia aproximada de 250 mW, mientras que para el enlace de bajada la Estación Base divide su potencia máxima de transmisión (40 W) entre todos los usuarios conectados y los canales de control.
8. Según el análisis de información de abonados en el Capítulo 3, en el cantón Suscal los resultados no justifican la instalación de una estación base; sin embargo la visión de la empresa es ser la empresa líder de telecomunicaciones del país por el servicio a la sociedad, por lo que el instalar la estación base en esta localidad sería considerado un plan estratégico de expansión de red.
9. La herramienta de software utilizada para las simulaciones correspondientes fue ATOLL. Se realizaron comparaciones entre varias opciones de cobertura y nivel de señal. ATOLL es un software bastante extenso y completo para la simulación de cobertura, es capaz de predecir enlaces en distintos escenarios y situaciones, por lo que sus predicciones se aproximan a la realidad. Recomendamos la lectura



previa de la guía de usuario, pues este software requiere de muchos parámetros para su correcta aplicación.

10. Para determinar las zonas en las que la radiación de energía de las antenas afecta a la población, se puede decir, basándonos en el reglamento de la CONATEL, que para que la radiación de las antenas afecten a una persona, ésta debe estar ubicada a centímetros de la antena, lo cual es improbable que suceda debido a que las antenas están sujetas en una torre de 40 metros de altura y el acceso a la estación bases y torre son restringidos. Los operadores que se exponen a estas radiaciones tienen un límite de tiempo de exposición para no verse afectados por las mismas.
11. Para la implementación de LTE en la localidad de Suscal, existen tres alternativas de evolución. La primera es actualizar y agregar los módulos correspondientes en la BBU y operar con LTE en las mismas bandas de frecuencia que se hacía en WCDMA. La segunda opción es remplazar los elementos de red existentes (módulos de la BBU, RRH, antenas) por los correspondientes para LTE, pasando a brindar un servicio únicamente de cuarta generación en una banda diferente de la de 3G. La tercera opción es de *agregar* todos los equipos de LTE, de manera que la estación base opere con WCDMA y LTE.
12. Este proyecto resume brevemente el proceso de evolución del nodo a tecnología de cuarta generación; sin embargo, no constituye una guía de actualización como tal, y debe ser ejecutado por personal debidamente calificado.





6 GLOSARIO, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

6.1 Glosario

3GPP (3rd Generation Partnership Project). Es una colaboración entre grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como Miembros Organizativos. El enfoque inicial de 3GPP fue hacer globalmente aplicables los sistemas de tercera generación basados en GSM evolucionado. El enfoque posteriormente incluye el desarrollo y mantenimiento de:

- Tecnologías de acceso de radio a GSM, GPRS, EDGE.
- Evolución de sistemas móviles de tercera generación con redes de núcleo y acceso a radio basados en 3GPP.
- Un sistema evolucionado multimedia IP.

AMPS (Advanced Mobile Phone Service). Es un sistema estándar para servicio de telefonía celular de señal analógica en los Estados Unidos y es también usada en otros países. Está basado en la asignación de espectro radioeléctrico inicial para servicio celular por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) en 1970. Introducido por AT&T en 1983, AMPS se convirtió en el sistema celular desplegado más utilizado de los Estados Unidos en las frecuencias de 800 y 900 MHz.

BB (Baseband Board). O también llamado eCEM-U, representa la unidad de hardware que soporta la función de procesamiento en banda base. Cada eCEM-U se relaciona con un solo sector. Por lo tanto, un eNodoB triseccional contiene tres de estas tarjetas, mientras que un eNodoB simple contiene sólo una tarjeta eCEM-U.

BLER (Block Error Ratio). Es la relación de errores de bloques, o de bloques erróneos en una transmisión. Se define como la relación del número de bloques erróneos recibidos, al número total de bloques enviados.

Bloque de transporte. Es la unidad básica de transferencia de datos entre las capas física (L1) y MAC (L2) y comprime una PDU MAC (unidad de datos de protocolo).

CB (Carrier/Controller Board). Tablero de Portadora, o tablero controlador. Representa la tarjeta madre en el D2U. Es un objeto contenedor que representa todos los componentes albergados en la tarjeta madre tales como el CPU que ejecuta el software de control de OAM y Procesamiento de llamadas, la unidad de procesamiento de red, el conmutador de CPRI, conmutador GigE y SRIO, memoria flash, oscilador opcional, receptor de GPS opcional y varios otros dispositivos.

CDMA (Code Division Multiple Access). CDMA hace referencia a muchos de varios protocolos usados en comunicaciones de segunda y tercera generación. Como el término lo indica, es una forma de multiplexación, que permite que numerosas señales ocupen un solo canal de transmisión, optimizando el uso



del ancho de banda. Es utilizada en sistemas en las bandas de 800 y 1.900 MHz. Emplea una conversión analógica-digital en combinación con tecnología de espectro disperso; digitaliza el audio en elementos binarios de manera que sólo puede ser interceptado por el receptor cuya respuesta de frecuencia está programada de acuerdo al mismo código. Existen trillones de posibles códigos de secuencia de frecuencia, mejorando la privacidad y dificultando la clonación de receptores.

Celda MO. Representa una portadora LTE en un sector en el eNodoB local. Una celda es soportada por un tablero de banda base (BB) y un sector. El BB genera una señal digital basada en los parámetros de configuración asociados con la celda. La señal digital generada por el BB alimenta el RFM que soporta el sector asociado con la celda.

Control de potencia de lazo interno. También llamado control de potencia de lazo cerrado rápido; en el enlace de subida es la habilidad del transmisor del equipo de usuario, de ajustar su salida de potencia de acuerdo a uno o más comandos del Control de Potencia de Transmisión (TPC) recibidos en el enlace de bajada, con el fin de mantener la Relación Señal a Interferencia (SIR) recibida en el enlace de subida a una SIR dada. El transmisor del equipo de usuario es capaz de cambiar la potencia de salida en pasos de 1, 2 y 3 dB inmediatamente después de recibir el comando de TPC. La frecuencia de control de potencia de lazo interno es 1.500 Hz.

D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System). Despues del lanzamiento de AMPS, muchas de estas redes fueron parcialmente convertidas a D-AMPS, con frecuencia referidas a ellas como TDMA (aunque TDMA es un término genérico que encierra muchas tecnologías celulares). D-AMPS fue un estándar digital 2G usado principalmente en América del Norte y algunos países de América Latina.

Densidad de ruido térmico. Cantidad de potencia del ruido existente por hertzio. Se expresa en W/Hz o dB/Hz. La potencia del ruido es proporcional al ancho de banda. Es posible definir una ecuación generalizada para la potencia del ruido en un ancho de banda dado como:

$$P = \frac{V^2}{4R}$$
$$V = 4kT \int_{f1}^{f2} R dF$$

Donde

k = constante de Boltzman ($1,3803 \cdot 10^{-23}$)

V = Voltaje RMS integrado entre las frecuencias $f1$ y $f2$.

R = Componente resistivo de la impedancia (o resistencia).

T = Temperatura en grados Kelvin.

$f1$ y $f2$ = Límites inferior y superior del ancho de banda requerido.



Resolviendo la integral y remplazando en la ecuación de potencia, tenemos que:

$$P = kTB [W/Hz]$$

De aquí que, considerando un ancho de banda B de 1Hz ($f_2 - f_1 = 1$ Hz). Y una temperatura de 190°K (temperatura ambiente de 17°C),

$$P = (1,3803 * 10^{-23})(290)(1)$$

$$P = 4,00287 * 10^{-18} \frac{mW}{Hz}$$

$$P = -173.976285 dBm$$

Desvanecimiento rápido. Ocurre cuando el tiempo de coherencia (medida del tiempo mínimo requerido para el cambio de magnitud o fase del canal para ser no-correlacionado) del canal es pequeño en relación a la restricción de retardo del canal.

Drive test: es un examen efectuado en las redes celulares, independientemente de su tecnología (GSM, CDMA, UMTS, LTE). Medios para recoger datos sobre la circulación de vehículos. Su variación también ha definido de prueba de paseo intuitivo, o caminar para recoger datos para las áreas de interés.

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution). Es una versión más rápida del servicio inalámbrico GSM diseñada para el transporte de multimedia y otras aplicaciones de banda angosta para usuarios en teléfonos móviles y computadoras. Está basado en el estándar GSM usando la misma estructura de tramas y arreglo de celdas TDMA.

ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Es una organización sin fines de lucro que establece estándares de telecomunicaciones para Europa. Las directrices de ETSI son voluntarias y casi siempre cumplen con normas producidas por organismos internacionales.

EPC (Evolved Packet Core). Núcleo de paquetes evolucionado. Núcleo de red basado en IP, definido en la versión 8 del 3GPP para ser usado por tecnologías como LTE. Provee un núcleo de red de arquitectura IP simplificada para dar acceso eficientemente a otros servicios provistos en IMS (IP Multimedia Subsystem). Consiste esencialmente en un gestor de MMEs y enrutamiento de datagramas de usuario.

Figura de ruido. Índice que referencia la degradación de la señal a ruido conforme la señal se propaga por un sistema. Es la relación de señal de ruido de entrada a la señal de ruido de salida. Para un sistema no ruidoso, esta relación es igual a 1 y su potencia es de 0 dB.

Ganancia de procesamiento. En un sistema de espectro disperso, es la relación de ensanchamiento (o RF) de ancho de banda a des-ensanchamiento

Walter Chauca

Diego Méndez



de ancho de banda. Usualmente expresado en dB. Por ejemplo, si una señal de 1 KHz es ensanchada a 100 KHz, la ganancia de procesamiento será la relación $100.000/1.000 = 100$. Es decir 20 dB.

Ganancia de soft-handover. Ganancia que se da por el estado de soft-handover en el que el móvil se encuentra en medio de dos o más celdas. Tiene relación directa con el control de potencia y aunque este control no es tan crucial en el enlace de bajada como en el enlace de subida, tiene una influencia significativa en la ganancia de soft-handover.

GSM (Global System for Mobile Communications). Es un sistema digital de telefonía móvil ampliamente usado en Europa y otras partes del mundo. GSM usa una variación de TDMA y es la más ampliamente utilizada de las tres tecnologías digitales de telefonía inalámbrica (TDMA, GSM y CDMA). GSM digitaliza y comprime los datos, entonces envía un canal junto con otros dos flujos de datos de usuarios, cada uno en un slot de tiempo. Opera en las bandas de 900 y 1.800 MHz.

GPRS (General Packet Radio Service). Es un servicio de comunicación inalámbrica basado en paquetes, que ofrece tasas de datos desde 56 a 114 kbps y una conexión a internet libre de interrupciones para teléfonos móviles y usuarios de computadoras. Está basado en GSM y complementa otros servicios como SMS (Short Message Service).

HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data). Es transmisión de datos inalámbrica intercambiada por circuitos de alta velocidad para usuarios móviles a tasas de datos hasta de 38,4 kbps, cuatro veces más rápido que las tasas de datos de GSM en 1999.

IMTS-2000 (International Mobile Telecommunications-2000). Proyecto que reúne estándares de 3G de la ITU, entre ellos están TDMA de portadora simple (IMT-SC); CDMA de portadora múltiple (IMT-MC); CDMA de propagación directa (IMT-DS); CDMA TDD (IMT-TC); FDMA/TDMA (IMT-FT); IP-OFDMA; etc.

ISDN (Integrated Services Digital Network). Es un conjunto de estándares de la ITU para la transmisión digital sobre cable de cobre de telefonía ordinaria, así como otros datos. Un adaptador ISDN que se conecta a una línea telefónica en lugar del módem telefónico, recibe datos hasta 128 kbps. Esta tecnología fue desplazada poco a poco por DSL y actualmente se está obsoleta.

ITU (International Telecommunications Union). La unión internacional de telecomunicaciones es una agencia de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializada en las telecomunicaciones, que es responsable de los problemas que conciernen a las tecnologías de la información y comunicación.

Latencia: refiere a los retardos temporales que se registran en una red.

Margen de desvanecimiento logarítmico-normal (log-normal fading margin). O también llamado “log-normal shadowing”. Los modelos estadísticos de pérdidas por trayectoria proveen un estimado de la pérdida media por



trayectoria como una función de la distancia, la frecuencia, y la altura de la antena. Experimentalmente se ha encontrado que la pérdida de trayectoria en ambientes multirayos desordenados está distribuido logarítmico-normalmente. Esto significa que el logaritmo de la pérdida por trayectoria (pérdida expresada en dB) tiene una distribución normal. Ya que tiene una distribución normal, está definido por dos parámetros: la media y la varianza.

Una explicación para la distribución de sombra logarítmico-normal es que para cualquier trayecto hay muchos factores contribuyendo a la pérdida por trayectoria total (combinaciones de pérdida en el espacio, difracciones, reflexiones, transmisiones, etc.). Cada una de estas es una variable aleatoria. La pérdida total expresada en dB será la suma de todas estas pérdidas (cada una en dB). El teorema del límite central establece que la distribución de la pérdida total (en dB) tenderá a una distribución normal.

Margen de desvanecimiento rápido. O control de potencia por cabeza (usuario). Este control de potencia es necesario en las estaciones móviles para mantener un adecuado control de potencia rápida de lazo cerrado. Esto se aplica especialmente a móviles pedestres de movimiento lento donde el control rápido de potencia es capaz de compensar efectivamente el desvanecimiento rápido. Los valores típicos para márgenes de desvanecimiento rápido son de 2,0 a 5,0 dB para móviles en movimiento lento.

Margen de interferencia. El margen de interferencia representa el aumento en el nivel de ruido del terminal, causado por la interferencia de otros usuarios, es necesario en el Link Budget por la carga de la celda, el factor de carga afecta la cobertura: Mientras más carga permite el sistema, mayor es el margen de interferencia necesario en el enlace de subida, y el área de cobertura es más pequeña. Para casos limitados por cobertura se sugiere un margen de interferencia más pequeño. Los valores típicos para el margen de interferencia en casos limitados por cobertura son 1,0 – 3,0 dB, que corresponde a un 20 - 50% de carga máxima.

Minuta. Borrador que se hace de un escrito, especialmente de un contrato, antes de redactarlo definitivamente.

MME (Mobility Management Entity). Entidad de gestión de movilidad. Es el nodo de señalización principal en el EPC. Es responsable del *paging* (registro de un usuario en la celda) y la autenticación del dispositivo móvil. También juega un papel importante en la señalización de handover entre las redes LTE y las redes 2G/3G.

NEM (Network Element Manager). Gestor de elementos de red.

NMT (Nordic Mobile Telephony). Es el primer sistema celular telefónico completamente automático en 1981. Está basado en tecnología analógica (1G) y opera en las bandas de frecuencia de 450 y 900 MHz. Las especificaciones eran libres y abiertas, dejando que muchas compañías produjeran hardware NMT obligando a bajar los precios. Su éxito se debió a Nokia y Ericsson.



OAM (Operation, Administration and Management). Operación, administración y mantenimiento.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Es un método de modulación digital en el cual la señal se divide en varios canales de banda angosta a diferentes frecuencias. Es similar a la multiplexación por división de frecuencia (FDM), la diferencia está en la forma en la que las señales son moduladas y demoduladas. La prioridad está en minimizar la interferencia o el ruido, entre canales y símbolos, comprimiendo los flujos de datos. Le da menos importancia a perfeccionar canales individuales.

OMC (Operations and Maintenance Center). Centro de operaciones y mantenimiento.

PC NEM. Portátil de soporte, también referida como LMT (Local Management Terminal), que incluye el software necesario y otros datos para dar soporte al remplazo y/o actualización de un eNodoB en el campo.

PDC (Personal Digital Cellular). Es una tecnología de segunda generación usada en sistemas digitales de telefonía celular en Japón. Utiliza una variación de TDMA y opera en las bandas de 800 y 1.500 MHz, haciendo un uso eficiente del ancho de banda disponible.

Pérdidas en el auto. Pérdidas por movimiento en velocidades considerables. En modelos de propagación se consideran máximos de 8 dB para velocidades de hasta 120 km/h.

Pérdida en el cuerpo. Pérdida de potencia en la transmisión del equipo del usuario causada por la absorción del cuerpo del usuario. Más común en el servicio de voz, cuando el equipo está pegado al cuerpo del usuario.

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE). Es una medida de la cantidad de potencia que emite una antena transmisora. Se calcula tomando en cuenta la potencia del transmisor, la ganancia de la antena, las pérdidas en los cables, conectores y pérdidas varias.

RFM (Radio Frequency Module). Módulo de frecuencia de radio. Representa el RRH, TRDU, o R-OCM. El RFM usa la interfaz CPRI para comunicarse con la BBU mediante puertos CPRI en la eCCM-U.

ROAMING. Es la capacidad de cambiar de un área de cobertura a otra sin interrupción en el servicio o pérdida en conectividad. Permite a los usuarios seguir utilizando sus servicios de red inalámbrica cuando viajan fuera de la zona geográfica en la que contrataron el servicio.

RRH (Remote Radio Head). Cabeza de radio remota. Es un panel de control de radio de operador que conecta al transceptor (transmisor y receptor) de radio remoto eléctricamente o por una interfaz inalámbrica. En sistemas de telefonía inalámbricos éste equipo es remoto a la estación base/eNodoB, se usa para extender la cobertura en áreas rurales o en túneles. Generalmente se conectan a la estación con fibra óptica y usa protocolos CPRI. Contiene la



circuitería de la estación base que convierte las señales analógico-digital/digital-analógico para los enlaces de subida y bajada.

Ruido térmico. Se denomina al ruido producido por el movimiento de electrones en los elementos de circuitería, ya sean conductores, semiconductores, inductores, etc. Se trata de ruido blanco, por lo que está distribuido uniformemente en el espectro de frecuencias.

S1 MO. Representa la conexión del plano de control S1-C a un par MME en la red LTE. Un eNodoB puede tener conexiones S1-C a múltiples MMEs. Las conexiones del plano de usuario S1-U a las MMEs o SGWs no son monitoreadas por este MO.

Sensibilidad de receptor. Potencia mínima que requiere un receptor para recibir señales transmitidas. También llamada Potencia de Umbral.

SIM (Subscriber Identity Module). Es una pequeña tarjeta que almacena datos de los suscriptores de telefonía celular GSM. Estos datos incluyen la identidad del usuario, su ubicación y el número de teléfono, datos de autorización de la red y mensajes de texto almacenados.

SLOT. Un slot de tiempo es un intervalo destinado para la transmisión de información. Mientras un slot en un dispositivo electrónico es una ranura de interconexión para tarjetas adicionales al equipo o tarjeta que posee la ranura.

TACS (Total Access Communication System). Es una variante de AMPS que está en su mayoría obsoleto. Fue anunciado como la opción para los dos primeros sistemas celulares nacionales de Reino Unido en febrero de 1983. Opera en las bandas de los 900 MHz.

TDMA (Time Division Multiple Access). Es una tecnología usada en comunicaciones digitales de telefonía celular que divide cada canal celular en tres slots de tiempo para incrementar la cantidad de datos que se pueden transportar. Es utilizado por D-AMPS, GSM y PDC. Cada uno de estos sistemas implementa TDMA en una forma diferente y potencialmente incompatible.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Es un sistema de transmisión de texto, voz digitalizada, video y datos multimedia, basado en paquetes, de tercera generación (3G) a tasas de datos de hasta 2 Mbps. Está basado en GSM.

UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network). Es un término que refiere a Nodos B y Controladoras de Red de Radio (RNC) en una red de acceso UMTS. Puede transportar varios tipos de datos de conmutadores circuitados a conmutadores de paquetes basados en direcciones IP. Este segmento de red permite la conexión del Equipo de Usuario (UE) y la red de núcleo.

UWCC (Universal Wireless Communication Consortium). Consorcio Universal de Comunicaciones Inalámbricas. Fue una asociación profesional de



compañías de comunicaciones inalámbricas que operaba en América. Fundado en 1996 y disuelto en 2001 cuando su misión de promover la tecnología TDMA se consideró completa.

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Es un estándar de la ITU derivado de CDMA, y oficialmente conocido como IMT-2000 de dispersión directa. WCDMA es una tecnología de tercera generación que ofrece velocidades de datos mucho más altas para dispositivos inalámbricos móviles y portátiles. Soporta comunicaciones en velocidades hasta 2 Mbps (acceso de área local) o 384 kbps (acceso de área amplia), usando una portadora de 5 MHz, comparada con la de 200 kHz de CDMA de banda angosta.

X2 MO. Representa la conexión del plano de control X2-C a un eNodeB adyacente en la red LTE. Un eNodeB puede tener conexiones X2-C a múltiples eNodeBs adyacentes. Las X2-U son las conexiones en plano de usuario a los eNodeBs, no son monitoreadas por este MO.

6.2 Bibliografía

¿Qué significa Roaming? - Definición de Roaming. (2003). Obtenido de <http://www.masadelante.com/faqs/roaming>

Alcatel-Lucent. (Enero de 2008). Alcatel-Lucent 9341 RRH40-21 Specsheets. París, Francia.

Alcatel-Lucent. (Septiembre de 2008). W-CDMA Alcatel-Lucent 9341 Remote Radio Head Technical Description. París, Francia.

Alcatel-Lucent. (2009). LTE Mobile Transport Evolution.

Alcatel-Lucent. (2009). Realizing LTE. *Understanding the Challenges and Planning for LTE Introduction.*

Alcatel-Lucent. (2010). Alcatel-Lucent 9926 Digital 2U eNodeB Base Band Unit.

Alcatel-Lucent. (2013). 9952 Wireless Provisioning System. Obtenido de <http://www.alcatel-lucent.com/products/9952-wireless-provisioning-system>

CONATEL. (2005). *RESOLUCION 01-01-CONATEL-2005.* Quito.

CONATEL. (2012). *Plan Nacional de Frecuencias.* Quito.

CONATEL. (2012). *TEL-804-29-CONATEL-2012.* Quito.

CONATEL. (s.f.). *Reglamento para el servicio de telefonía móvil celular.* Quito.

Escudero, L. (2011). *UMTS - TierradeLázaro.* Obtenido de www.tierradelazaro.com/cripto/UMTS.pdf

ETSI. (2011). *ETSI TS 125 306.*



-
- GSMA. (2009). La Banda de 2,6GHz.
- Hurtado, C. G. (2011). *Estudio de Factibilidad para la implementacion de LTE en el Ecuador*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- John Wiley & Sons. (2007). *Advanced Cellular Network Planning and Optimisation* (Primera ed.). (A. Mishra, Ed.) Chichester, Inglaterra: Wiley Editorial. Recuperado el 2014
- John Wiley & Sons. (2007). *WCDMA for UMTS - HSPA evolution and LTE* (Cuarta ed.). (H. Holma, & A. Toskala, Edits.) Chippenham, Inglaterra: Wiley Editorial. Recuperado el 2014
- Korhonen, J. (2003). *Introduction to 3G Mobil Communications* (Segunda ed.). Norwood, Massachusetts, Estados Unidos: Artech House. Recuperado el Diciembre de 2014
- (210). *LTE_Introduction_into_GSM-UMTS_Networks*.
- Motorola. (2006). *MotorolaSolutions*. Obtenido de http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTRBO/Mobiles/_Documents/Spanish/StaticFiles/MOTOTRBO.pdf
- Norfipc. (2014). *Las redes de transmisión de datos usados en los teléfonos celulares*. Obtenido de <http://norfipc.com/celulares/redes-transmision-datos-usadas-telefonos-celulares.php>
- PDC (Personal Digital Cellular) - Mobile Communications Technology. (2015). Obtenido de <http://www.mobilecomms-technology.com/projects/pdc/>
- Pinguil, A. M. (s.f.). *Plan de Trabajo GADM Suscal*. Suscal.
- Poole, I. (s.f.). *Thermal Noise Calculator*. Obtenido de <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/noise/thermal-calculations.php>
- Reyes, F. (2014). Obtenido de <http://www.felipereyesvivanco.com>
- Rodriguez, S. I. (2009). *Modelo de calidad de servicio para una red de datos HSDPA para el entorno local*. Santiago: Universidad de Chile.
- Salmeron, V. M. (2010). *Ejemplo de disenos e implementacion de una estacion base GSM/UMTS*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- (s.f.). *Seminario: antenas para sistemas de telecomunicaciones, Universidad Tecnologica Nacional, Facultad Regional Haedo*.
- Supertel. (2012). Evolucion de la Telefonía Movil en Ecuador. *SUPERTEL*.
- SUPERTEL. (s.f.). *Supertel*. Obtenido de <http://www.supertel.gob.ec/index.php/noticias/item/114-operadoras-de-telefonia-movil-cumplieron-con-parametros-minimos-de-calidad-en-la-region-costa>



TechTarget. (Septiembre de 2005). *What is ETSI (European Telecommunications Standards Institute)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/ETSI>

TechTarget. (Septiembre de 2005). *What is High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/High-Speed-Circuit-Switched-Data>

TechTarget. (Septiembre de 2005). *What is ISDN (Integrated Services Digital Network)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchenterprisewan.techtarget.com/definition/ISDN>

TechTarget. (Septiembre de 2005). *What is W-CDMA (Wideband Code-Division Multiple Access)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/W-CDMA>

TechTarget. (Junio de 2006). *What is Advanced Mobile Phone Service (AMPS)?* *Definition from WhatIs.com.* Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/Advanced-Mobile-Phone-Service>

TechTarget. (Abril de 2006). *What is orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/orthogonal-frequency-division-multiplexing>

TechTarget. (Noviembre de 2006). *What is SIM card?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/SIM-card>

TechTarget. (Noviembre de 2006). *What is TDMA (time division multiple access)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/TDMA>

TechTarget. (Junio de 2006). *What is UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/UMTS>

TechTarget. (Mayo de 2007). *What is EDGE (Enhanced Data GSM Environment)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/EDGE>

TechTarget. (Mayo de 2007). *What is GPRS (General Packet Radio Services)?* - *Definition from WhatIs.com.* Obtenido de <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GPRS>

TechTarget. (Mayo de 2007). *What is GSM (Global System for Mobile communication)?* - *Definition from WhatIs.com.* Recuperado el Febrero de 2015, de <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GSM>



TechTarget. (Agosto de 2009). *What is CDMA (Code-Division Multiple Access)?*

- *Definition from WhatIs.com.* Recuperado el Febrero de 2015, de
<http://searchtelecom.techtarget.com/definition/CDMA>

TechTarget. (Marzo de 2011). *What is discontinuous transmission? - Definition from WhatIs.com.* Obtenido de

<http://whatis.techtarget.com/definition/discontinuous-transmission-DTX>

TelecomHall. (2014). *TelecomHall ES.* Obtenido de

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

Telecomhall. (s.f.). *telecomhall.* Obtenido de

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

TelecomSource. (Octubre de 2011). *What is BLER in UMTS.* Obtenido de

<http://www.telecomsource.net/showthread.php?6062-WHAT-IS-BLER-in-UMTS>

Telecomunicaciones, U. I. (Diciembre de 2004). *Serie K: Protección contra las interferencias.* Obtenido de <http://www.satfam.org/pdf/K.52.pdf>

Teletopix. (Febrero de 2013). *Definition of LTE Interference Margin.* Obtenido de <http://www.teletopix.org/4g-lte/definition-of-lte-interference-margin/>

Tipper, D. (2012). *University of Pittsburgh.* Obtenido de

http://www.pitt.edu/~dtipper/2720/2720_Slides9.pdf

Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS*. Finlandia: John Wiley.

umtsworld. (s.f.). *UMTS.* Obtenido de

<http://www.umtsworld.com/technology/wcdma.htm>

Vásquez Alarcón, V. G., & Guevara Toledo, A. P. (2013). *Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica.* Cuenca: Universidad de Cuenca.

Velarde, E. (s.f.). *Introducción a UMTS.*

Walke, B., Seidenberg, P., & Althoff, M. P. (2003). *UMTS The Fundamentals* (Primera ed.). Aachen, Alemania: Wiley Editorial.

What is EPC? - FAQs - Ask the Expert! - LTE University. (Noviembre de 2008).

Obtenido de

http://lteuniversity.com/ask_the_expert/b/ltefaqs/archive/2008/11/03/what-is-epc.aspx

What is MME? - FAQs - Ask the Expert! - LTE University. (Noviembre de 2008).

Obtenido de

http://lteuniversity.com/ask_the_expert/b/ltefaqs/archive/2008/11/03/what-is-mme.aspx



- Wikipedia. (Julio de 2010). *UWCC - Wikipedia*. Obtenido de
http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Wireless_Communications_Consortium
- Wikipedia. (Diciembre de 2014). *CPRI - Wikipedia*. Obtenido de
http://en.wikipedia.org/wiki/Common_Public_Radio_Interface
- Wikipedia. (23 de Julio de 2014). *Nordic Mobile Telephone - Wikipedia*. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de
http://en.wikipedia.org/wiki/Nordic_Mobile_Telephone
- Wikipedia. (Abril de 2014). *Process gain - Wikipedia*. Obtenido de
http://en.wikipedia.org/wiki/Process_gain
- Wikipedia. (27 de Septiembre de 2014). *Total Access Communication System - Wikipedia*. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de
http://en.wikipedia.org/wiki/Total_Access_Communication_System
- Wikipedia. (Febrero de 2015). *3GPP - Wikipedia*. Obtenido de
<http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP>
- Wikipedia. (10 de Febrero de 2015). *Advanced Mobile Phone System - Wikipedia*. Recuperado el Febrero de 2015, de
http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Mobile_Phone_System#Digital_AMPS
- Wikipedia. (Marzo de 2015). *Fading - Wikipedia*. Obtenido de
http://en.wikipedia.org/wiki/Fading#Slow_versus_fast_fading
- Wikipedia. (Marzo de 2015). *UMTS Terrestrial Radio Access Network - Wikipedia*. Obtenido de
http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_Terrestrial_Radio_Access_Network
- Wiley. (2011). *LTE: The UMTS Long Term Evolution*. Reino Unido.
- Wireless Network Evolution: 2G to 3G (Primera ed.). (2007). India: Pearson Education. Recuperado el Diciembre de 2014, de
<http://books.google.com.ec/books?id=C3bgCCxHqvIC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- World, U. (2003). *UMTS Power Control - UMTSWorld.com*. Obtenido de
<http://www.umtsworld.com/technology/power.htm>
- Yanes, L. A. (2013). *Planificación de Redes LTE*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.



6.3 Anexos

ANEXO 1: HOJA DE DATOS DE LA ANTENA

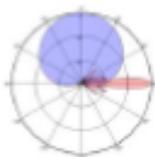
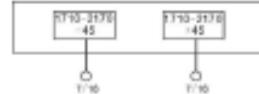


XPol 1710~2170MHz 65° 17.8dBi Adjustable Electrical Downtilt Antenna,
Manual or by optional RCU (Remote Control Unit)

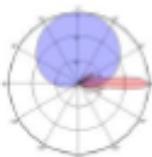
Electrical specifications			
Frequency range (MHz)	1710~1880	1850~1990	1920~2170
Polarization		±45°	
Gain (dBi)	17.3	17.5	17.8
Electrical downtilt (°)	0~10	0~10	0~10
Half-power beam width (°)	Horn:66 Vert:7.5	Horn:65 Vert:6.7	Horn:64 Vert:6.3
Sidelobe suppression (dB) (First sidelobe above main beam)	0°...5°...10° 16...16...16	0°...5°...10° 16...16...16	0°...5°...10° 16...16...15
Front-to-back ratio (dB)	≥25		
Isolation (dB)	≥30		
Cross-polar ratio (dB)	≥15(± 60° Typically≥10)		
Impedance (Ω)	50		
VSWR	≤1.5		
Intermodulation IM3 (2x43dBm carrier)	≤-150 dBc		
Maximum input power (W)	300		
Lightning protection	DC Ground		



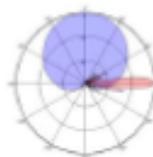
Mechanical specifications	
Connector	2x7/16DIN-Female
Connector position	Bottom
Height×width×depth (mm)	1360×160×80
Packing size (mm)	1855×215×160
Antenna weight (kg)	7.8
Installation kit weight (kg)	2.7
Packing weight (kg)	11.8
Wind loading area (m ²)	0.22
Max. wind velocity (m/s)	60
Reflector material	Aluminum Alloy
Radome material	Fiberglass
Radome color	Gray
Mechanical tilt (°)	0~15
Operating temperature (°C)	-50~65
Mounting hardware (mm)	Φ50~Φ115



1710~1880 MHz



1850~1990 MHz



1920~2170 MHz

This publication is issued to provide information only and is not to form part of any order or contract.
Tongyu reserves the right to change specifications without prior notice.
The latest version is available at www.tongyu.com

Tongyu Communication Inc.
Tel: +86-760-85108111 Fax: +86-760-85594662
www.tongyu.com Email: admin@tongyu.com



ANEXO 2: CÁLCULOS EN EXCEL



Link Budget. Enlace de subida (UL). Servicio de voz.

Parámetro	Valores en escenarios			Unidad	Operación
	Interior	Exterior	En auto		
Transmisor: Equipo Móvil					
Potencia de transmisión máxima	21,00	21,00	21,00	dBm	a
Ganancia de la antena	0,00	0,00	0,00	dBi	b
PIRE	21,00	21,00	21,00	dBm	$c = a + b$
Propagación					
Pérdida en cuerpo	3,00	3,00	3,00	dB	d
Margen de desvanecimiento log-normal	4,00	6,00	8,00	dB	e
Ganancia de soft handover, multicelda	0,00	2,00	3,00	dB	f
Margen de desvanecimiento rápido	3,00	3,00	0,00	dB	g
Pérdida por interiores	15,00	0,00	0,00	dB	h
Pérdida por automóvil	0,00	0,00	4,00	dB	i
Receptor: Estación base					
Tasa de transmisión	12,20	12,20	12,20	Kbps	j
Densidad de ruido térmico	-173,98	-173,98	-173,98	dBm/Hz	$k = 10 * \log(1.3803E-23 * 290 * 1000)$
Figura de ruido base	5,00	5,00	5,00	dB	l
Densidad de ruido en el receptor	-168,98	-168,98	-168,98	dBm/Hz	$m = k + l$
Potencia de ruido en el receptor	-103,13	-103,13	-103,13	dBm	$n = m + 10 \log(3.840.000)$
Margen de interferencia	3,00	3,00	3,00	dB	o
Ruido efectivo total + interferencia	-100,13	-100,13	-100,13	dBm	$p = n + o$
Ganancia de procesamiento	24,98	24,98	24,98	dB	$q = 10 \log(3840/j)$
E_b/N_0 requerido	4,80	4,80	4,80	dB	r
Sensibilidad del receptor	-120,31	-120,31	-120,31	dBm	$s = r - q + p$
Ganancia de la antena de la estación base	17,50	17,50	17,50	dBi	t
Pérdida en cable de la estación base	2,00	2,00	2,00	dB	u
Pérdida de trayectoria máxima	150,81	150,81	153,81	dB	$v = c - d - s + t - u - g$
Pérdida de propagación permitida para rango de celda	131,81	146,81	144,81	dB	$w = v - e + f - h - i$



Link Budget. Enlace de subida (UL). Servicio de datos.						
Parámetro	Interior	Valores en escenarios		Unidad	Operación	
		Exterior	En auto		dBm	a
Transmisor: Equipo Móvil						
Potencia de transmisión máxima	24,00	24,00	24,00	dBm	a	
Ganancia de la antena	0,00	0,00	0,00	dBi	b	
PIRE	24,00	24,00	24,00	dBm	c = a + b	
Propagación						
Pérdida en cuerpo	0,00	0,00	0,00	dB	d	
Margen de desvanecimiento log-normal	4,00	6,00	8,00	dB	e	
Ganancia de soft handover, multicelda	0,00	2,00	3,00	dB	f	
Margen de desvanecimiento rápido	4,00	2,00	0,00	dB	g	
Margen de interiores	15,00	0,00	0,00	dB	h	
Pérdida por automóvil	0,00	0,00	4,00	dB	i	
Receptor: Estación base						
Tasa de transmisión	384,00	384,00	384,00	Kbps	j	
Densidad de ruido térmico	-173,98	-173,98	-173,98	dBm/Hz	$k = 10 * \log(1.3803E-23 * 290 * 1000)$	
Figura de ruido base	5,00	5,00	5,00	dB	l	
Densidad de ruido en el receptor	-168,98	-168,98	-168,98	dBm/Hz	$m = k + l$	
Potencia de ruido en el receptor	-103,13	-103,13	-103,13	dBm	$n = m + 10 \log(3840000)$	
Margen de interferencia	2,00	2,00	2,00	dB	o	
Ruido efectivo total + interferencia	-101,13	-101,13	-101,13	dBm	$p = n + o$	
Ganancia de procesamiento	10,00	10,00	10,00	dB	$q = 10 \log(3840/J)$	
E_b/N_0 requerido	0,40	0,40	0,40	dB	r	
Sensibilidad del receptor	-110,73	-110,73	-110,73	dBm	$s = r - q + p$	
Ganancia de la antena de la estación base	17,50	17,50	17,50	dBi	t	
Pérdida en cable de la estación base	2,00	2,00	2,00	dB	u	
Pérdida de trayectoria máxima	146,23	148,23	150,23	dB	$v = c - d - s + t - u - g$	
Pérdida de propagación permitida para rango de celda	127,23	144,23	141,23	dB	$w = v - e + f - h - i$	

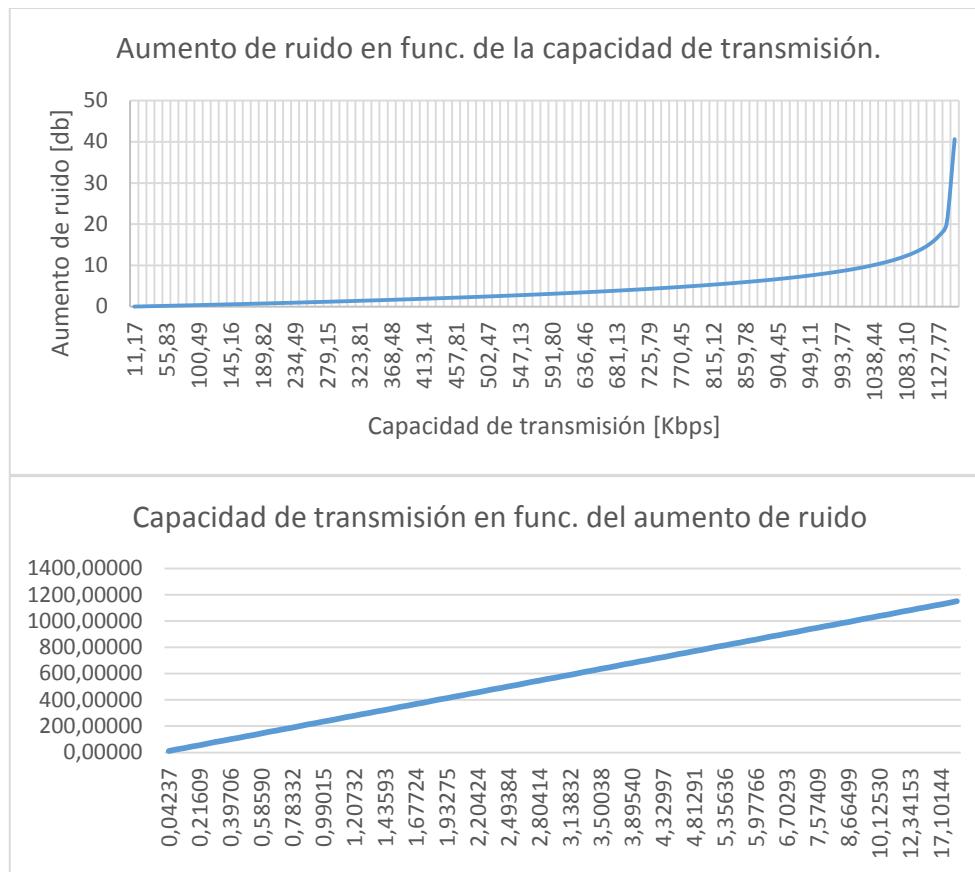
Link Budget. Enlace de bajada (DL). Servicio de voz.						
Parámetro	Valores en escenarios			Unidad	Operación	
	Interior	Exterior	En auto			
Transmisor: Estación Base						
Potencia de transmisión máxima BTS	40	40	40	W		
Porcentaje de potencia máxima por canal	4,5%	4,5%	4,5%	dBm		
Potencia de transmisión máxima por canal	32,55	32,55	32,55	dBm	a	
Pérdida en cable de la estación base	2,00	2,00	2,00	dB	b	
Ganancia de la antena	17,50	17,50	17,50	dBi	c = a + b	
PIRE (por canal)	48,05	48,05	48,05	dBm	d = a - b + c	
Propagación						
Margen de desvanecimiento rápido	3,00	3,00	0,00	dB	e	
Margen de desvanecimiento log-normal	4,00	6,00	8,00	dB	f	
Ganancia de soft handover, multicelda	0,00	2,00	3,00	dB	g	
Pérdida en cuerpo	3,00	3,00	3,00	dB	h	
Pérdida por interiores	15,00	0,00	0,00	dB	i	
Pérdida por automóvil	0,00	0,00	4,00	dB	j	
Receptor: Equipo móvil						
Tasa de transmisión	12,20	12,20	12,20	Kbps	k	
Ganancia de la antena del equipo móvil	0,00	0,00	0,00	dBi	l	
Densidad de ruido térmico	-173,98	-173,98	-173,98	dBm/Hz	m = 10 * log(1.38803E-23 * 290 * 10000)	
Figura de ruido base						
Densidad de ruido en el receptor	-164,98	-164,98	-164,98	dBm/Hz	o = m + n	
Potencia de ruido en el receptor	-99,13	-99,13	-99,13	dBm	p = o + 10 * log(3 840 000)	
Margen de interferencia	2,00	2,00	2,00	dB	q	
Ruido efectivo total + interferencia	-97,13	-97,13	-97,13	dBm	r = p + q	
Ganancia de procesamiento	24,98	24,98	24,98	dB	s = 10 * log(3840/k)	
E_b/N_0 requerido	6,80	6,80	6,80	dB	t	
Sensibilidad del receptor	-115,31	-115,31	-115,31	dBm	u = t - s + r	
Pérdida de trayectoria máxima	157,37	157,37	160,37	dB	v = d - h - u + l - e	
Pérdida de propagación permitida para rango de celda	138,37	153,37	151,37	dB	w = v - f + g - i - j	



Parámetro	Link Budget. Enlace de bajada (DL). Servicio de datos.			Operación
	Interior	Exterior	En auto	
Transmisor: Estación Base				
Potencia de transmisión máxima BTS	40	40	40	W
Porcentaje de potencia máxima por canal	46,02	46,02	46,02	dBm
Potencia de transmisión máxima por canal	4,5%	4,5%	4,5%	
Pérdida en cable de la estación base	32,55	32,55	32,55	dBm
Ganancia de la antena	2,00	2,00	2,00	dB
PIRE (por canal)	17,50	17,50	17,50	dBi
	48,05	48,05	48,05	dBm
				$c = a + b$
				$d = a - b + c$
Propagación				
Margen de desvanecimiento rápido	4,00	2,00	0,00	dB
Margen de desvanecimiento log-normal	4,00	6,00	8,00	dB
Ganancia de soft handover, multicelda	0,00	2,00	3,00	dB
Pérdida en cuerpo	3,00	3,00	3,00	dB
Pérdida por interiores	15,00	0,00	0,00	dB
Pérdida por automóvil	0,00	0,00	4,00	dB
				j
Receptor: Equipo móvil				
Tasa de transmisión	384,00	384,00	384,00	Kbps
Ganancia de la antena del equipo móvil	0,00	0,00	0,00	dB
Densidad de ruido térmico	-173,98	-173,98	-173,98	dBm/Hz
Figura de ruido base	7,00	7,00	7,00	dB
Densidad de ruido en el receptor	-166,98	-166,98	-166,98	dBm/Hz
Potencia de ruido en el receptor	-101,13	-101,13	-101,13	dBm
Margen de interferencia	2,00	2,00	2,00	dB
Ruido efectivo total + interferencia	-99,13	-99,13	-99,13	dBm
Ganancia de procesamiento	10,00	10,00	10,00	dB
E_b/N_0 requerido	1,90	1,90	3,00	dB
Sensibilidad del receptor	-107,23	-107,23	-106,13	dBm
Pérdida de trayectoria máxima	148,29	150,29	151,19	dB
Pérdida de propagación permitida para rango de celda	129,29	146,29	142,19	dB
				$w = v - f + g - i - j$



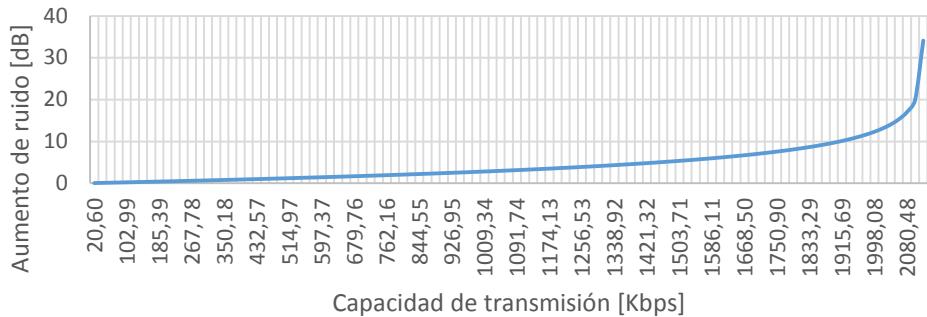
Capacidad voz UL



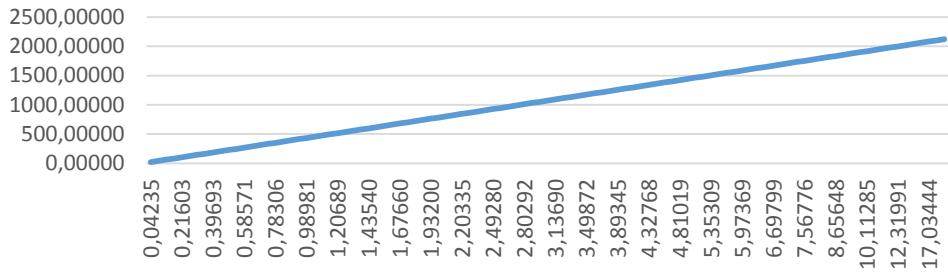
Capacidad datos UL



Aumento de ruido en función de la capacidad de transmisión.



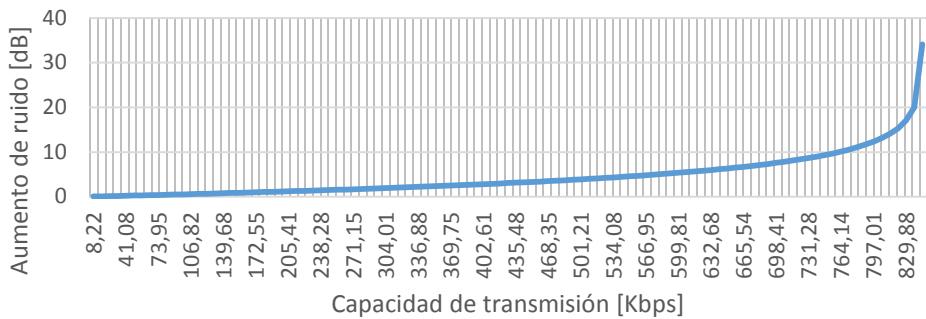
Capacidad de transmisión en función del aumento de ruido.



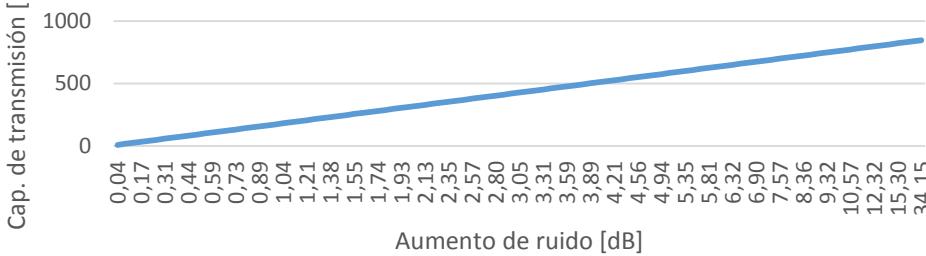
Capacidad voz DL



Aumento de ruido en función de la capacidad de transmisión.



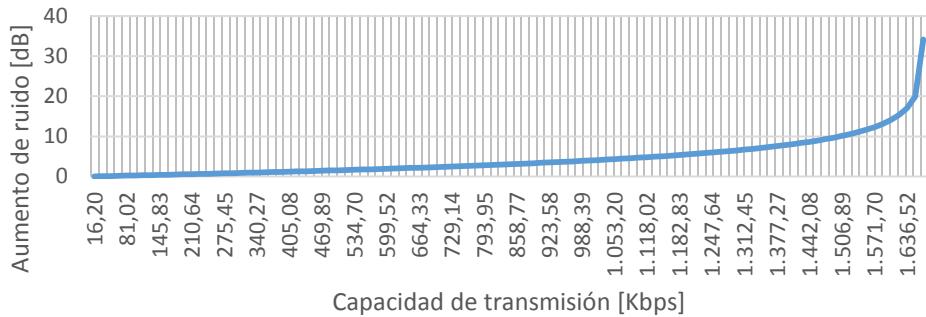
Capacidad de transmisión en función del aumento de ruido.



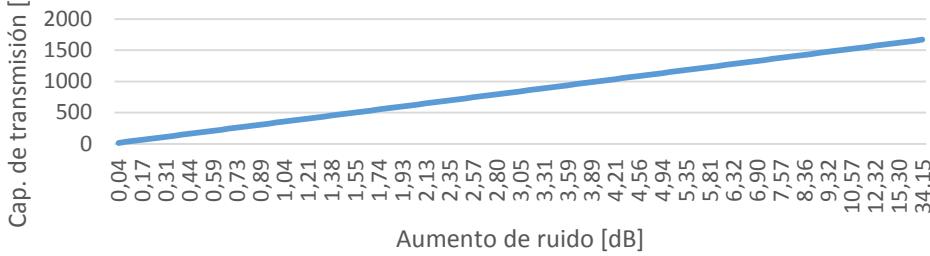
Capacidad datos DL



Aumento de ruido en función de la capacidad de transmisión.



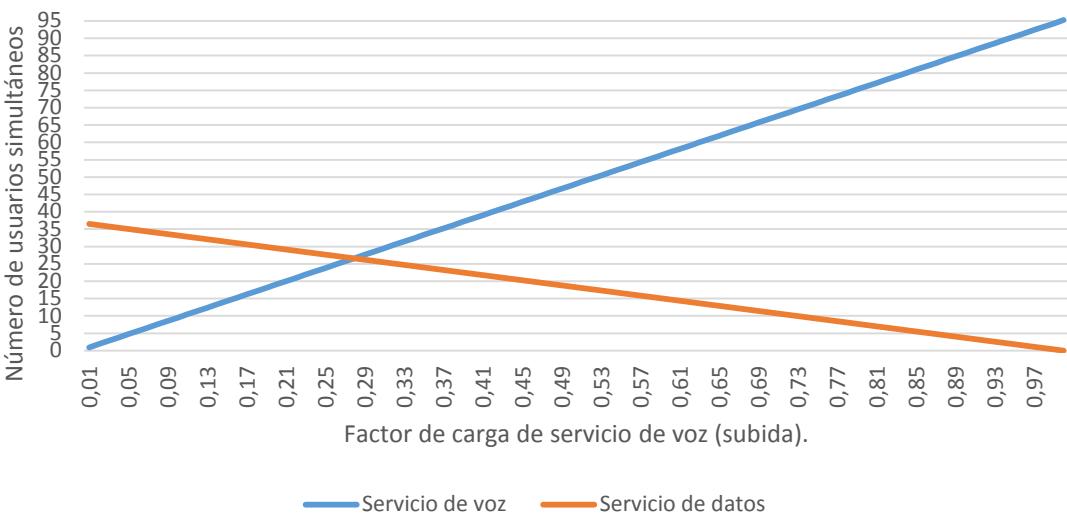
Capacidad de transmisión en función del aumento de ruido.



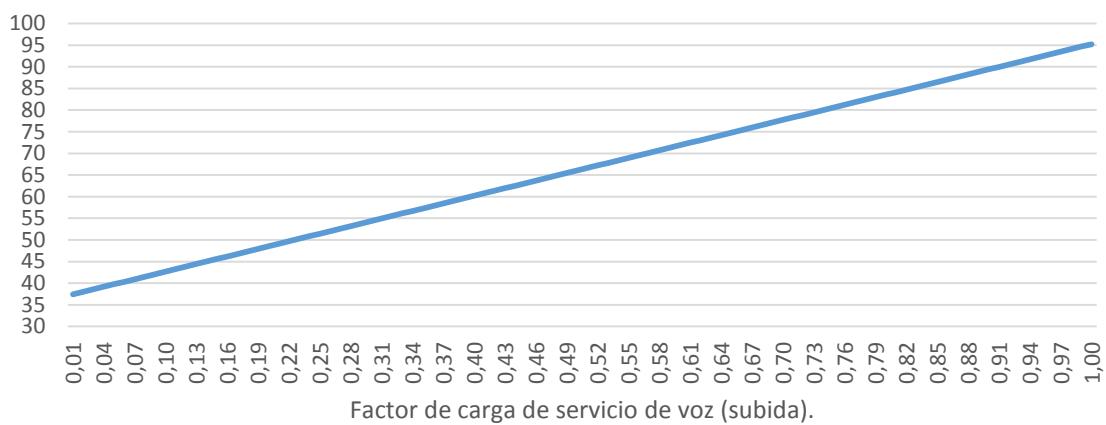
Número de usuarios UL



Variación de número de usuarios según el factor de carga.



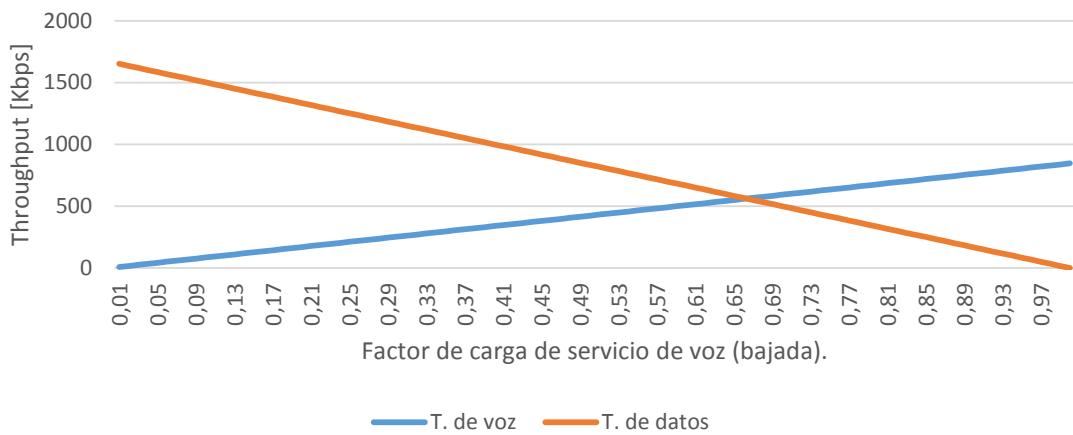
Número de usuarios (subida).



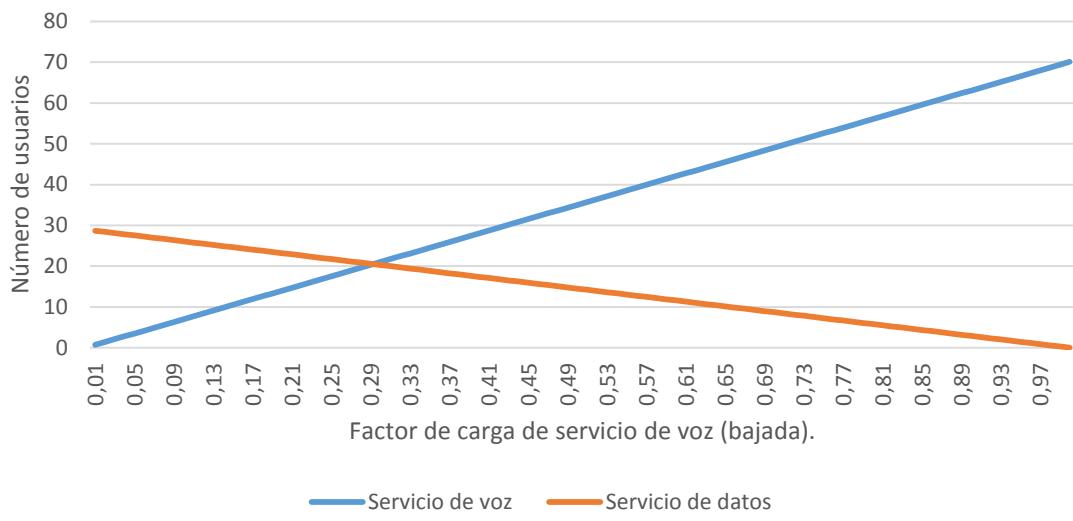
Número de usuarios DL



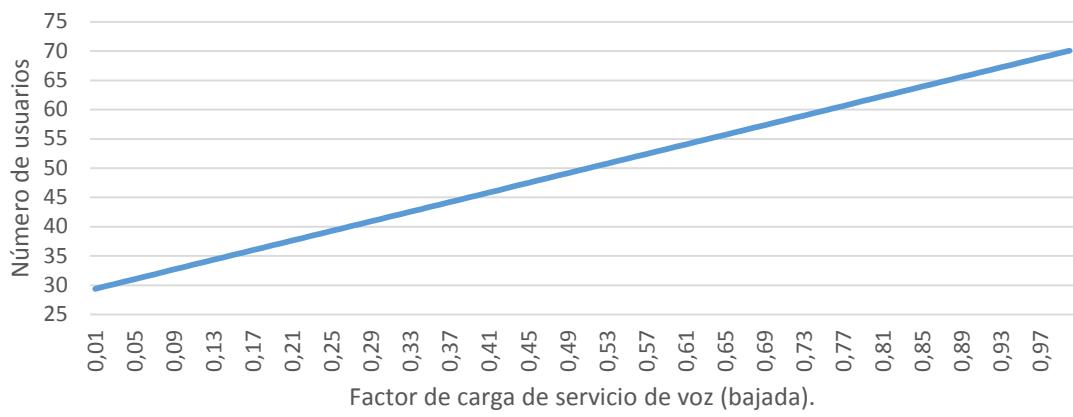
Variación de Throughput según el factor de carga.



Variación de número de usuarios según el factor de carga.



Número de usuarios (bajada).





ANEXO 3: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL SITIO



Figura 6.1 Gabinete del nodoB.



Figura 6.2 Caja de breakers para el nodoB, caja distribuidora de fibra y tapa de la puesta a tierra.



Figura 6.3 Generador de energía, control de baliza y cableado externo.



Figura 6.4 Torre



Figura 6.5 Escalerillas para sujeción del cableado.

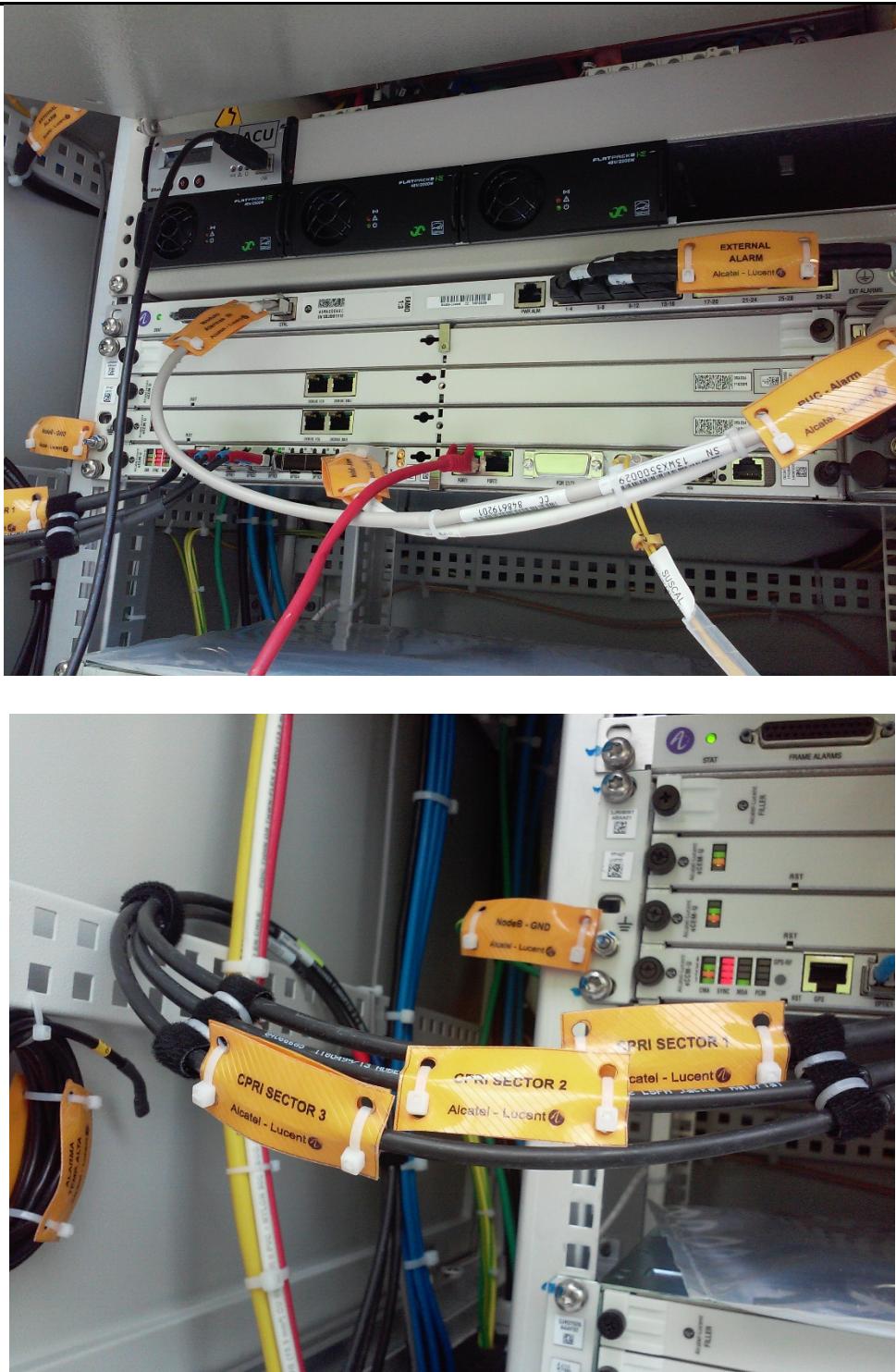


Figura 6.6 Etiquetado de los cables.