



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED MÓVIL
CELULAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA Y PROPUESTA DE
OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS PARA MEJORAR LA
TRANSMISIÓN DE DATOS**

OSWALDO BLADIMIR DÍAZ GUERRERO

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Riobamba - Ecuador

Noviembre 2018

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE: El Trabajo de Titulación Modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED MÓVIL CELULAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS PARA MEJORAR LA TRANSMISIÓN DE DATOS, de responsabilidad del señor Oswaldo Bladimir Díaz Guerrero, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

ING. BLANCA FAUSTINA HIDALGO PONCE; Mgs.

PRESIDENTE

ING. VÍCTOR HUGO BENÍTEZ BRAVO; Mgs.

DIRECTOR

ING. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA; M.Sc.

MIEMBRO

ING. JUAN CARLOS ÁLVAREZ ALVERCA; Mgs.

MIEMBRO

Riobamba, Noviembre 2018

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Oswaldo Bladimir Díaz Guerrero, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en **el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual del mismo pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Oswaldo Bladimir Díaz Guerrero

N° de Cédula: 060191474-0

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios por regalarme esta vida, a mis hijas, a mi amada esposa y a mis padres por brindarme siempre su apoyo incondicional y a todos aquellos que con sus palabras de aliento me ayudaron a terminar y cumplir con mis estudios de maestría.

A mis Profesores y compañeros por los momentos compartidos.

Oswaldo Bladimir Díaz Guerrero

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a un compañero profesor y orientador como es el Ing. Víctor Hugo Benítez Bravo, quien con su ayuda desinteresada permitió que yo culmine este trabajo de investigación con todas las normas establecidas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a los Ingenieros Oswaldo Geovanny Martínez Guashima y Juan Carlos Álvarez Alverca quienes mediante sus consejos y ayuda prestada durante la realización del presente trabajo colaboraron en la culminación de la investigación.

A los Docentes del Programa de Maestría Sistemas en Telecomunicación que con su perseverancia y desinteresada manera de compartir sus conocimientos lograron que se forme un profesional eficiente y eficaz, gracia por su amistad.

Oswaldo.

CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Situación Problemática.....	1
1.3 Formulación del problema.....	2
1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación.....	2
1.5 Justificación de la investigación.....	2
1.6 Objetivos de la investigación.....	3
1.6.1 <i>Objetivo General</i>.....	3
1.6.2 <i>Objetivos Específicos</i>.....	3
1.7 Antecedentes del problema.....	3
1.8 Hipótesis.....	3
1.8.1 <i>Hipótesis general</i>.....	3
1.8.2 <i>Hipótesis específicas</i>.....	3
1.9.1 Operacionalización de variables.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Comunicaciones Móviles.....	5
2.1.1 <i>Definición</i>.....	5
2.1.2 <i>Composición de un sistema de comunicaciones móviles</i>.....	5
2.1.2.1 <i>Estaciones Fijas</i>.....	6
2.1.2.2 <i>Estaciones Móviles</i>.....	7
2.1.2.3 <i>Equipos de Control</i>.....	7

2.2	Evolución de las comunicaciones móviles.....	7
2.2.1	<i>Sistemas Públicos.....</i>	7
2.2.1.1	<i>Sistemas Celulares.....</i>	7
2.2.2	<i>Sistemas de Radio Mensajería.....</i>	9
2.2.3	<i>Sistemas de Telefonía Sin Hilos.....</i>	9
2.2.4	<i>Sistemas por Satélite.....</i>	9
2.2.5	<i>Sistemas Privados.....</i>	10
2.3.	Sistemas Celulares.....	10
2.3.1	<i>Cobertura.....</i>	11
2.3.2	<i>Células o celdas.....</i>	11
2.3.3	<i>Reutilización de frecuencias.....</i>	11
2.3.4	<i>Señalización.....</i>	12
2.3.5	<i>Traspaso.....</i>	12
2.3.6	<i>Itinerancia.....</i>	12
2.3.7	<i>Componentes principales del sistema celular.....</i>	12
2.3.7.1	<i>Red de Acceso.....</i>	12
2.3.7.2	<i>Red de Tránsito.....</i>	14
2.3.8	<i>Clasificación de Sistemas Celulares.....</i>	14
2.3.8.1	<i>Primera Generación (1G).....</i>	14
2.3.8.2	<i>Segunda Generación (2G).....</i>	14
2.3.8.3	<i>Generación 2.5G.....</i>	15
2.3.8.4	<i>Tercera Generación (3G).....</i>	15
2.3.8.5	<i>Cuarta Generación (4G).....</i>	16
2.4	Redes Móviles de tercera Generación.....	16
2.4.1	<i>Estándares creados dentro de 3G.....</i>	16
2.4.1.1	<i>UMTS.....</i>	16
2.4.1.2	<i>HSPA (High Speed Packet Access o Acceso de Paquetes de Alta Velocidad).....</i>	17
2.4.1.3	<i>HSPA+ (Evolved HSPA o HSPA Evolucionado).....</i>	18
2.4.1.4	<i>LTE (Long Term Evolution o Evolución a Largo Plazo).....</i>	18
2.5	Redes Móviles de Cuarta Generación.....	18
2.5.1	<i>Estándares creados de 4G.....</i>	19
2.5.1.1	<i>LTE Advanced.....</i>	19
2.6	Redes Celulares en el Ecuador.....	19
2.6.1	<i>Breve Reseña Histórica de las Redes Celulares en el Ecuador.....</i>	19
2.6.2	<i>Entes reguladores.....</i>	20
2.6.2.1	<i>Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL).....</i>	21
2.6.2.2	<i>Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).....</i>	21

2.6.2.3	<i>Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL)</i>	21
2.6.2.4	<i>Ministerio Nacional de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL)</i>	21
2.6.2.5	<i>Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP)</i>	21
2.6.3	<i>Operadoras de Redes Celulares</i>	22
2.6.4	<i>Tecnologías disponibles</i>	23
2.6.4.1	<i>Frecuencias destinadas para tecnología LTE</i>	23
CAPÍTULO III		24
3.	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.1	Tipo y diseño de la investigación	24
3.2	Métodos de investigación	24
3.3	Enfoque de la investigación	25
3.4	Alcance de la investigación	25
3.5	Prueba de la hipótesis	25
3.5.1	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	25
CAPITULO IV		29
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	Estado de la red celular en la ciudad de Riobamba	29
4.1.1	<i>Recursos disponibles en las redes móviles</i>	29
4.1.2	<i>Análisis de la situación actual de la red móvil de Riobamba</i>	29
4.1.3	<i>Infraestructura disponible</i>	31
4.1.4	<i>Cobertura</i>	31
4.1.5	<i>Análisis de la situación actual del servicio de Datos para Operador A</i>	33
4.1.6	<i>Inaccesibilidad de Datos</i>	34
4.1.7	<i>Drop Call de Datos</i>	35
4.1.8	<i>Throughput (Uplink, Downlink)</i>	37
4.1.9	<i>Volumen de Tráfico de Datos</i>	38
4.1.10	<i>Resumen General de la situación actual</i>	40
4.1	Propuesta de Optimización de recursos para mejorar la transmisión de datos	41
4.2.1	<i>Propuesta de Distribución del Espectro Radioeléctrico</i>	41
4.2.1.1	<i>Consideraciones generales</i>	41
4.2.1.2	<i>Propuesta de distribución GSM_850/1900, UMTS_850/1900 y LTE AWS</i>	41
4.2.1.2	<i>Propuesta de distribución GSM_850, UMTS_850/1900 y LTE 1900/AWS</i>	43
4.2	Propuesta de Mejora en Infraestructura	44
4.2.1	Incremento del número de estaciones celulares	44

4.2.2	<i>Incremento de número de sectores en la infraestructura existente</i>	45
4.2.3	<i>Propuesta de Mejora mediante optimización</i>	47
4.2.3.1	<i>Descripción del Flujo del proceso de Optimización</i>	51
4.2.4	<i>Propuesta de mejora Implementado nueva tecnología LTE</i>	52
4.2.4.1	<i>Plan Nominal</i>	52
4.2.4.2	<i>Link Budget (Presupuesto de Enlace)</i>	53
4.2.4.3	<i>Predicción de Cobertura</i>	53
4.2.5	<i>Resumen General de propuestas de Mejora de la Red de Datos</i>	55
4.3.	Implementación de propuesta de optimización de recursos	55
4.3.1	<i>Análisis de KPI's posterior a modernización y optimización de red GSM</i>	56
4.3.1.1	<i>Análisis de Inaccesibilidad de datos GSM (2G)</i>	56
4.3.1.2	<i>Análisis de Drop Call de datos GSM (2G)</i>	56
4.3.1.3	<i>Análisis de Throughput (Uplink, Downlink) GSM (2G)</i>	57
4.3.1.4	<i>Análisis de Tráfico GSM (2G)</i>	58
4.3.2	<i>Análisis de KPI's posterior a incremento de portadoras y optimización de red UMTS</i>	60
4.3.2.1	<i>Análisis de Inaccesibilidad de datos UMTS (3G)</i>	60
4.3.2.2	<i>Análisis de Drop Call de datos UMTS (3G)</i>	61
4.3.2.3	<i>Análisis de Throughput (Uplink, Downlink) UMTS (3G)</i>	62
4.3.2.4	<i>Análisis de Tráfico UMTS (3G)</i>	63
4.3.3	<i>Análisis de KPI's posterior a la implementación de LTE(4G)</i>	64
4.3.3.1	<i>Análisis de principales KPIs LTE de la zona de Estudio</i>	64
4.3.4	<i>Análisis general de la red de datos móviles de la zona de estudio de la ciudad de Riobamba</i>	69
CAPITULO V		72
5.1	PROPUESTA	72
5.2.1.	<i>Plan de mejora de cobertura de la red celular en Riobamba</i>	72
5.2.2.	<i>Compartición de Infraestructura entre operadores</i>	74
5.2.3.	<i>Acuerdo de Roaming nacional entre operadores</i>	74
5.3.1.	<i>¿Qué se necesita estudiar para conocer la situación actual de la red móvil celular de la ciudad de Riobamba?</i>	75
5.3.2.	<i>¿Qué puede aportar la teoría de operación de la red para mejora capacidad de tráfico de datos?</i>	76
5.3.3.	<i>¿En qué influye el área de cobertura y las bandas de Operación?</i>	77
5.3.4.	<i>¿En qué ayuda la adopción de nuevas tecnologías?</i>	77

CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Datos y cálculo de función Pivotal para 791 muestras.....	28
Tabla 1-4: Distribución espectro radioeléctrico, Operadora Conecel.....	30
Tabla 2-4: Distribución espectro radioeléctrico, Operadora Otecel.....	30
Tabla 3-4: Distribución espectro radioeléctrico, Operadora CNT.....	30
Tabla 4-4: Número de estaciones en Riobamba.....	31
Tabla 5-4: Sitios Web de Consulta de Cobertura de las operadoras Celulares.....	31
Tabla 6-4: Metas de KPIS PS, Operadora A.....	34
Tabla 7-4: KPIS PS Situación Actual, Operadora Conecel.....	40
Tabla 8-4: Resultado de Análisis de velocidad de datos Conecel.....	41
Tabla 9-4: Anchos de Banda de TX requeridos para una nueva estación.....	47
Tabla 10-4: Lista de Tablas configuradas en RNC.....	51
Tabla 11-4: Lista de parámetros Requerido por la Herramienta de Predicción LTE.....	53
Tabla 12-4: Resumen de propuestas de Mejora.....	55
Tabla 13-4: Promedio de Tráfico Cursado en GSM, RBS Zona Centro de Riobamba.....	59
Tabla 14-4: Promedio & Variación de 3G PS Inaccesibilidad.....	61
Tabla 15-4: Throughput Máximo & Mínimo, RBS Zona Centro de Riobamba.....	62
Tabla 16-4: Tráfico promedio por hora, RBS Zona Centro de Riobamba.....	63
Tabla 17-4: Resultados de optimización y cambios en la operadora Conecel.....	64
Tabla 18-4: KPIS GSM (2G), RBS Zona Centro de Riobamba.....	69
Tabla 19-4: KPIS UMTS (3G), RBS Zona Centro de Riobamba.....	70
Tabla 20-4: KPIS LTE (4G), RBS Zona Centro de Riobamba.....	70
Tabla 21-4: Consumo de datos RBS Zona Centro de Riobamba.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Componentes Sistema de Comunicaciones Móviles.....	6
Figura 2-2: Reutilización de frecuencias.....	11
Figura 3-2: Relación entre GSM, GPRS y UMTS.....	17
Figura 4-2: Porcentajes de participación de operadoras móviles dentro del mercado nacional.....	22
Figura 5-2: Cantidad de líneas activas según tecnología.....	23
Figura 1-3: Área de aceptación y rechazo de la hipótesis.....	27
Figura 1-4: Cobertura UMTS (3G) Riobamba, Conecel.....	32
Figura 2-4: Cobertura UMTS (3G) Riobamba, Otecel.....	32
Figura 3-4: Cobertura UMTS (3G) Riobamba, Operadora CNT.....	33
Figura 4-4: 2G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	34
Figura 5-4: 3G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	35
Figura 6-4: 2G PS Non Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	36
Figura 7-4: 3G PS Non Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	36
Figura 8-4: 2G PS Throughput DL EDGE, RBS Zona Centro de Riobamba.....	37
Figura 9-4: 3G HSDPA Throughput, RBS Zona Centro de Riobamba.....	38
Figura 10-4: 2G PS Tráfico, RBS Zona Centro de Riobamba.....	39
Figura 11-4: 2G PS Tráfico, RBS Zona Centro de Riobamba.....	39
Figura 12-4: RBS GSM/UMTS Zona Centro de Riobamba.....	40
Figura 13-4: Propuesta de Distribución Espectro Radioeléctrico por tecnología, Operadora...33	33
Figura 14-4: Propuesta de Distribución Espectro Radioeléctrico por tecnología, Operadora....44	44
Figura 15-4: Propuesta de ubicación de Nueva Estación Celular.....	45
Figura 16-4: Patrones de radiación Antena Tradicional Vs Antena Multihaz.....	46
Figura 17-4: Reemplazo de Antena Tradicional por Antena Multihaz.....	46
Figura 18-4: Distancias entre RBS de Operador.....	48
Figura 19-4: Ejemplo de Propagación de un NodoB del Operador Conecel.....	49
Figura 20-4: Ejemplo RTWP vs Número de Usuarios de un NodoB del Operador.....	50
Figura 21-4: Proceso para optimización.....	52
Figura 22-4: Método de Cálculo de RSRP.....	54
Figura 23-4: 2G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	56
Figura 24-4: 2G PS No Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	57
Figura 25-4: 2G PS Throughput, RBS Zona Centro de Riobamba.....	58
Figura 26-4: 2G PS Tráfico, RBS Zona Centro de Riobamba.....	59
Figura 27-4: 3G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	60
Figura 28-4: 3G PS Non Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	61

Figura 29-4: 3G HSDPA Throughput, RBS Zona Centro de Riobamba.....	62
Figura 30-4: 3G PS Tráfico, RBS Zona Centro de Riobamba.....	63
Figura 31-4: 4G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	64
Figura 32-4: 4G PS No Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba.....	65
Figura 33-4: 4G DL Average User ThrPut, RBS Zona Centro de Riobamba.....	65
Figura 34-4: 4G UL Average User ThrPut, RBS Zona Centro de Riobamba.....	66
Figura 35-4: 4G Cell Downlink Average ThrPut, RBS Zona Centro de Riobamba.....	67
Figura 36-4: 4G Cell Uplink Average Throughput, RBS Zona Centro de Riobamba.....	67
Figura 37-4: 4G Average User Number, RBS Zona Centro de Riobamba.....	68
Figura 38-4: 4G Cell Traffic Volume, RBS Zona Centro de Riobamba.....	68
Figura 1-5: Red Conecel sitios GSM y UMTS.....	72
Figura 2-5: Red Conecel Sectores GSM y UMTS.....	73
Figura 3-5: Red Conecel y Sitios Otecel vecinos.....	73
Figura 4-5: Red Conecel y propuesta de nuevos sitios.....	74
Figura 5-5: RTWP con respecto al número de usuarios.....	76
Figura 6-5: Red Conecel tipos de sitios.....	77

GLOSARIO DE TÉRMINOS

3GPP	3rd Generación Partnership Project
ACIR	Adjacent Channel Interference Ratio
ALCAP	Access Link Control Application Part
AMR	Adaptive Multi-Rate
BCCH	BroadCast Control CHannel (logical channel)
BER	Bit Error Rate
BLEP	Block Error Probability
BLER	Block Error Rate
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
HC	Handover Control
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
LTE	Long-Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
Node B	Base station

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCCC	Parallel Concatenated Convolutional Code
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
QoS	Quality of Service
RTP	Real Time Protocol
SF	Spreading Factor
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRA UMTS	Terrestrial Radio Access (ETSI)
WCDMA	Wideband CDMA

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el estado de la red móvil celular de la ciudad de Riobamba en el primer semestre del año 2017 y diagnosticar el comportamiento con respecto a las bajas velocidades de datos. Fue una investigación descriptiva no experimental y se trata de un análisis llevado a cabo con base técnica por lo que su diseño es longitudinal, se aplicó un enfoque cuantitativo, pues se propuso analizar los datos antes y después de implementar cambios en las redes; Se describen los recursos disponibles de las tres operadoras en la como son: Asignación de radiofrecuencias de operación, infraestructura celular presente, tecnologías utilizadas y coberturas brindadas, para efectuar el análisis se utilizó indicadores de accesibilidad, no retenibilidad, velocidades de datos y volumen de datos. La empresa fue Conecel debido a que se pudo contar con información del sistema de gestión de red que brinda datos completos del comportamiento de la red por medio de los indicadores mencionados. Como resultado se obtuvo una visión de la redes, lo cual permitió plantear cambios con respecto a nuevas distribuciones del espectro radioeléctrico, incremento de estaciones celulares, nuevos sectores, nuevas portadoras, puesta a punto de la infraestructura existente y la instalación de nuevas tecnologías como LTE. El operador efectuó trabajos de modernización de la red GSM e instalación de redes de cuarta generación y se pudo verificar la mejora en las velocidades de datos. Como conclusión se pudo obtener resultados iniciales de la red de estudio donde la red GSM cumple con las metas del ente de control pero la red UMTS no llega a la meta, pero que con los trabajos efectuados se obtienen mejoras en las tasas de velocidad de datos. Como recomendación es necesario ampliar el estudio con otras operadoras e incluir otros indicadores.

Palabras clave: TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, TELECOMUNICACIONES, ACCESIBILIDAD, NO RETENIBILIDAD, THROUGHPUT, VOLUMEN DE DATOS, ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.

ABSTRACT

This research work was aimed to determine the state of the mobile cellular network in Riobamba city in the first semester of 2017 as well to diagnose the behavior with respect to the low data rates. It was a non-experimental descriptive research and the analysis was carried out with a technical basis, so its design is longitudinal. A quantitative approach was applied since the data before and after implementing changes in the networks was proposed to be analyzed. The available resources of the three operators are described: Assigning operating radiofrequencies, cellular infrastructure, technologies used and coverage provided. Indicators of accessibility, non-profitability, speeds and volume data were used to carry out the analysis. Conecel was the chosen company because it was possible to obtain information from the network management system which provides complete data with respect to behavior of the network through the above mentioned indicators. As a result, a vision of the networks was obtained which allowed us to propose changes regarding new distributions of the radio spectrum, increase of cellular stations, new sectors, new mobile networks, fine tuning of the existing infrastructure and the installation of new technologies such as LTE (long term Evolution). Modernization work on the GSM (Global System for Mobil Communications) network and installation of fourth generation networks was carried out by operator, thanks to this the improvement in data speeds could be verified. In conclusion, initial results could be obtained from the study network where the GSM (Global System for Mobil Communications) network meets the goals of the control entity but the UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) network does not reach the goal, but thanks to the work performed, improvements are obtained in data rate. It is recommended to expand research with other mobile operators and include others indicators.

KEYWORDS: TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES, TELECOMMUNICATION, ACCESSIBILITY, NON-PROFITABILITY, THROUGHPUT, VOLUME OF DATA, RADIO SPECTRUM.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Análisis de la situación actual de la red Móvil celular en la ciudad de Riobamba y propuesta de optimización de recursos para mejorar la transmisión de datos.

1.1 Planteamiento del Problema

El usuario de los sistemas móviles celulares puede constatar directamente el comportamiento de los servicios de datos que no siempre son, lo que se espera de ellos. En ocasiones el servicio es lento o en casos extremos se aprecia que no funciona. Esto es una percepción que puede variar de usuario a usuario y que puede ser medida en forma detallada y precisa por los sistemas de gestión de la red.

1.2 Situation Problemática

El servicio de Telecomunicaciones móviles es una necesidad básica que crece constantemente, con el uso de nuevos dispositivos como son los Smartphones, Tablets y Laptops, por lo tanto debe ser bien atendida, pero lamentablemente las operadoras móviles no siempre pueden estar adelante a la demanda de los usuarios, por tal motivo se tienen que implementar mecanismos para que no se sienta los efectos de saturación de las redes. Todo esto llevó a la necesidad de efectuar los estudios y diagnosticar la situación de la red móvil y de esa manera poder plantear acciones para resolver los problemas que afectan el comportamiento de la red en lo referente a velocidades de datos. El uso de internet en zonas urbanas ha crecido al 37,7% según ARCOTEL.

La situación presentada en Riobamba en el primer semestre del 2017 con respecto a las bajas velocidades de la red de datos móviles celulares en particular la red de 3G de Conecel es sentida por los usuarios y corroborada por los datos brindados por el sistema de gestión de los elementos de red. Se llega a niveles de 76 % de la capacidad que se obtienen de la red celular. Esto hace ver que se debe implementar acciones inmediatas para atender las necesidades de los usuarios. Para mostrar los niveles de saturación de la red se dispone de varios indicadores dentro del sistema de gestión de elementos de la red.

1.3 Formulación del problema

¿El análisis de la situación actual de la red móvil celular en la ciudad de Riobamba permitirá plantear una propuesta de optimización de la red para mejorar la transmisión de datos?

1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿Qué se necesita estudiar para conocer la situación actual de la red móvil celular de la ciudad de Riobamba?

¿Qué puede aportar la teoría de operación de la red para mejorar la capacidad de tráfico de datos?

¿En qué influye el área de cobertura y las bandas de operación?

¿En qué ayuda la adopción de nuevas tecnologías?

Estas preguntas tienen su respuesta en el capítulo V.

1.5 Justificación de la investigación

Es notable en todo ámbito la importancia que tiene la conexión a las redes de datos, ya sea en forma fija o móvil. Cada día son más los usuarios que tienen acceso a las redes y sobre todo su demanda seguirá creciendo constantemente por tal motivo nadie quiere verse afectado por un servicio de baja calidad representado por las velocidades de conexión y tiempos altos de espera. Este problema afecta tanto al usuario como al proveedor del servicio que puede ver como los clientes optan por la competencia al no sentirse atendidos correctamente. De esto nace la importancia de la investigación ya que es una magnífica oportunidad para beneficiar tanto a los usuarios de la red como del proveedor de servicio, aplicando técnicas y tecnologías existentes para optimizar los recursos de la red.

El trabajo de investigación presentado, permitiría que la percepción de calidad de los usuarios de una determinada red móvil sea lo suficientemente buena para que se sientan a gusto y con ello permitir que la operadora mantenga y pueda crecer en número de usuarios.

Es necesario conocer la situación de la red para poder implementar los cambios necesarios para garantizar que los usuarios puedan recibir los servicios contratados sobre todo en las zonas altamente pobladas que son las que más demandan.

1.6 Objetivos de la investigación

1.6.1 Objetivo General.

Analizar la situación actual de la red móvil celular de la ciudad de Riobamba para proponer una optimización de recursos y con ello mejorar la transmisión de datos.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Elaborar la base teórica que permita determinar los factores que influyen en el comportamiento de las redes celulares y las opciones tecnológicas disponibles al momento.
- Determinar el estado actual de la red móvil celular en la ciudad de Riobamba.
- Proponer acciones de optimización de recursos para mejorar la transmisión de datos en la ciudad de Riobamba.

1.7 Antecedentes del problema

En la ciudad de Riobamba actualmente están en operación redes celulares de segunda y tercera generación en las tres operadoras celulares y en los últimos meses también cuarta generación con la operadora estatal. Pero la red más utilizada por los usuarios es 3G con sus variantes HSDPA+, por lo tanto es la red en la que nos vamos a enfocar en el análisis.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis general

El Análisis de la situación actual de la red móvil en la ciudad de Riobamba, determinará las acciones a implementar para mejorar la transmisión de datos.

1.8.2 Hipótesis específicas

El Análisis de la situación actual de la red móvil de la ciudad de Riobamba, determinará la propuesta de optimización para mejorar la transmisión de datos.

La construcción del marco teórico, permitirá aplicar la tecnología y técnicas existentes para mejorar la transmisión de datos.

La propuesta de optimización y cambios en la tecnología, permitirá tener mayores velocidades de datos en la ciudad de Riobamba.

1.9 Operacionalización de variables

Se va recoger información entregada por los sistemas de gestión de las redes celulares y de programas de simulación de redes, los datos son obtenidos en hojas de cálculo y en gráficas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Comunicaciones Móviles

2.1.1 *Definición*

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la expresión “comunicaciones móviles” es utilizada para referirse a un servicio de radiocomunicación que se produce entre dos estaciones (emisora y receptora), en la cual por lo menos una de ellas se encuentra en movimiento, o en reposo; pero se encuentran en locaciones no definidas.

Esta definición genera tres tipos distintos de enlaces para la comunicación, los cuales se enlistan a continuación:

- **Comunicación estación fija a estación móvil.** - Tal como su nombre lo indica, una de las estaciones se encuentra fija en alguna ubicación (generalmente estación base) y la otra puede conectarse a ella mientras se desplaza.
- **Comunicación estación móvil a estación móvil.** – Para lograr una conexión de este tipo, se recurre a una conexión estación móvil a estación fija y luego estación fija a estación móvil.

El vocablo móvil hace referencia a cualquier tipo de vehículo, ya sea terrestre, marítimo o aéreo; e incluso puede referirse a peatones transitando por el espacio terrestre. (Falcone et al., 2008, p.34)

2.1.2 *Composición de un sistema de comunicaciones móviles*

Los componentes esenciales de un sistema de comunicaciones móviles, se enlistan a continuación:

- Estaciones fijas.
- Estaciones móviles.
- Equipos de control.

En la siguiente figura, se ilustran los distintos componentes de estos sistemas:



Figura 1-2: Componentes Sistema de Comunicaciones Móviles

Fuente: <https://goo.gl/wd1dg1>

Realizado por: Díaz, O. 2017

2.1.2.1 Estaciones Fijas

Son estaciones radioeléctricas, cuyo principio de construcción no concibe su uso en movimiento.

Las mismas pueden ser:

- **Base.** – Su funcionamiento es controlado desde una unidad de control, ya sea local o remota. Se caracterizan por ser origen o destino de tráfico y poseen la capacidad de enviar información.
- **Control.** – Se usa para controlar el funcionamiento de otra estación ubicada en un sitio determinado, para gestionar una base o una repetidora.
- **Repetidora.** – Se encargan de retransmitir las señales que reciben, permitiendo así la ampliación del área de cobertura.

2.1.2.2 Estaciones Móviles

Son estaciones radioeléctricas, cuyo principio de construcción permite su uso a bordo de un vehículo en movimiento, o mediante la realización de paradas en puntos no determinados. Pueden ser equipos portátiles o equipos fáciles de transportar.

2.1.2.3 Equipos de Control

Son los equipos necesarios para gestionar el funcionamiento de las distintas estaciones, permiten ejercer acciones de generación y/o recepción de llamadas, entre otros.

2.2 Evolución de las comunicaciones móviles

En el ámbito de lo que se conoce como comunicaciones móviles, es de suma importancia diferenciar aquellos sistemas definidos como públicos de aquellos definidos como privados.

2.2.1 Sistemas Públicos

2.2.1.1 Sistemas Celulares

Una de las bases sobre las cuales se sentó el origen de los sistemas celulares fue la Radio Telefonía Pública, la cual se encuentra compuesta por múltiples configuraciones de sistemas de radiocomunicación móvil ya sea de corto o medio alcance. Su uso es principalmente privado y sus características van de acuerdo a los requerimientos de los clientes.

La evolución continua de este tipo de sistemas y la aparición de la telefonía pública impulsaron el desarrollo de los primeros equipos de telefonía celular, el mismo que podría llegar a considerarse una ampliación del servicio telefónico básico.

Dentro de sus estándares iniciales, se pueden enlistar:

- **Nordic Mobile Telephone (NMT).** – Trabaja en la banda de 450MHz. Fue creado en los años 80 por Escandinavia para posteriormente ser adoptado por otros países.

- **Advanced Mobile Phone Service (AMPS).** - Caracterizado por el uso de 666 canales de 30kHz, divididos en dos grupos: 624 destinados a voz y 42 destinados a señalización. EE UU lo adoptó en 1983.
- **Total Access Communications System (TACS).** – Presentado como mejora del sistema AMPS, trabaja en la banda de 900MHZ y se caracteriza por el uso de 1000 canales de 25kHz. Presenta mayor eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico. Gran Bretaña en 1985 fue el primero en adoptarlo.

Con la introducción de los sistemas digitales se producen las siguientes mejoras:

- Incremento en la eficiencia del uso del espectro radioeléctrico, posibilitando funcionamiento de más frecuencias dentro de la misma banda.
- Reducción en los costos de elaboración de los terminales, debido principalmente a los menores requerimientos de potencia.
- Aumento de privacidad en los datos transmitidos.
- Incremento en el número de servicios.

La continua mejoría de los sistemas tecnológicos permite la implantación del estándar Global System of Mobile Communications (GSM) en 1987. Para posteriormente llegar hacia las Personal Communications Networks (PCN), que no son más que una versión mejorada del GSM.

La evolución de estos sistemas permite:

- Fabricación de terminales de consumo reducido.
- Incremento de la capacidad de operar tanto en interiores como exteriores.
- Incremento de la capacidad de tráfico.

Finalmente, PCN funge como base del actual Sistema de Telecomunicaciones Universal (UMTS).

2.2.2 *Sistemas de Radio Mensajería*

Este tipo de sistemas posibilita la realización de llamadas selectivas unidireccionales y personales con algunos tipos de alerta. Según Falcone et al. (2008, p.40) los distintos tipos de mensaje podrían ser respondidos o no según el tipo de alerta recibida, mediante una llamada de vuelta hacia el emisor del mismo.

La Oficina Postal Británica (BPO) en conjunto con varios fabricantes de algunas partes del mundo conforma el Post Office Code Standardization Advisory Group con el fin de crear un estándar (POCSAG); dentro del cual se incluye la transmisión de avisos y mensajes tanto del tipo numérico como alfanumérico. En 1987 el ETSI (*European Telecommunications Standard Institute o Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones*), impulsa la creación de un nuevo estándar europeo, conocido como ERMES (European Radio Message System). En nuestros días, este tipo de sistemas se orientan hacia aplicaciones industriales o de emergencia.

2.2.3 *Sistemas de Telefonía Sin Hilos*

Los teléfonos sin cordón (CT), tuvieron su primera aparición en la década de los 80; y con ellos, aparecieron sus estándares, inicialmente el CT0 en Estados Unidos. Posteriormente, con el avance de la ciencia se crearon CT1 y CT2 para telefonía sin hilos y CT3, diseñado para ambientes de administración. Finalmente, en 1992 el ETSI presenta DECT (Digital European Cordless Telecommunications, por sus siglas en inglés) como estándar unificado en Europa. En la actualidad, con la aparición de los teléfonos IP, este tipo de terminales han sido desplazados a pequeñas aplicaciones domiciliarias o comerciales.

2.2.4 *Sistemas por Satélite*

Este tipo de sistemas originalmente se basaron en el uso de sistemas geoestacionarios como apoyo a las estaciones fijas terrestres, ejerciendo el papel de interfaz' con la red telefónica conmutada. Además de brindar servicios de localización. En los tiempos modernos, el uso de esta clase de sistemas ha quedado rezagado a aplicaciones en zonas poco pobladas (desiertos, selvas, polos) o en operaciones militares, ONGs o comunidades científicas o deportivas.

2.2.5 Sistemas Privados

Este tipo de sistemas se basan generalmente en sistemas RTP (Radio Telefonía Privada), y se caracterizan por tener cobertura limitada y diferentes configuraciones. Para su diseño se deben realizar amplios estudios de ingeniería tales como cálculos de cobertura y tráfico, dimensionamiento y diseño físico de la red, entre otras.

De acuerdo a Falcone et al. (2008, p.40) su funcionamiento se basa en sistemas dinámicos de frecuencias, en los cuales se usa un grupo definido de radio canales para el establecimiento de llamadas los cuales son asignados bajo demanda y liberados cuando su utilización ha finalizado.

Actualmente, los sistemas PMR presentan avances similares a los sistemas celulares; es así que se genera la radio telefonía de grupo cerrado (RTGC) en la época de los sistemas analógicos; y actualmente, su evolución es el sistema Terrestrial Trunked Radio (TETRA), el mismo que puede permitir el uso conjunto de voz y datos, o solamente datos. Los costes de implementación de redes TETRA son muy elevados, y debido a esto son relegadas a aplicaciones tales como servicios de emergencia o de seguridad.

2.3 Sistemas Celulares

Dentro de los sistemas de comunicación celular se puede efectuar el intercambio de varios tipos de información (voz, imágenes, video, datos, fax) entre los distintos terminales o estaciones.

Estos sistemas se basan en la división del espacio geográfico en áreas previamente determinadas las cuales tienen la forma de un hexágono ya que proporciona una transmisión más efectiva y su asociación prácticamente impide la presencia de espacios vacíos (Chimbo, 2012, p.42). De este modo cada zona se divide en un número determinado de células o celdas en dependencia de la población a la que debe servir, de la potencia de sus antenas, entre otros parámetros

Para comprender de mejor manera esta sección se presentan conceptos básicos dentro de los sistemas de comunicación celular.

2.3.1 Cobertura

Se puede definir la cobertura como la zona en la cual las estaciones móviles pueden efectuar comunicaciones con las estaciones base y viceversa. Su forma depende de la orografía y relieve de la zona en la que se encuentra.

2.3.2 Células o celdas

Se producen al realizar la división del espacio total de cobertura en zonas más pequeñas, de determinadas dimensiones y generalmente con forma de panal. Cada una de estas celdas, posee su propio transmisor.

2.3.3 Reutilización de frecuencias

Se entiende por reutilización de frecuencias la capacidad de la red de usar la misma frecuencia en áreas distintas para transmisiones distintas debido principalmente a los tamaños de bandas asignadas para las redes de comunicación celular (Vazquez & Guevara, 2013, p.27).

Sin embargo, debido a la proximidad de las distintas celdas se pueden provocar interferencias, las cuales pueden reducirse con el uso de antenas directivas. De este modo se incrementa el número de canales disponibles. Tal como se ilustra en la siguiente figura:

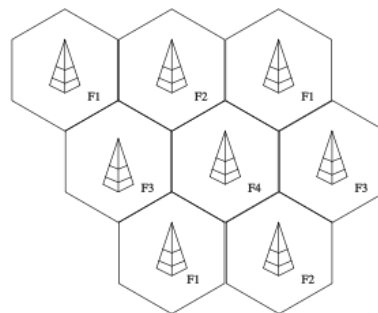


Figura 2-2: Reutilización de frecuencias

Fuente: <https://goo.gl/cpNVWo>

2.3.4 Señalización

La señalización comprende todas y cada una de las comunicaciones efectuadas con el fin de gestionar de manera correcta los recursos del sistema y así posibilitar la comunicación. De acuerdo con Chimbo (2012 , p.48) la señalización gestiona y asegura el establecimiento de conexiones confiables con un buen grado de calidad.

2.3.5 Traspaso

Conocido también como “handover”, es el proceso de migrar una comunicación establecida en un canal hacia otro, sin producir efectos adversos en la misma, ya que debe ser imperceptible al usuario (Vazquez & Guevara, 2013, p.28).

2.3.6 Itinerancia

También llamado “roaming”, consiste en la capacidad de registro de un móvil en una red distinta a aquella a la que pertenece originalmente; esto sucede cuando el usuario se traslada hacia el extranjero y en base a negociaciones entre distintos operadores de telefonía móvil puede seguir haciendo uso del servicio, ya que debe ser imperceptible al usuario (Vazquez & Guevara, 2013, p.28).

2.3.7 Componentes principales del sistema celular

En todo sistema de telecomunicaciones, se tienen los siguientes componentes:

2.3.7.1 Red de Acceso

Se puede decir que la red de acceso es el componente de la red de comunicación encargada de conectar los terminales móviles con las estaciones base y toma como interfaz el aire (Bellamy,1966, p. 29).

Por otra parte, es la responsable de la gestión de forma eficiente de los recursos de radio disponibles para la provisión de servicios portadores y se encarga de permitir la comunicación entre lo entre los equipos de usuario y la red de tránsito (Agusti et al, 2010, p.56)

Dicha red se ve conformada por los siguientes elementos:

- **Terminal móvil.** – Se relaciona directamente con el usuario final. Estos terminales tienen como tareas la modulación, codificación, transmisión, recepción y decodificación de las distintas señales

- **Interfaz.** – Se busca asegurar la simetría de enlaces, a la vez que se ejerce un uso óptimo del espectro; para ello se utilizan técnicas de multiacceso.

- **Técnicas de Acceso Múltiple.** – Para hacer uso de un determinado canal, existen diversos métodos; tal como se enlista a continuación:
 - **TDMA.** – Time Division Multiple Access o Acceso Múltiple por División de Tiempo. Este método se basa en el fraccionamiento de un determinado segmento de tiempo para un número preestablecido de usuarios, estableciendo así una secuencia que se repite periódicamente.

 - **FDMA.** - Frequency Division Multiple Access o Acceso Múltiple por División de Frecuencia. Este método se basa en la división del espectro de frecuencia determinado en varios segmentos más pequeños conocidos como subcanales.

 - **SDMA.** - Space Division Multiple Access o Acceso Multiple por División Espacial. Se basa en la fragmentación sectorial del espacio disponible; de modo que los distintos fragmentos se pueden utilizar dentro de otras celdas.

 - **CDMA.-** Code Division Multiple Access o Acceso Multiple por Division de Código. Se basa en la multiplexación y tiene como principio las tecnologías de espectro disperso.

- **Terminal Base** – Tiene como principal tarea el administrar el tráfico generado por las estaciones móviles. Permite la conexión de cada uno de estos terminales, ya sea entre ellos o mediante la central de conmutación.

2.3.7.2 Red de Tránsito

La red de tránsito se encuentra compuesta por la infraestructura que permite realizar las conexiones, y se encuentra en constante evolución; partiendo desde los transmisores analógicos y circuitos de conmutación, hasta la actualidad con transmisores digitales, técnicas de empaquetamiento de datos y métodos avanzados de conmutación. Según Agusti en (2010, p. 56) la red de tránsito es el principal encargado de la gestión del control de acceso a la red celular.

Sus principales elementos son:

- **Elementos de control.** – Son aquellos elementos que efectúan tareas de establecimiento, coordinación y señalización de la comunicación, tanto al interior como al exterior de la red. Así mismo, se encargan de realizar los trabajos de traspaso de llamadas entre distintas celdas o canales mediante algoritmos previamente establecidos.

- **Red.** La misma se establece sobre cada uno de los medios físicos que posibilitan la realización de transferencias de elevadas cantidades de datos entre dos puntos distintos.

2.3.8 Clasificación de Sistemas Celulares

En esta sección se presenta una breve descripción de los principales sistemas de comunicación celular.

2.3.8.1 Primera Generación (1G)

Se originan en 1979. Entre sus principales características se puede mencionar que esta generación es netamente analógica y su principal cometido es la transmisión de voz.

2.3.8.2 Segunda Generación (2G)

Con el avance de la tecnología, las limitantes de la generación anterior se hacen más evidentes, de tal modo que a principios de los años 90 se desarrolla un nuevo sistema, basado en la introducción de protocolos de telefonía digital, el que presenta las siguientes ventajas:

- Incremento del número de enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda.

- Integración de varios servicios en la misma señal (inclusión del SMS).
- Incremento de la capacidad de transmisión de datos desde módem y fax.

De igual manera que en la anterior generación, se desarrollaron varios estándares en su inicio, siendo GSM el más importante. GSM o Global System for Mobile Communications se presenta como buque insignia de esta generación; fue el primero en estandarizarse de manera global y se basa en la combinación de distintas tecnologías para la el reparto del canal. Principalmente se apoya en TDMA y FDMA. Este estándar ha sido diseñado para operar en cuatro bandas de frecuencia 850, 900, 1800 y 1900 MHz, siendo usada mayoritariamente la banda de 850MHz en nuestro país.

2.3.8.3 Generación 2.5G

En el proceso de evolución desde las redes 2G hacia las 3G, se produce la creación de GPRS (General Packet Radio Service), la misma que se caracteriza por su capacidad de usar simultáneamente varios canales. Dicha capacidad se obtiene al usar técnicas avanzadas de empaquetado de información, sin ser necesario el uso continuo de todos los canales; además, funciona tomando como base la infraestructura construida para GSM. Esta tecnología se conoce actualmente como 2.5G.

2.3.8.4 Tercera Generación (3G)

La tecnología 3G se basa en los avances presentados por 2.5G y 2.75G. Este sistema celular es el primero que se puede llamar “de banda ancha” y una de sus principales características es la confluencia de voz y datos con acceso a internet por medios inalámbricos. Es decir, esta tecnología es idónea para el uso de aplicaciones multimedia y realización de transmisiones de grandes cantidades de datos.

Dentro de los estándares que se desarrollan en esta generación se encuentran:

- Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS).
- Acceso de Paquetes a Alta Velocidad (HSPA).
- Acceso de Paquetes a Alta Velocidad Evolucionado (HSPA+).

2.3.8.5 Cuarta Generación (4G)

La tecnología 4G se fundamenta principalmente en LTE (Long Term Evolution o Evolución a Largo Plazo), la misma que se desarrolló entre 2003 y 2009 por 3GPP (3rd Generation Partnership Project) y surge como evolución de UMTS. Uno de los motivos principales que motivaron su desarrollo es la creciente necesidad de los usuarios del acceso a datos móviles. Su objetivo principal es el brindar tecnología móvil con capacidad de realizar transferencias de grandes cantidades de datos mientras genera accesibilidad universal al producir la convergencia de UMTS e IP (Vaca, 2005, p.120).

2.4 Redes Móviles de tercera Generación

Las tecnologías de acceso a la red usada son CDMA con mejoras y los protocolos que se usan en esta generación permiten el uso de altas velocidades de transmisión de información y tienen un especial enfoque en aplicaciones más allá de la voz, tales como audio, imágenes, gráficas, video, video llamada y acceso a internet.

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones estandariza el sistema de telefonía celular UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) de la norma IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) de la UIT.

2.4.1 Estándares creados dentro de 3G

2.4.1.1 UMTS

Sistema desarrollado por 3GPP en alianza con varias instituciones internacionales de normalización. Se diseña para permitir con mayor facilidad la transición desde la tecnología 2G hacia la 3G y busca eliminar los problemas de compatibilidad entre los distintos sistemas que funcionan bajo 2G. Forma parte de los estándares comprendidos en IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) que describen los parámetros de los sistemas móviles de tercera generación. De acuerdo con Carlevaro y Vazquez (2001, p.6) surge como versión Europea del estándar IMT-2000 y busca eliminar los problemas de compatibilidad entre los distintos sistemas que funcionan bajo 2G a la vez que hace un uso eficiente los recursos de las redes móviles y permite a los usuarios el acceso a una extensa gama de servicios.

Uno de los requisitos indispensables de funcionamiento de estos equipos es la compatibilidad con GSM y GPRS e incluso se puede decir que establece un vínculo vital entre IMT-2000 y GSM (Carlevaro y Vazquez, 2001, p.8). Además, requiere tecnología CDMA, lo que le permite alcanzar velocidades de transmisión de hasta 144Kbps. A continuación, se presenta un gráfico ilustrativo de la relación existente entre GSM, GPRS y UMTS.

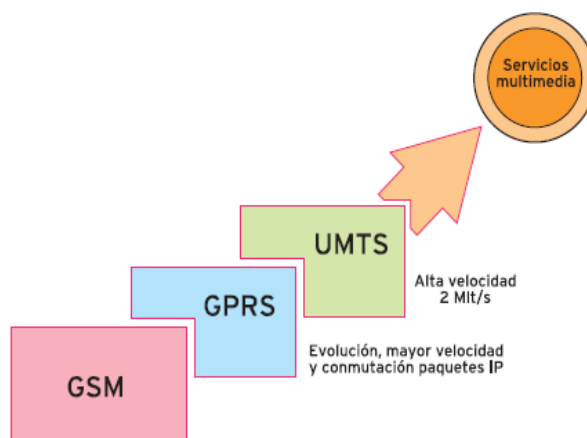


Figura 3-2: *Relación entre GSM, GPRS y UMTS*
Fuente: ©RED.ES – Plan Avanza. Ciudadanía Móvil
Realizado por: Díaz, O. 2017

2.4.1.2 HSPA (*High Speed Packet Access o Acceso de Paquetes de Alta Velocidad*)

Surge de la unión de las tecnologías HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). Una de sus principales características es el aumento de velocidad; alcanzando hasta 5.76 Mbps en las conexiones de subida y 14.4 Mbps en las conexiones de bajada. Además, con su implementación se redujo la latencia.

- **HSDPA.** – Es una mejora de UMTS, que se fundamenta en mini – conexiones de menor velocidad que 3G estándar y crea un nuevo canal en la conexión de bajada.
- **HSUPA.** - Es un complemento para HDSPA, potencia la conexión de subida aumentando la velocidad.

2.4.1.3 HSPA+ (*Evolved HSPA o HSPA Evolucionado*)

Con respecto a HSPA, presenta sustancialmente incrementos teóricos de velocidad; alcanzando los 22Mbps de subida y 84 Mbps de bajada. Sin embargo en la práctica estos valores son difícilmente alcanzables.

2.4.1.4 LTE (*Long Term Evolution o Evolución a Largo Plazo*)

Continuando con la evolución de GSM y UMTS, se origina LTE, catalogada por primera vez por 3GPP en el 2008. Se debe destacar que, por primera vez todos los servicios de la red móvil, pueden ser soportados por IP (Internet Protocol o Protocolo de Internet) (Hurtado, 2011, p. 28). Además, este estándar contempla velocidades de conexión comprendidas en el intervalo entre 100Mbps y 1Gbps.

La tecnología LTE fue diseñada con la finalidad de satisfacer al máximo los requerimientos del usuario (Alvarez, 2014, p.4) y presenta como principales características las siguientes:

- Arquitectura de red más simple.
- Disminución de los tiempos requeridos para conexión y de los tiempos de latencia.
- Uso más eficiente del espectro.
- Creación de dispositivos móviles más pequeños debido a la optimización de consumo de energía.

En concordancia con Hurtado (2011, p. 85) uno de los pilares del éxito de LTE en términos de visión de mercado fue la cantidad de equipos que en ese entonces funcionaban basados en sus predecesores UMTS y GSM.

2.5 **Redes Móviles de Cuarta Generación**

Su principal diferencia de su predecesora es la supresión de los circuitos de intercambio, y su posterior reemplazo con las redes basadas en protocolo de internet (IP). Así, se produce el avance de las redes móviles hacia aquellas en las que convergen tanto las redes cableadas como las

inalámbricas y se obtiene compatibilidad para un sin número de equipos, entre los cuales se pueden mencionar los módems inalámbricos, los teléfonos inteligentes; entre otros.

Soporta QoS (Calidad del Servicio), lo que hace posible el ofertar indistintos tipos de servicio, a costos menores; ya que se realiza una priorización del tráfico de datos dependiendo de las aplicaciones, entre las cuales se pueden presentar: acceso móvil a Internet, telefonía IP, juegos, videoconferencia y televisión móvil de alta definición.

En la actualidad, dentro de las redes móviles celulares uno de los problemas a combatir es la presencia de latencia en las comunicaciones, la cual afecta significativamente la QoS (Roblez & Egas, 2015, p.162). La latencia se puede presentar en operaciones de transferencia de información, tráfico en internet, video llamadas, entre otras. Motivo por la cual es de suma importancia la reducción o eliminación de la misma.

Dentro de este tipo de redes, se puede destacar las siguientes tecnologías:

2.5.1 Estándares creados de 4G

2.5.1.1 LTE Advanced

Esta tecnología; se presenta como la evolución de LTE, por lo cual su utilización se efectúa bajo las mismas bandas y equipos que su versión anterior. Dentro de las optimizaciones realizadas a LTE, se encuentra la optimización del uso de los recursos del espacio radioeléctrico, para lo cual se ha recurrido a la implementación de técnicas de acceso múltiple, tales como OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), la misma que efectúa la división del canal en subportadoras que son asignadas en grupos según los requerimientos de cada usuario.

2.6 Redes Celulares en el Ecuador

2.6.1 Breve Reseña Histórica de las Redes Celulares en el Ecuador

Los servicios de redes celulares fueron establecidos por primera vez en el país en el año 1994; mediante la firma de contratos con dos operadoras privadas, Conecel bajo la marca Porta y Otecel bajo la Marca Celular Power, el cual posteriormente pasaría a llamarse Bellsouth. Sin embargo, de

acuerdo a Gomezjurado et al. (2014, p. 131) el inicio de la telefonía celular en nuestro país se da a partir de 1992, año en el cual el directorio del extinto Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (IETEL) emite la reglamentación para las concesiones y en 1993 la Superintendencia de Telecomunicaciones establece los reglamentos de este tipo de servicios.

Para el año de 1997, la operadora Conecel registra un importante aumento de abonados, debido principalmente a su inversión en infraestructura para incrementar su cobertura y añadir nuevos servicios, tales como el envío de SMS. Al finalizar dicho año; Otecel registra 43000 líneas activas mientras que Conecel ya alcanza las 75000.

En el año 2000 la empresa mexicana América Móvil, propiedad del empresario Carlos Slim adquiere Conecel. Transcurridos tres años, se produce la introducción al mercado de la operadora estatal Alegro, sin mayor éxito debido a su poca infraestructura y al uso de tecnología que a la fecha no le brindaba grandes oportunidades de competencia. En el año 2007, la empresa española Telefónica Movistar adquiere Otecel y retira la marca Bellsouth implantando Movistar dentro de nuestro territorio. Para el año 2008 se produce una renegociación de los contratos establecidos con las operadoras existentes en ese momento.

En 2011 América Móvil retira la marca Porta e introduce un nuevo nombre para operar como Claro. Debido a los continuos avances de la tecnología, en 2014 se produce una nueva negociación entre el estado ecuatoriano y los operadores móviles, para la implementación de los servicios de red 4G, para lo cual el estado coloca más espectro radioeléctrico disponible a licitación por parte de las distintas operadoras. Además, se crean reglamentos para operadores bajo modalidad de Operador Móvil Virtual (ofrecen servicios de telecomunicaciones sin poseer infraestructura propia). En 2015, Otecel ingresa una nueva marca al mercado, la cual se conoce como Tuenti. Además, Claro levanta las primeras redes 4G en las ciudades de Quito y Guayaquil. Finalmente, en 2017 se prevé el ingreso de la primera Operadora Móvil Virtual, denominada Virgin Mobile.

2.6.2 Entes reguladores

A lo largo del tiempo han existido algunos entes encargados de la regulación de las telecomunicaciones dentro del estado ecuatoriano; los cuales se mencionan a continuación.

2.6.2.1 Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL)

Creada en 1992 tras aprobarse la Ley Especial de Telecomunicaciones. Se asignan funciones de regulación, control y monitoreo del espectro radioeléctrico en su totalidad; además de tareas de supervisión y control de operadoras y concesionarios.

2.6.2.2 Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL)

Creado en 1995 tras reformas a la Ley Especial de Telecomunicaciones, al cual se asignan las tareas de administración y regulación de las telecomunicaciones dentro del territorio nacional.

2.6.2.3 Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL)

Creado a la par de CONATEL y encargado de ejecutar e implementar políticas y regulación de telecomunicaciones asignadas por el CONATEL; entre ellos incluido el Plan Nacional de Frecuencias.

2.6.2.4 Ministerio Nacional de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL)

Creado en 2009, tiene como propósito la coordinación de acciones de asesoría con el fin de garantizar acceso igualitario a los servicios relacionados con las telecomunicaciones; de esta manera se asegura el avance de la sociedad de la información basado en las políticas del Plan Nacional del Buen Vivir.

2.6.2.5 Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP)

Originalmente CNT S.A. fue creada como la fusión de las desaparecidas Andinatel S.A. y PACIFICTEL S.A. A partir de 2010 se convierte en empresa estatal.

2.6.2.6 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones(ARCOTEL)

Es la agencia actual que asume las funciones de la extinta SUPERTEL y SENATEL. Es decir la encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico.

2.6.3 Operadoras de Redes Celulares

En la actualidad, dentro de nuestro país se encuentran habilitadas para la prestación de Servicios Móviles Avanzados (SMA) las siguientes operadoras:

- Conecel
- Otecel
- CNT

Las mismas, según datos de ARCOTEL registran un total de 15 037 221 líneas activas a nivel nacional; distribuidas según los porcentajes de participación dentro del mercado que se presentan en el siguiente gráfico:

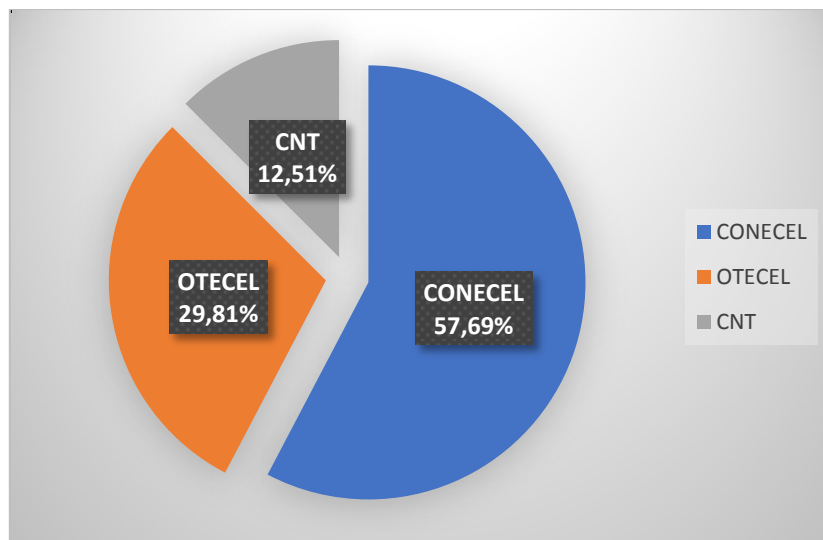


Figura 4-2: Porcentajes de participación de operadoras móviles dentro del mercado nacional.

Fuente: ARCOTEL, 2017

2.6.4. Tecnologías disponibles

En la actualidad; dentro de nuestro país existen las siguientes tecnologías disponibles en cuanto a redes celulares se refiere:

- GSM.
- UMTS.
- HSPA+.
- LTE.

Sin embargo, se debe considerar que en los inicios de este tipo de servicios existió la disponibilidad de tecnologías CDMA. Durante el año 2017 se produjo un incremento de usuarios de tecnología LTE considerable frente a los datos de períodos anteriores, el mismo que puede apreciarse en el gráfico que se presenta a continuación.

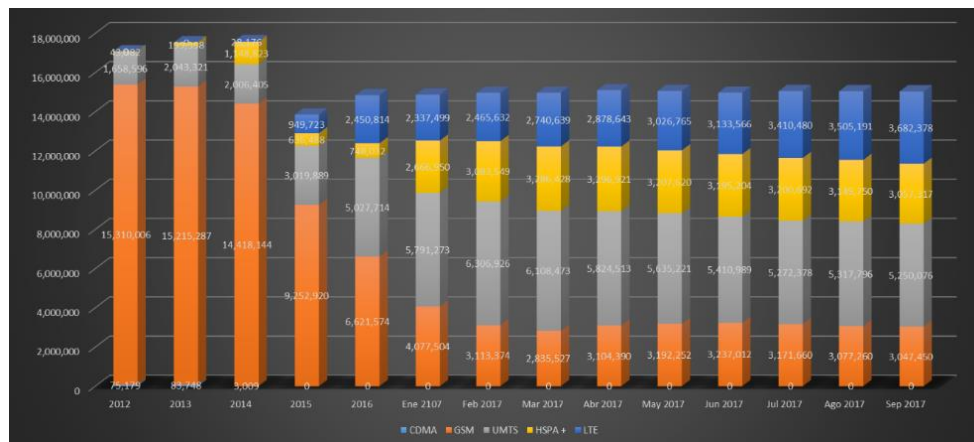


Figura 5-2: Cantidad de líneas activas según tecnología
Fuente: ARCOTEL, 2017

2.6.4.1. Frecuencias destinadas para tecnología LTE

A cada uno de los operadores se han asignado determinadas bandas de frecuencia, las mismas se detallan en la siguiente lista:

- Claro: 1700/2100 MHz (AWS o Banda 4)
- Movistar: 1900MHz (Banda 2)
- CNT: 1700/2100MHz (AWS o Banda 4) o también 700MHz (APT o Banda 28)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de la investigación

El presente trabajo es una investigación no experimental, que está basada en el estudio de las condiciones particulares de la red GSM y UMTS de la ciudad de Riobamba y de la aplicación de técnicas y optimizaciones propuestas por los estándares aplicados en otras redes y operadoras de la región. Por tratarse de un análisis llevado a cabo con base técnica la aplicación del diseño es longitudinal.

3.2. Métodos de investigación

Método Deductivo, mediante la comprensión de conceptos, definiciones, estándares y normas técnicas generales que involucran el conocimiento de redes celulares descubrir su comportamiento y plantear su optimización.

Método Inductivo, permite mediante el estudio de la situación de la Red 2G y 3G de un operador en particular de la ciudad de Riobamba se sugirió los mecanismos más adecuados de implementación de variantes en red que permitan obtener los objetivos en las demás redes.

Análisis, que permite descomponer en partes los hechos, ideas para mostrarlas, describirlas y así poder explicar las causas de los hechos y fenómenos a estudiar, relativos al comportamiento de las redes celulares.

Síntesis, Se reconstruyeron y unieron ciertos elementos circundantes al problema de investigación para facilitar la comprensión y enfocar los análisis para establecer las conclusiones de la investigación.

3.3. Enfoque de la investigación

Se aplicó el enfoque cuantitativo pues se pretende analizar y medir los datos antes y después de la implementación de cambios en la red GSM y UMTS en el entorno de la ciudad de Riobamba. Las características del objeto de investigación deben enfocarse dentro del ámbito de las telecomunicaciones. En la presente investigación se analizará el impacto desde el punto de vista técnico.

3.4. Alcance de la investigación

En lo referente al diagnóstico y propuestas de la red celular se usaran como objeto de estudio las redes GSM y UMTS del operador Conecel de la ciudad de Riobamba para el primer semestre del 2017.

3.5 Prueba de la hipótesis

Se empleó el método de hipótesis para medias

3.5.1 Planteamiento de la hipótesis

Partiendo de la hipótesis general y de la hipótesis específica más representativa la propuesta de optimización y cambios en la tecnología, permitirá tener mayores velocidades de datos en la ciudad de Riobamba. Volvemos a replantearla para simplificar tomando en cuenta la variable clave que es la velocidad de datos la cual va a ser comparada con una referencia que corresponde a las condiciones iniciales o promedio de velocidades de datos.

Hipótesis Nula (H0):

La propuesta de optimización y cambios en la tecnología permitirá tener velocidades de datos iguales o menores a las velocidades actuales en la ciudad de Riobamba

Velocidades de datos \leq Velocidades actuales.

Hipótesis Alterna (H1):

La propuesta de optimización y cambios en la tecnología permitirá tener velocidades de datos mayores a las velocidades actuales en la ciudad de Riobamba

Velocidades de datos $>$ Velocidades actuales.

Nivel de significación

Una vez establecida la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, se determina el nivel de significancia, y para este caso de estudio, se utiliza el nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis

Para probar la hipótesis se utiliza la media

Dónde: Se plantea un nivel de confianza del 95% o lo que es lo mismo $\alpha = 0.05$ o distribución de probabilidad del 5 % usando la función de distribución normal para el valor indicado nos da un valor de $Z = 1.645$ como punto crítico o decisión de aceptación o rechazo de la hipótesis.

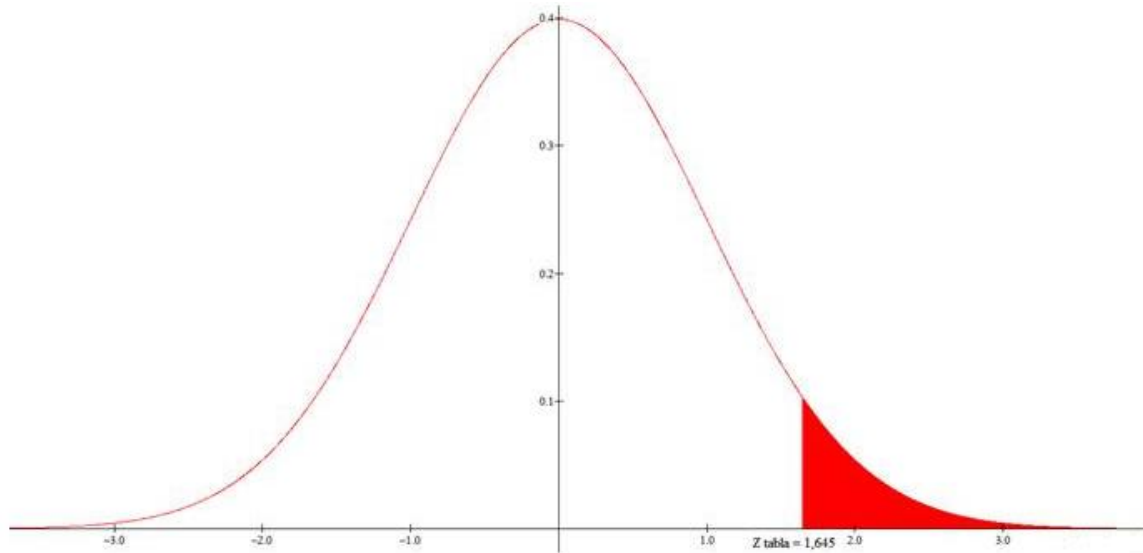


Figura 1-3: Área de aceptación y rechazo de la hipótesis
 Realizado por: Díaz, O. 2017

La regla de decisión será: No rechazar H_0 si el valor que encuentra de Z es menor o igual que 1,645. Si el valor que se encuentra es mayor al valor crítico, se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Determinación de la función Pivotal

:

μ Promedio de Referencia corresponde a las velocidad promedio de datos

\bar{X} El promedio de las mediciones medidas posterior a cambios

σ Desviación estándar de las muestras

n número de mediciones La función para un número mayor de 30 muestras está dada por:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Dónde en este caso 791

Cálculos de la función Pivotal

Se efectúa los cálculos para las dos tecnologías en estudio según la tabla mostrada y corresponde a las medidas de Troughput en un periodo de dos meses antes y después de la implementación de cambios en la red

Tabla 1-3: Datos y cálculo de función Pivotal para 791 muestras

	2G PS Throughput DL EDGE	HSDPA Throughput
PROMEDIO μ	135,1360311	624,9914454
MEDICIONES	148,2749742	790,8209824
DESVIACIÓN	22,81285226	362,8687962
Z	16,1982868	15,81760308

Realizado por: Díaz, O. 2017

Decisión y Conclusión

Los valores de Z obtenidos son superiores a al punto crítico de 1.645 por lo tanto está en la zona de rechazo de la H_0 entonces se llega a la conclusión que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis H_1 que es: “La propuesta de optimización y cambios en la tecnología permitirá tener velocidades de datos mayores a las velocidades actuales en la ciudad de Riobamba”.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estado de la red celular en la ciudad de Riobamba

4.1.1. Recursos disponibles en las redes móviles

El objetivo principal de una red móvil celular es la entrega del servicio tanto de voz y de datos requeridos por el usuario, para ello se debe usar de la mejor manera los recursos disponibles, por esta razón se detalla los diferentes recursos y requerimientos que interactúan en el sistema. Por un lado están los requerimientos a la red que dependen del número de Usuarios U y de tráfico demandado T como contra parte los requerimientos a la red deben ser atendidos por los recursos disponibles entre los cuales tenemos:

- Ancho de Banda o recurso de espectro Radioeléctrico B
- Eficiencia espectral E representada por el tipo de tecnología utilizada en la red para atender el servicio de datos en nuestro caso redes GSM , UMTS y LTE siendo la primera la que tiene menor eficiencia espectral y la ultima la que tiene la mejor.
- Superficie S que representa el área de cobertura

Como lo indica Agustí se presenta una demanda que debe ser cubierta por la red y es planteada en la siguiente ecuación:

$$B \times E/S = U \times T$$

Entonces es evidente los recursos con los que debemos trabajar para satisfacer la demanda de los clientes de las redes celulares.

4.1.2 Análisis de la situación actual de la red móvil de Riobamba.

Recurso Espectro Radioeléctrico disponible por los operadores celulares en la zona de estudio.

El espectro radioeléctrico es un recurso indispensable para proporcionar el servicio de telefonía de celular y servicios de datos inalámbricos; El espectro con el cual cuentan los operadores de telefonía celular es el que se describe a continuación.

Conecel

Tabla 1-4: Distribución espectro radioeléctrico, Operadora Conecel

Denominación	Enlace	Ancho de Banda (MHz)	Rangos (MHz)
Banda 850	Ascendente	12.5 MHz	824 – 835; 845 - 846.5
	Descendente	12.5 MHz	869 – 880; 890 - 891.5
Banda 1900	Ascendente	15.0 MHz	1880 - 1895
	Descendente	15.0 MHz	1960 – 1975
Banda AWS	Ascendente	20.0 MHz	1730 - 1750
	Descendente	20.0 MHz	2130 - 2150

Realizado por: Díaz, O. 2017

Otecel

Tabla 2-4: Distribución espectro radioeléctrico, Operadora Otecel

Denominación	Enlace	Ancho de Banda (MHz)	Rangos (MHz)
Banda 850	Ascendente	12.5 MHz	835 – 845; 846.5 - 849.0
	Descendente	12.5 MHz	880 – 890; 891.5 – 894.0
Banda 1900	Ascendente	30.0 MHz	1850 - 1880
	Descendente	30.0 MHz	1930 - 1960

Realizado por: Díaz, O. 2017

CNT

Tabla 3-4: Distribución espectro radioeléctrico, Operadora CNT

Denominación	Enlace	Ancho de Banda (MHz)	Rangos (MHz)
Banda 700	Ascendente	15.0 MHz	735 - 740
	Descendente	15.0 MHz	780 – 795
Banda 1900	Ascendente	15.0 MHz	1895 - 1910
	Descendente	15.0 MHz	1975 - 1990
Banda AWS	Ascendente	20.0 MHz	1710 - 1730
	Descendente	20.0 MHz	2110 - 2130

Realizado por: Díaz, O. 2017

4.1.3 Infraestructura disponible

Las operadoras celulares en la zona de estudio para brindar servicio cuentan con infraestructura (estaciones Celulares), en las cuales funcionan las diferentes tecnologías con las que proporcionan servicio a sus usuarios.

La infraestructura que se dispone en la zona de estudio es indicada en la siguiente tabla.

Tabla: 4-4 Número de estaciones en Riobamba

OPERADOR	ESTACIONES	TECNOLOGIA		
		GSM	UMTS	LTE
Conecel	21	16	21	0
Otecel	23	17	23	0
CNT	20	0	20	18

Fuente: ARCOTEL

4.1.4 Cobertura

La cobertura con la cual cuenta cada uno de los operadores de servicio en la zona de estudio, se puede consultar en sus páginas web correspondientes

Tabla: 5-4 Sitios Web de Consulta de Cobertura de las operadoras Celulares.

OPERADOR	PAGINA WEB
Conecel	https://www.claro.com.ec/personas/servicios/servicios-moviles/cobertura/
Otecel	https://www.movistar.com.ec/productos-y-servicios/cobertura
CNT	https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal/?u=-78.64128,-1.67501,14

Realizado por: Díaz, O. 2017

Como ejemplo se muestran las coberturas disponibles para tecnología UMTS (3G) en la zona de estudio para las tres operadoras.

Conecel

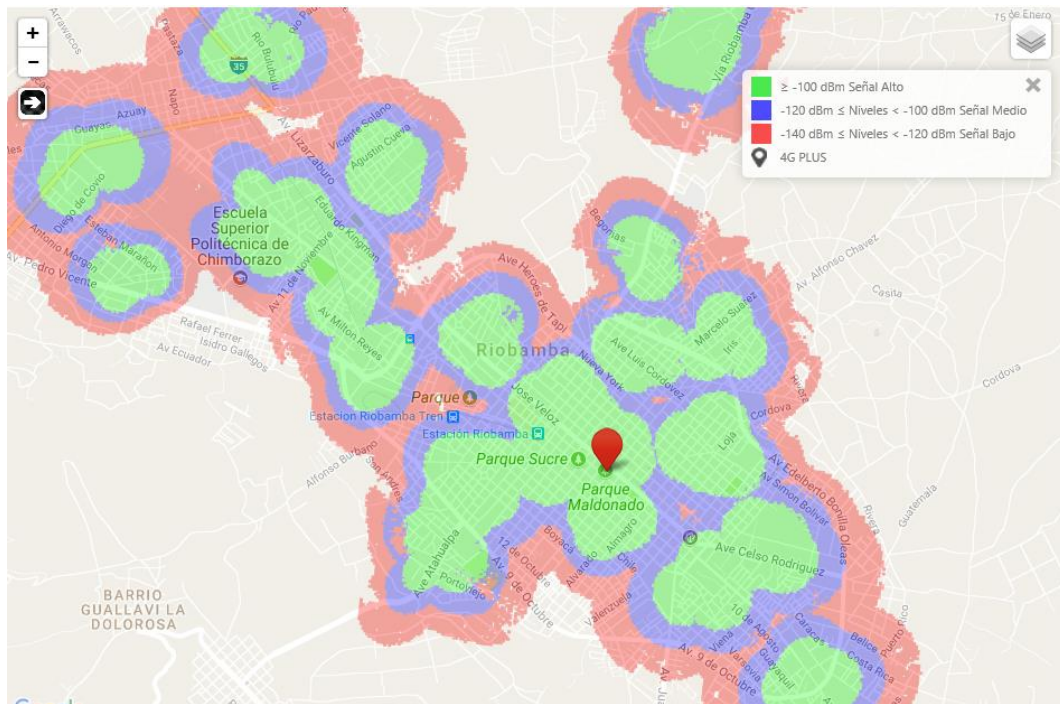


Figura 1-4: Cobertura UMTS (3G) Riobamba, Conecel
 Fuente: <http://www.claro.com.ec/personas/servicios/servicios-moviles/cobertura/>

Otecel.

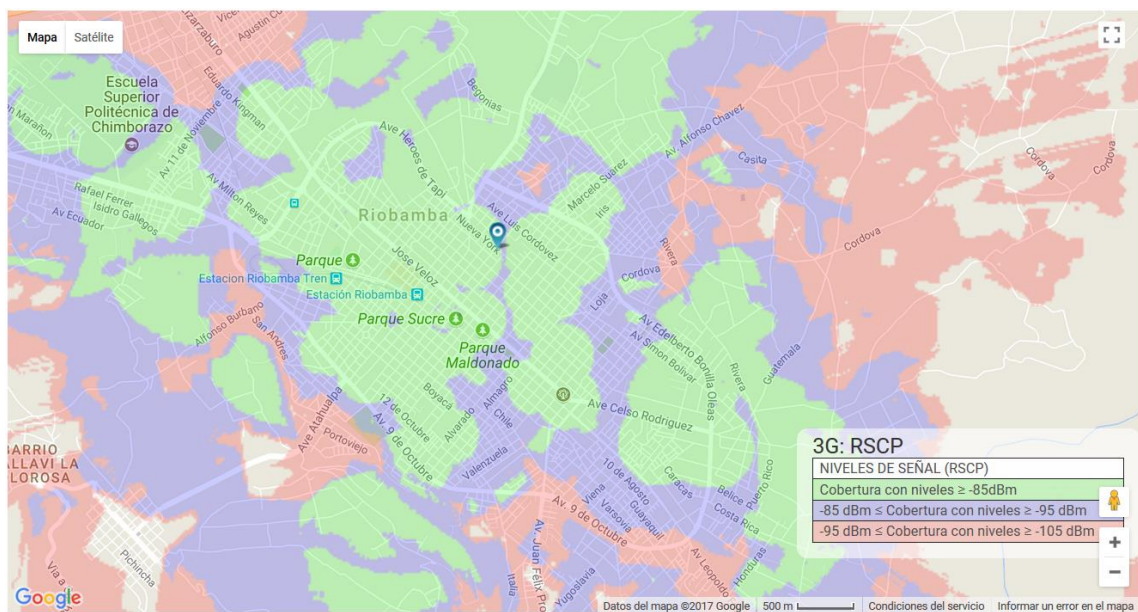


Figura 2-4: Cobertura UMTS (3G) Riobamba, Otecel
 Fuente: <https://www.movistar.com.ec/productos-y-servicios/cobertura>

CNT.

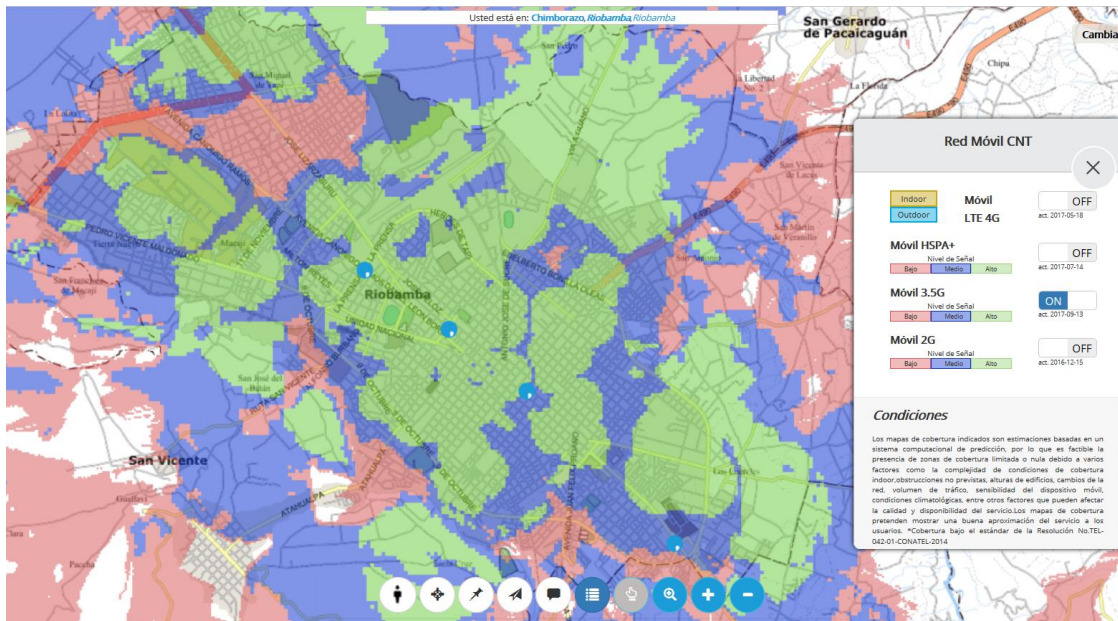


Figura 3-4: Cobertura UMTS (3G) Riobamba, Operadora CNT
Fuente: <https://gis.cnt.gob.ec/appegeportal/?u=-78.64128,-1.67501,14>

Las coberturas de cada una de las operadoras son similares sobre todo por el tipo de terreno predominante en la ciudad que es muy plano y con pocas irregularidades, tiene pocas elevaciones y esta marginado en su lado inferior izquierdo por el río Chibunga.

4.1.5 Análisis de la situación actual del servicio de Datos para Operador Conecel.

A continuación, se realiza un análisis de la situación actual del servicio de datos que brinda el operador Conecel, para la zona de estudio. En el análisis correspondiente se considera los principales indicadores de una red celular, los mismos que son monitoreados por el ente regulador ARCOTEL e indicadores propios de la operadora.

Los principales indicadores de red de Datos son los siguientes:

- Inaccesibilidad de Datos
- Drop call de Datos o no Retenibilidad
- Throughput (Uplink, Downlink)
- Volumen de Tráfico de datos

Las metas de estos indicadores que la operadora Conecel tiene para su red se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6-4: Metas de KPIS PS, Operadora Conecel

	KPIS	Inaccesibilidad	Drop Call	Throughput GPRS	Throughput EDGE	Throughput HSDPA
2G	Datos	1%	2%	> 40kbps	> 128kbps	
3G	Datos	2%	2%			>1Mbps

Realizado por: Díaz, O. 2017

4.1.6 Inaccesibilidad de Datos.

Es la dificultad que experimenta un usuario para disponer de recursos para iniciar una conexión de datos en la red GPRS/EDGE o en la red 3G (UMTS).

La inaccesibilidad de datos se calcula en base a la siguiente formula:

$$\text{Inaccesibilidad Datos (\%)} = \frac{\text{Intentos fallidos}}{\text{Intentos de establecimiento}} \times 100$$

En estadísticas obtenidas de enero a junio de la operadora Conecel se observa que la inaccesibilidad de datos se encuentra inferior a 1%, que se encuentra dentro de los rangos normal para una red GPRS/EDGE.

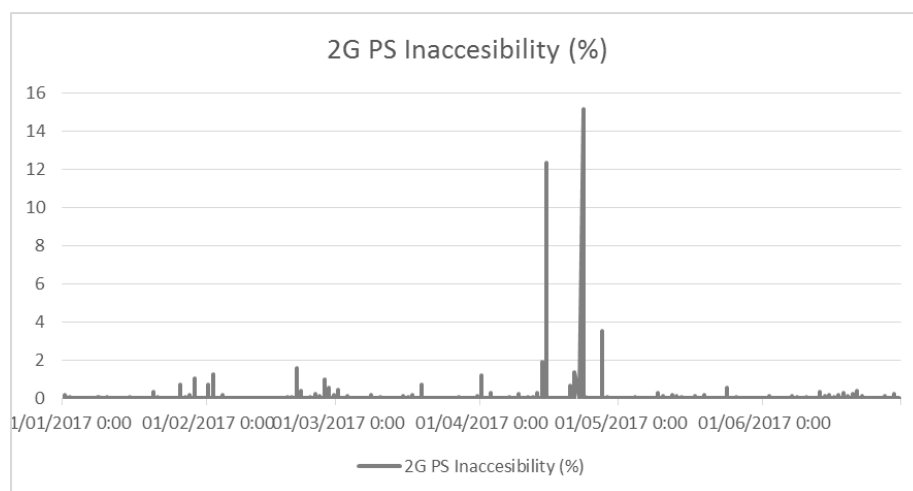


Figura 4-4: 2G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

La inaccesibilidad de datos en la red GPRS/EDGE de la operadora Conecel en la zona de estudio cumple con su meta establecida, sin embargo, entre los meses de abril y mayo se tiene picos de superiores al 10%, esto seguramente ocasionada por alguna falla en una de sus estaciones celulares.

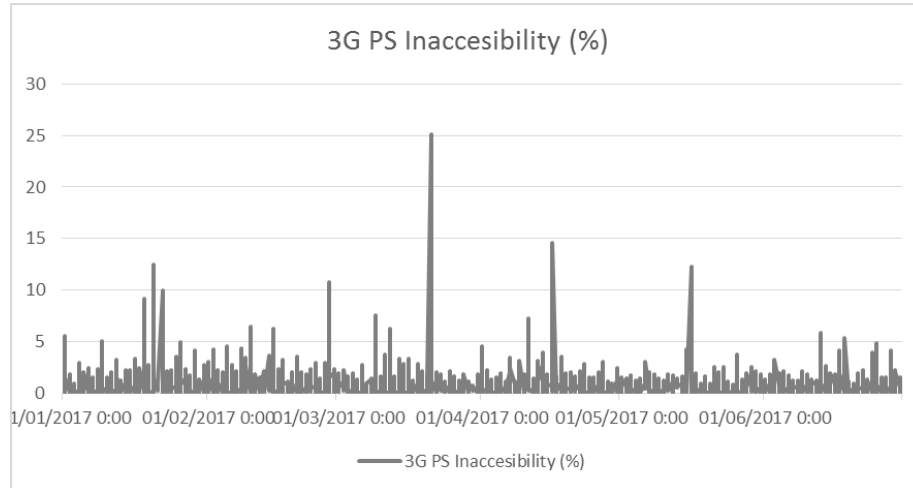


Figura 5-4: 3G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

La inaccesibilidad en la red 3G (UMTS) se aprecia que se encuentra por encima de la meta establecida, por lo cual se requiere un proceso de optimización para mejorar este indicador. Las causas para que este indicador este fuera de su meta puede ser varias, entre las que se puede mencionar: carga de usuarios, falla en la configuración de equipos, sistema radiante, etc.

4.1.7 Drop Call de Datos o No Retenibilidad

Es la interrupción de una conexión de datos establecida entre el MS y BTS sin que el usuario realice acción alguna. Se mide en porcentaje respecto al universo de las conexiones establecidas en la Red GPRS/EDGE o en la red 3G (UMTS).

El % de Drop Call de datos se calcula de la siguiente manera:

$$Drop\ Call\ Datos\ (\%) = \frac{Conexiones\ Establecidos - Conexiones\ Liberados\ normalmente}{Conexiones\ Establecidos} \times 100$$

A continuación, se muestra estadísticas del comportamiento de este KPI para la zona de estudio y de un periodo de enero a junio.

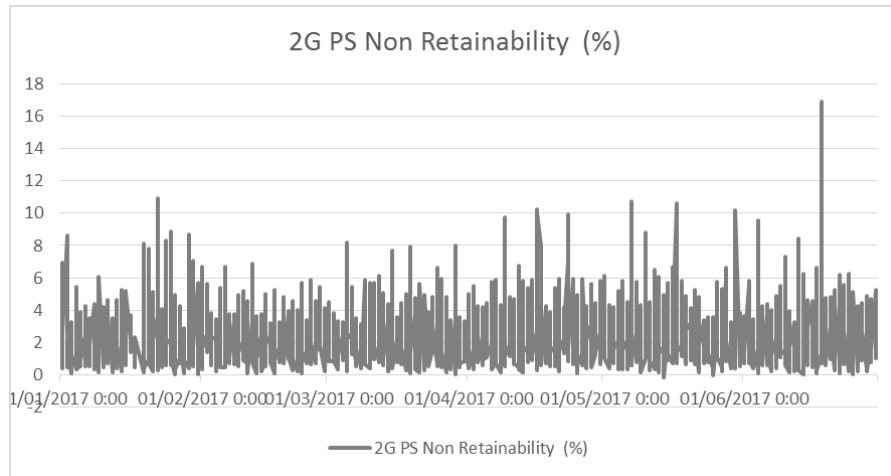


Figura 6-4: 2G PS No Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

El Drop Call de datos o no Retenibilidad para la red GPRS/EDGE se aprecia que no cumple con los valores de la meta establecida por la Operadora en la zona de estudio, esto se puede deber a factores como: Falta de capacidad en la red GPRS/EDGE, Propagaciones excesivas de las estaciones de servicio, por lo cual se requiere la determinación de la causa raíz del incumplimiento de este KPI.

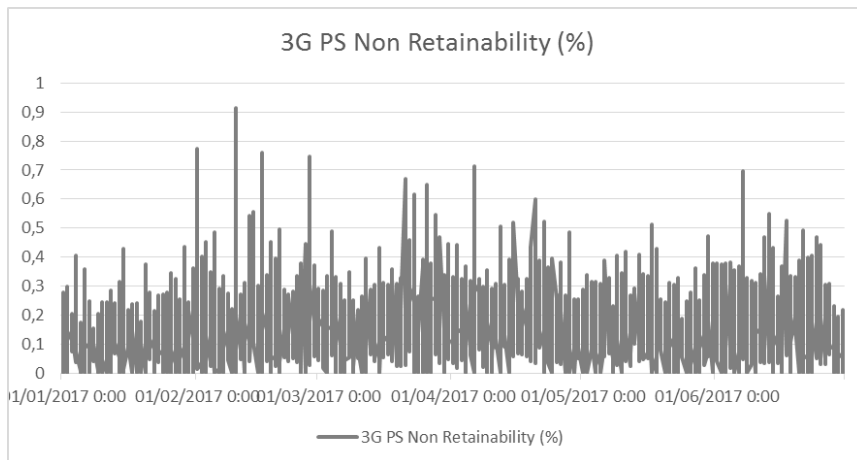


Figura 7-4: 3G PS No Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

La red 3G (UMTS) se aprecia que cumple con el valor objetivo del KPI Drop Call de Datos.

4.1.8 Throughput (Uplink, Downlink)

Es la velocidad de transferencia de información entre el terminal móvil (MS) y la estación Base BTS, esta transferencia de información se realiza en sentido ascendente desde el MS hacia la BTS (uplink) y viceversa (Downlink). Su unidad de medida es bits/s. A continuación, se muestra estadísticas del comportamiento de este KPI para la zona de estudio y de un periodo de enero a junio.

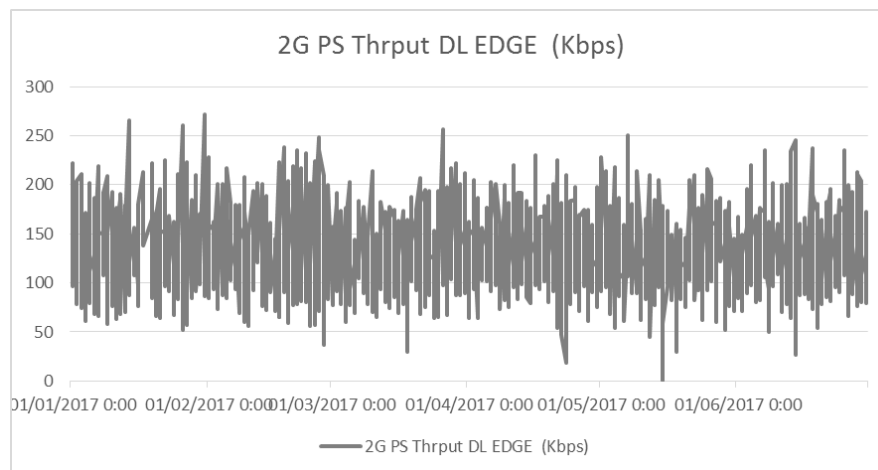


Figura 8-4: 2G PS Throughput DL EDGE, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

Las velocidades de GPRS/EDGE en la zona de estudio cumple con los valores objetivos de la Operadora, alcanzando valores promedios de 140Kbps.

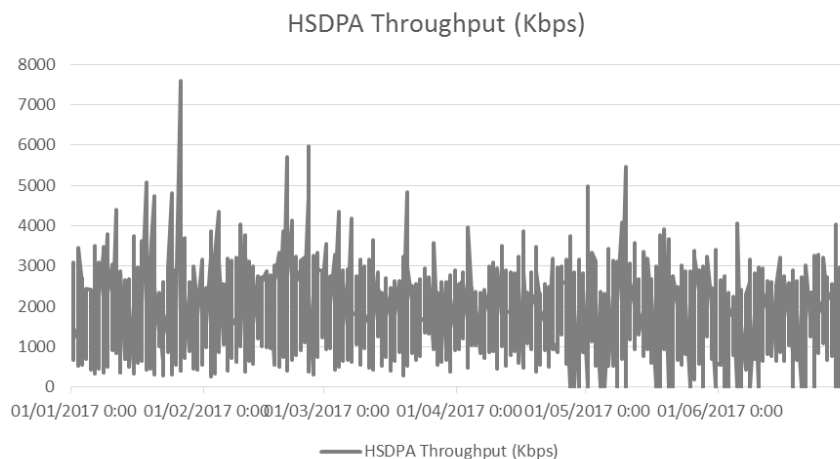


Figura 9-4: 3G HSDPA Throughput, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

Las velocidades de la red 3G (UMTS) en la zona de estudio no alcanza los valores establecidos como meta por lo que se requiere un proceso de mejora para alcanzar los valores objetivos, determinando las causas las cuales de su bajo performance.

4.1.9 Volumen de Tráfico de Datos.

Cantidad de información transferida desde y hacia la red celular por parte de los usuarios de la red celular. El volumen de datos se mide en Bytes.

$$\text{Volumen de Datos} = \text{Total de Bytes}$$

A continuación, gráficas de tráfico de datos cursado en el periodo de enero a junio de la operadora.

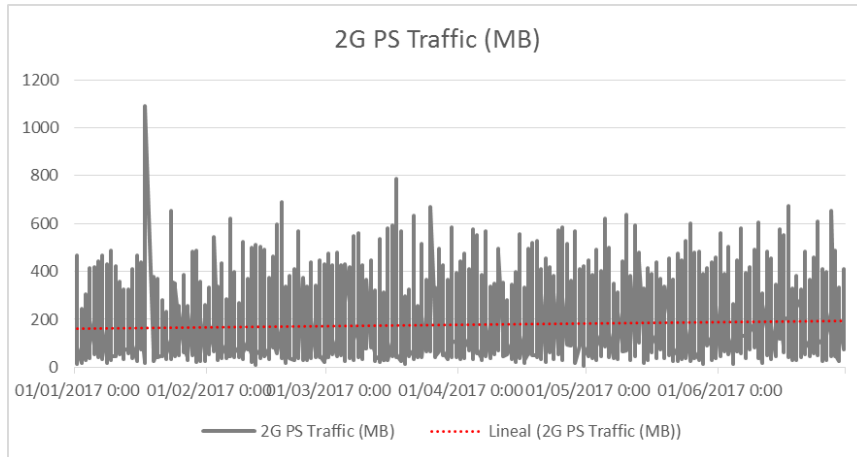


Figura 10-4: 2G PS Tráfico, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

Para tecnología GPRS/EDGE la zona de estudio cursa un promedio de 178 MB por hora

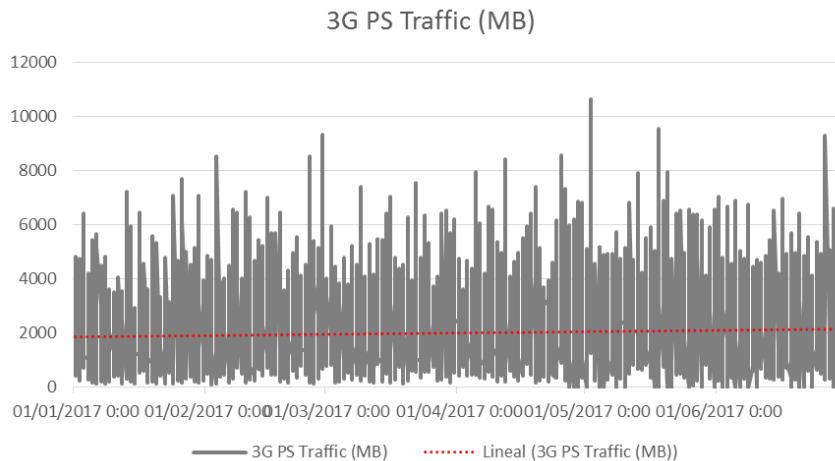


Figura 11-4: 2G PS Tráfico, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

De la gráfica se puede concluir que en la zona de estudio para la tecnología 3G (UMTS) se cursó un promedio por hora de 2200 MB, lo que se tramita en promedio diario de 28000 MB.

Comparando el tráfico cursado de la red GPRS/EDGE con la red UMTS, se observa que el volumen de tráfico cursado por la red UMTS es 12 veces mayor para la zona de estudio.

4.1.10 Resumen General de la situación actual.

Para el análisis del comportamiento de datos en la zona centro de la ciudad de Riobamba para la Operadora A, se toma un periodo de tiempo de enero a junio del 2017. Las fuentes de los datos recopilados son los contadores de la BSC para el caso de GSM (2G) y de la RNC para el caso de UMTS (3G). A continuación, se grafican las estaciones GSM/UMTS que se tomaron en consideración para realizar el análisis del comportamiento de los KPIs de datos de la Operadora.

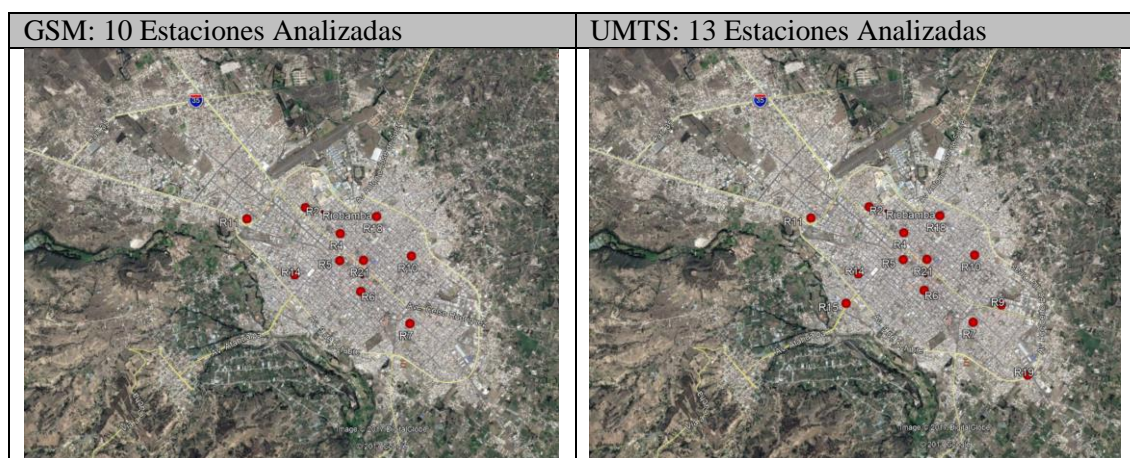


Figura 12-4: RBS GSM/UMTS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los principales KPIs que se han analizado para la zona de estudio, con la meta de cumplimiento establecida por la operadora.

Tabla 7-4: KPIs PS Situación Actual, Operadora Conecel

KPI de Datos	META		GSM (2G)	UMTS (3G)
	2G	3G		
Inaccesibilidad de Datos	1%	2%	OK	NOK
Drop call de Datos	2%	2%	NOK	OK
Throughput (Downlink)	> 128kbps	> 1Mbps	OK	NOK
Volumen de Tráfico de datos			178 MB/h	2200 MB/h

Realizado por: Díaz, O. 2017

Para mejorar los indicadores de la red de datos GSM(2G) / UMTS(3G), se requiere iniciar un proceso de optimización de cada una de las redes indicadas, este proceso de optimización toma su tiempo, puesto que para la ciudad de Riobamba se ejecuta un proceso de modernización de la red GSM, implementación de nuevas portadoras para la red UMTS e implementación de nueva tecnología LTE.

Tabla 8-4: Resultados Análisis velocidad de datos operadora Conecel

KPI de Datos	META		GSM (2G)	UMTS (3G)
	2G	3G		
Throughput (Downlink)	> 128kbps (103 %)	> 1Mbps (60 %)	OK	NOK

Realizado por: Díaz, O. 2017

4.2 Propuesta de Optimización de recursos para mejorar la transmisión de datos.

4.2.1 Propuesta de Distribución del Espectro Radioeléctrico.

En base al recurso disponible de espectro radioeléctrico por la operadora A, se tiene las siguientes propuestas de distribución para las tecnologías que se dispone para implementar en la ciudad de Riobamba.

4.2.1.1 Consideraciones generales

- La banda 850 MHz tiene mayor propagación respecto a las bandas 1900 MHz y 2100 MHz (AWS).
- La Banda 850 MHz tiene mejor penetración para brindar servicio en interiores de edificios y unidades habitacionales, por tener una mayor longitud de onda, respecto a las bandas altas 1900 MHz y 2100MHz.

4.2.1.2 Propuesta de distribución GSM_850/1900, UMTS_850/1900 y LTE AWS

Para la Tecnología GSM (2G), teniendo presente que está más orientada brindar servicio de Voz y cobertura amplia para llegar a la mayor cantidad de usuarios se propone la siguiente distribución del espectro radioeléctrico y configuración de sus canales de control y tráfico.

- Canales de control y canales de tráfico en banda 850 MHz
- Canales de tráfico en banda 1900 MHz
- GSM trabajaría en configuración de Común BCCH, un único canal de control para las dos bandas de frecuencia.

Para tecnología UMTS (3G), teniendo presente que esta tecnología mejor desempeño para servicios de datos y tratando de tener una cobertura y penetración adecuada, se recomienda contar con la siguiente distribución del espectro radioeléctrico.

- Contar con una portadora de 5 MHz en la banda 850 MHz, que se desempeñe como portadora de cobertura.
- Implementar 2 portadoras en la Banda 1900 MHz, para soporte de tráfico y mejora de percepción de usuario en el servicio de datos.

Para tecnología LTE (4G), se utiliza la banda AWS (2100 MHz) con un ancho de banda de 20 MHz para el enlace ascendente y 20 MHz para el enlace descendente.

- Una portadora de 20 MHz
- Se implementa en zonas de alta concentración de tráfico de datos, puesto que esta tecnología está diseñada para tener un alto rendimiento en servicio de datos.

En base a lo indicado anteriormente la se tendrá una distribución del recurso espectro radioeléctrico como se muestra en el gráfico 13-4

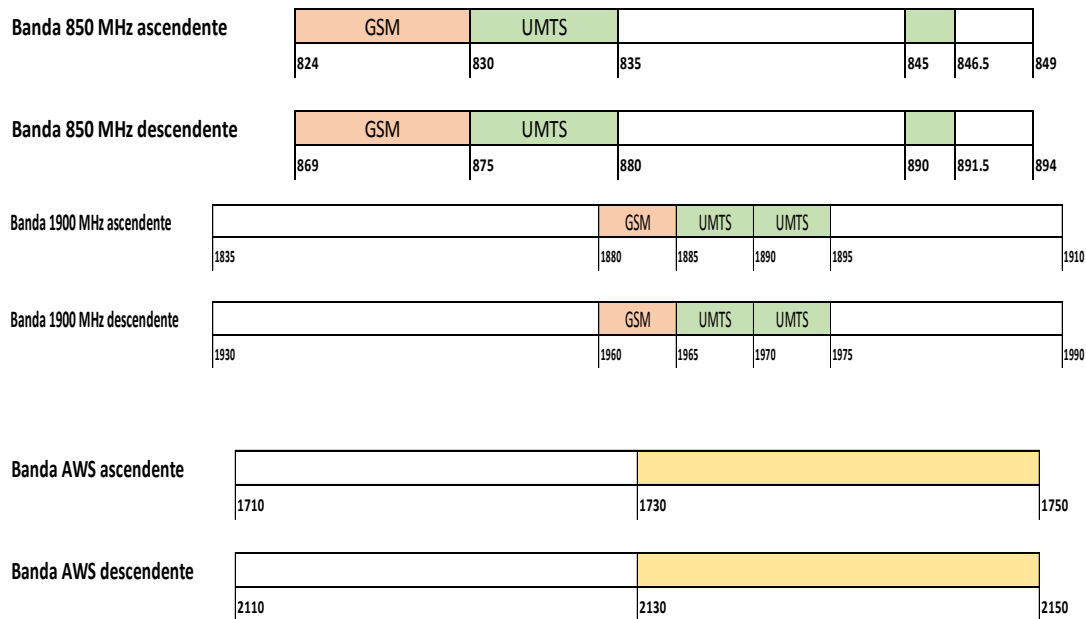


Figura 13-4: Propuesta de Distribución Espectro Radioeléctrico por tecnología, Operadora Conecel
Realizado por: Díaz, O. 2017

4.2.1.3 Propuesta de distribución GSM_850, UMTS_850/1900 y LTE 1900/AWS

Esta propuesta es posible siempre y cuando los usuarios de tecnología GSM hayan migrado a las tecnologías superiores esto es a 3G para hacer uso de Voz/Datos y 4G para uso de Datos. Los usuarios que se mantendrían en GSM (2G) serán los que no hayan cambiado sus terminales con los que soportan tecnologías superiores.

UMTS contará con una portadora de cobertura en 850 MHz y Dos portadoras para soporte de tráfico y mejora de experiencia de usuario.

LTE podrá hacer uso del espectro liberado de GSM en la banda de 1900 MHz para implementar una portadora de 5 MHz, con lo cual mejora el performance de velocidades en 4G, implementando agregación de portadora, con un total de 25 MHz de ancho de banda.

En base a lo expuesto la distribución del espectro radioeléctrico es indica en el gráfico 14-4.

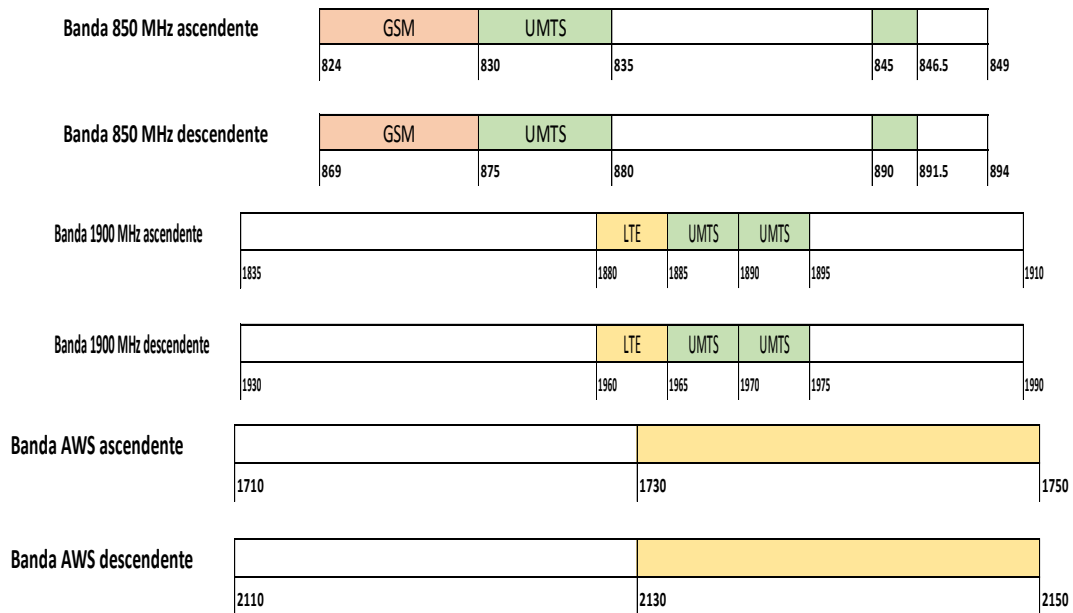


Figura 14-4: Propuesta de Distribución Espectro Radioeléctrico por tecnología, Operadora Conecel
Realizado por: Díaz, O. 2017

Existirían otras posibles distribuciones del recurso espectro radioeléctrico en función del crecimiento de usuarios en las tecnologías UMTS/LTE que son orientadas al servicio de Datos.

4.2.2 Propuesta de mejora en infraestructura.

4.2.2.1 Incremento del número de estaciones celulares.

Para realizar la propuesta de nuevas estaciones celulares en la zona objetivo se tiene que realizar el siguiente proceso.

- Efectuar un recorrido de evaluación de la zona midiendo Niveles de señal y calidad para cada una de las tecnologías

Para GSM (2G): Rx level del canal de control

Para UMTS (3G): RSCP Potencia de canal Piloto

Para LTE (4G): RSRP y RSRQ del canal de control

- Procesamiento de la información recolectada en los recorridos, determinando las zonas de bajos niveles de señal, calidad y posterior determinando las zonas en las cuales no es factible

mejorar con las estaciones existente, las mismas que se convierten en zonas objetivos para implementar nueva infraestructura.

- Las zonas objetivos para implementar nueva infraestructura, pueden definirse en base a las predicciones con la infraestructura existente a la fecha de estudio, y estas se ratificaran con los resultados de los recorridos de evaluación de niveles de señal y calidad.

Como ejemplo se muestra en el gráfico 15-4, una zona factible de implementar nueva infraestructura, en base a las predicciones obtenidas con la infraestructura existente a la fecha.

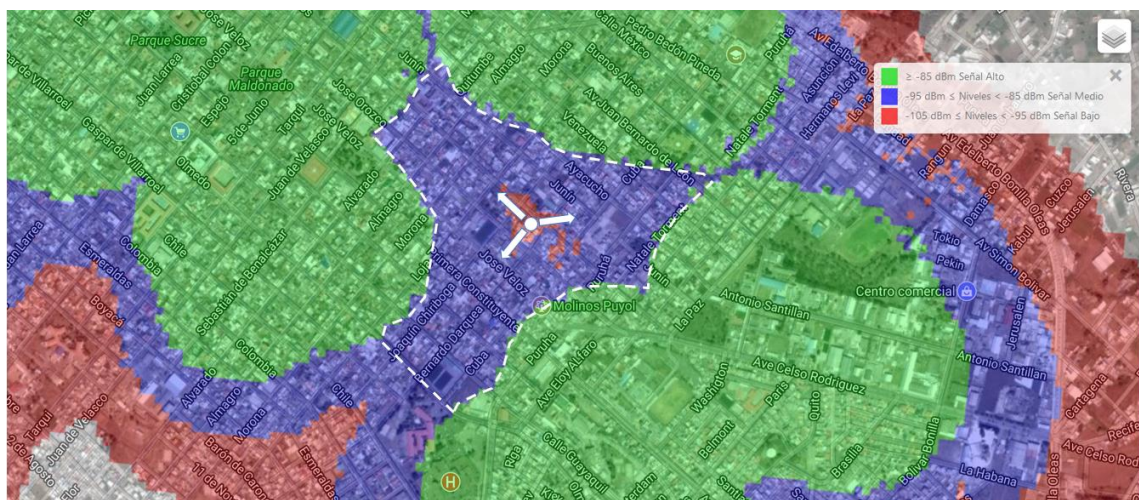


Figura 15-4: Propuesta de ubicación de Nueva Estación Celular.
Realizado por: Díaz, O. 2017

En la zona centro de la ciudad de Riobamba se aprecia niveles de cobertura bajos y medios; en este punto se propone la implementación de un nuevo sitio celular, para mejorar los niveles de señal y calidad; Se propone la orientación del sistema radiante para cubrir de mejor manera la zona objetivo de mejora.

4.2.2.2 Incremento de número de sectores en la infraestructura existente.

Con el incremento del tráfico de Datos Móviles existen formas de incrementar la capacidad de las redes estas son Incremento o redistribución de espectro radioeléctrico, mejora a través de actualizaciones tecnológicas (Modernización de equipos), incremento de infraestructura. El incremento de infraestructura se puede realizar mediante la adición de small cell y macro sectores,

este último es muy sencillo de implementarlo se enfrenta a dificultades por el solapamiento de sectores lo que ocasiona que se produzcan interferencias.

La solución para incrementar capacidad implementando nuevos sectores es utilizar antenas de multihaz, las que por su diseño minimizan el solapamiento entre haces de radiación, como apreciamos en el gráfico 16-4, donde se compara los patrones de radiación de antenas tradicionales, con antenas multihaz.

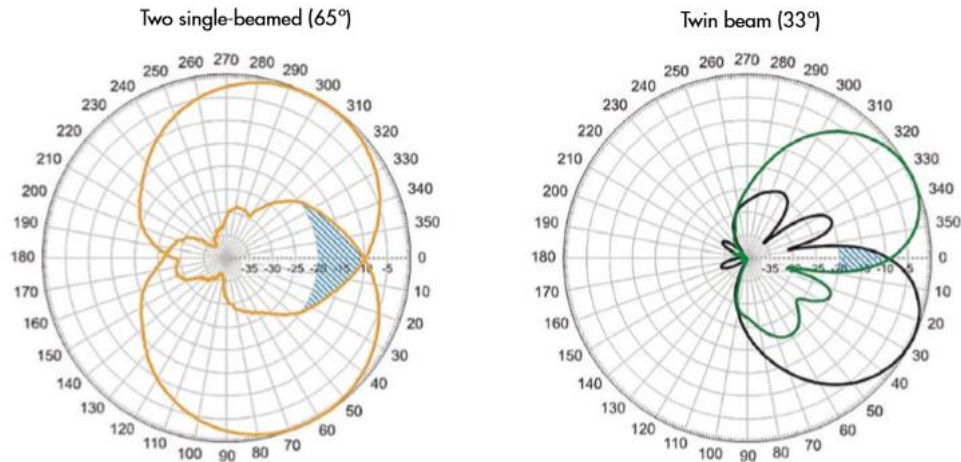


Figura 16-4: Patrones de radiación Antena Tradicional Vs Antena Multihaz.

Fuente: Dr. Mohamed Nadder Hamdy, PhD, Multibeam antennas planning— limitations and solutions, January, 2016

Para implementar esta solución lo que se realiza es cambiar la antena tradicional con la antena multihaz conservando el azimut de la antena tradicional, con lo cual se logra un impacto mínimo en la red al momento de implementación. Como ejemplo lo podemos apreciar en el gráfico 17-4, que muestra el proceso de implementación de nuevos sectores realizando un cambio de antenas tradicionales por antenas multihaz.

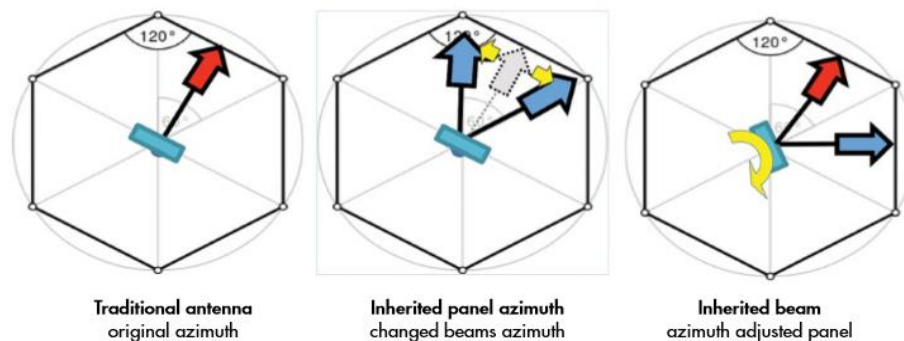


Figura 17-4: Reemplazo de Antena Tradicional por Antena Multihaz.

Fuente: Dr. Mohamed Nadder Hamdy, PhD, Multibeam antennas planning— limitations and solutions, January, 2016

4.2.2.3 Propuesta de Mejora mediante optimización

Tomando como base las metas de KPIs plantados por la Operadora, se procede a efectuar el análisis de los diferentes indicadores y determinar los sectores incidentales y cuál es la causa raíz para la desviación de los valores objetivos.

Las principales acciones a ejecutar para mejorar el performance de la red de datos móviles son las siguientes:

- Análisis de capacidad de transmisión para soportar el tráfico demandado por la estación celular.
- Acción por ejecutarse: ampliación de ancho de banda en el caso de TX IP, o ampliación de EIs en caso de TX ATM.
- Un sitio celular que se integra a la red, con las tecnologías GSM/UMT/LTE al menos debe contar con los siguientes anchos de banda en Transmisión para cada una de las tecnologías:

Tabla 9-4: Anchos de Banda de TX requeridos para una nueva estación

Tecnología	Ancho de Banda en Transmisión
GSM (2G)	2 MB
UMTS (3G)	10 MB
LTE (4G)	100 MB

Realizado por: Díaz, O. 2017

- Análisis de propagación de cada uno de los sectores en la zona objeto de estudio.

Acción por ejecutarse: Control de propagación mediante ajuste al sistema radiante (Cambios de Tilt, Azimut), basado en las características físicas, electromagnéticas del sistema radiante y morfología de zona geográfica. El objetivo principal del control de propagación es mejorar los KPIs de Inaccesibilidad, DropCall, Definir un servidor único en la zona de servicio de la RB, mejorando los niveles de señal y calidad, con lo cual se mejora la experiencia del usuario alcanzando mejores velocidades para carga y descarga de Datos lo que mejora la percepción del servicio hacia el usuario.

- Análisis de recorridos de evaluación de niveles de señal y calidad de cada una de las tecnologías.

Acciones por ejecutar: Ajuste del sistema radiante para disminuir o incrementar la propagación de los sectores en base a los resultados del recorrido realizado.

En la ciudad de Riobamba, las distancias entre sitios celulares para la Operadora objeto de estudio se encuentran entre 450 metros la mínima distancia y 1500 metros la distancia máxima, obteniendo un promedio entre sitios celulares de 960 metros, por lo que la propagación un sitio no debería ser superior a 1000 metros o al menos el 85% de su tráfico debería encontrarse en este rango de distancia.

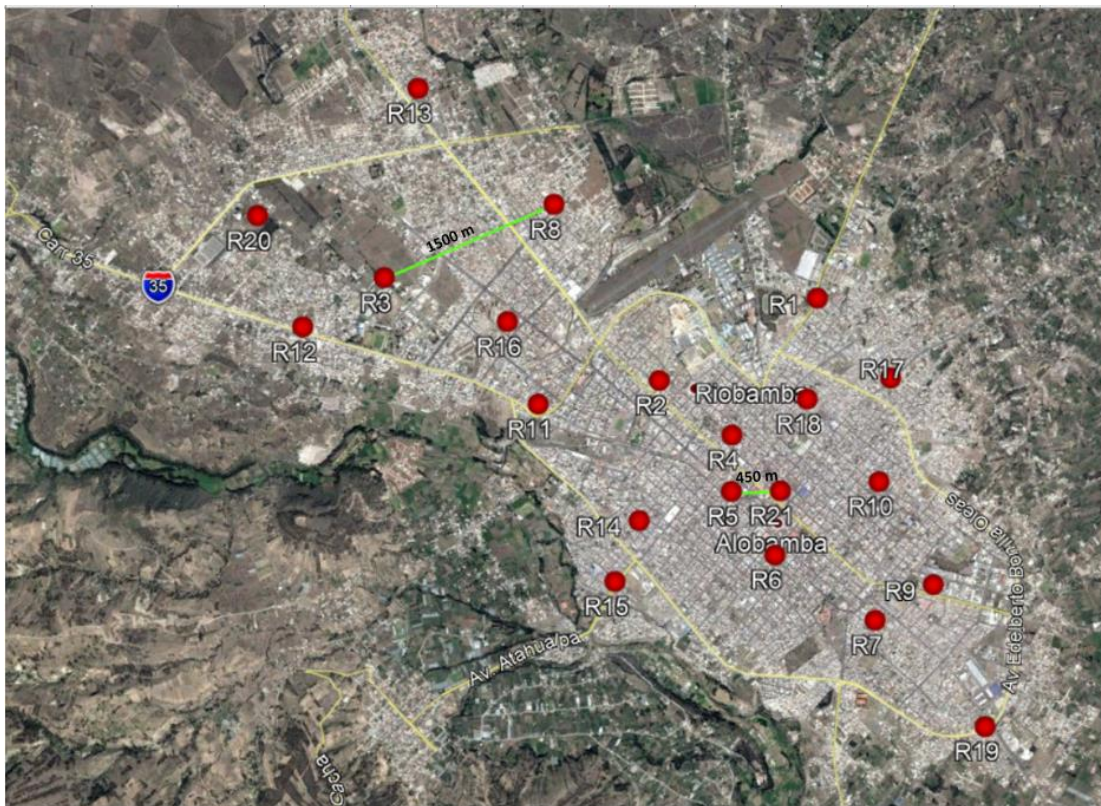


Figura 18-4: Distancias entre RBS de Operador Conecel.
Realizado por: Díaz, O. 2017

A continuación, se presenta un ejemplo de la distribución de propagación de un sitio UMTS con sus rangos de distancia y porcentajes de muestras de tráfico.

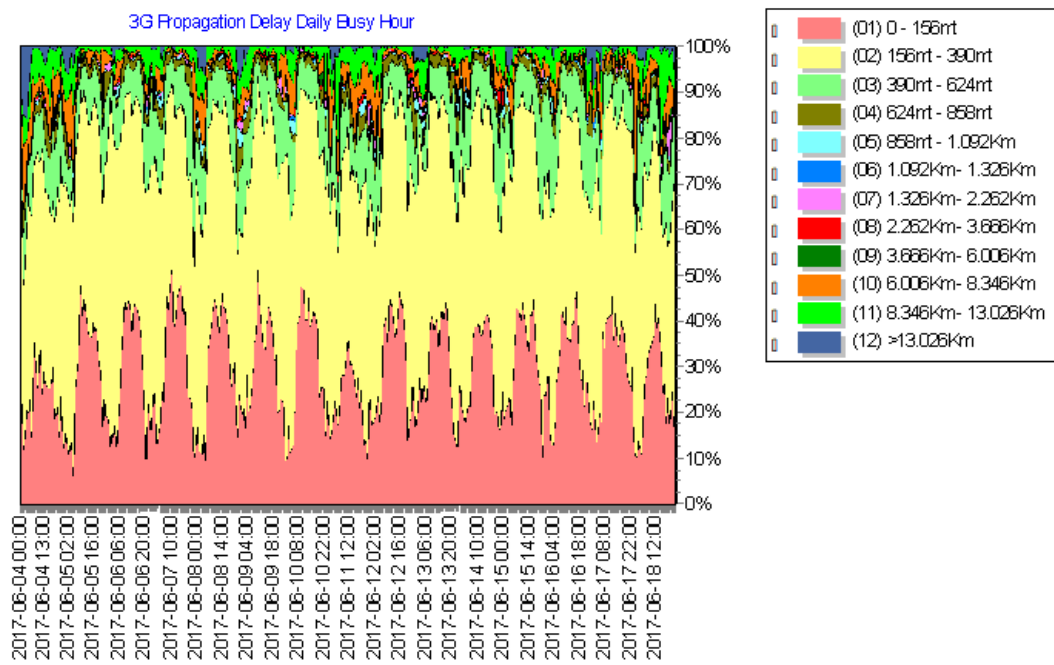


Figura 19-4: Ejemplo de Propagación de un NodoB del Operador Conecel.
Fuente: Contadores de NodeB

En el gráfico 19-4, se aprecia la distribución de muestras de una celda UMTS, observando en la hora pico que el 95% de su tráfico no se encuentra más allá de 624 metros de distancia de la estación.

- **Análisis de interferencia del sistema.**

Acciones por ejecutarse; determinar si los niveles de ruido de piso son los adecuados para el correcto funcionamiento de las tecnologías o existen desviaciones de los valores esperados, estas desviaciones pueden ser por incremento de usuarios en el sistema, instalaciones defectuosas, conectores mal contruidos o interferencias externas.

Si es el caso de incremento de usuarios; se procede con la implementación de nuevas portadores o sectores dependiendo del caso.

Si se trata de instalaciones o conectores mal contruidos, se procede con las rectificaciones necesarias para corregir el problema.

Si se trata de interferencias externas, se procede a la detección del origen de la interferencia para que la misma sea eliminada y el sistema retorne a comportamiento normal de funcionamiento.

A continuación, se presenta en la figura el comportamiento normal del piso de ruido una celda con el incremento de usuarios.

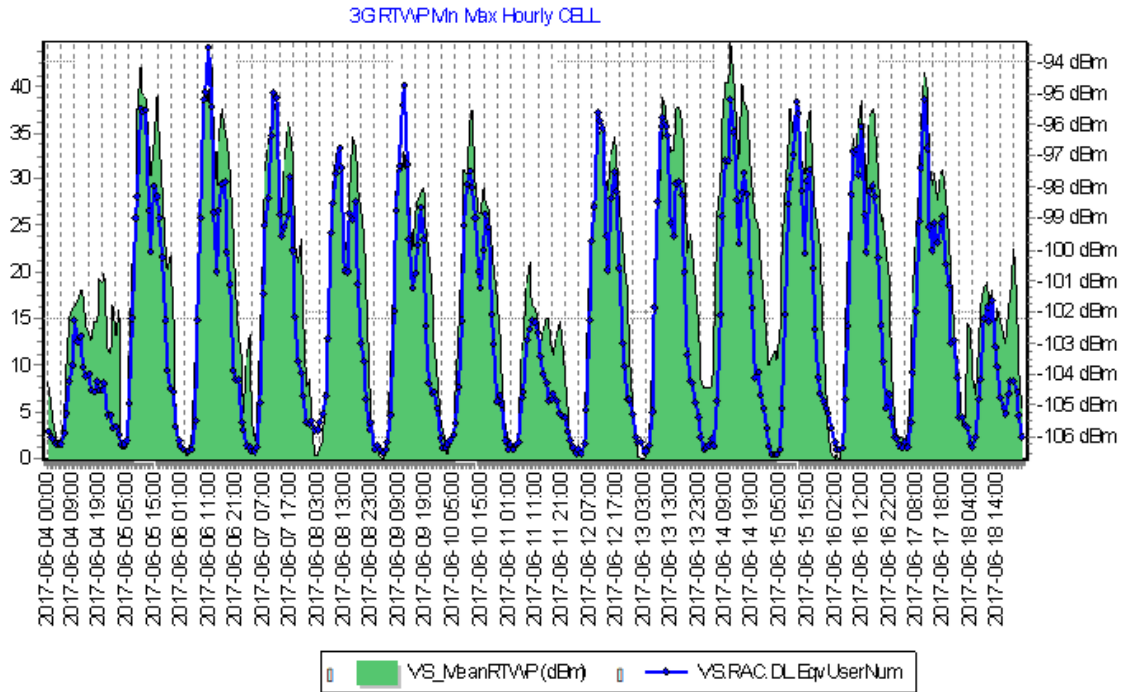


Figura 20-4: Ejemplo RTWP vs Número de Usuarios de un NodoB del Operador.
Fuente: Contadores de NodoB

En la figura 20-4, observamos cómo se incrementa la interferencia de sistema con el incremento de usuarios en el mismo, y cuando los usuarios son mínimos se observa bajos niveles de interferencia en el orden de -106 dBm que es el valor recomendado que una celda tenga para horas de bajo tráfico.

- Estandarización de parámetros a nivel de BSC, RNC, Celda, NodoB, eNodeB.

Acción por ejecutarse: Búsqueda de parámetros que discrepen sus valores establecido, los mismos que luego de identificarlos se los corrige.

Como ejemplo se listan a continuación tablas de parámetros de los Nodos B de la red UMTS (3G).

Tabla 10-4: Lista de Tablas configuradas en RNC

TABLAS	Descripción
UNODEB	Declaración de Nodo B
UCELLCAC	Parámetros de Acceso a la red UMTS
UCelSelResel	Parámetros de re selección de la red UMTS
UPCPich	Parámetros de configuración del canal piloto, en las celdas UMTS
UEXT3GCELL	Parámetros de celdas 3G Externas a la RNC
UEXT2GCELL	Parámetros de celdas 2G Externas a la RNC
UINTRAFREQNCELL	Relación de vecindades entre celdas 3G de la misma Frecuencia
UINTERFREQNCELL	Relación de vecindades entre celdas 3G de diferente Frecuencias
U2GNCELL	Relación de vecindades entre celdas 3G hacia celdas 2G
UCELLHSDPA	Parámetros de HSDPA
UCELLHSUPA	Parámetros de HSUPA

Realizado por: Díaz, O. 2017

- Aplicación de nuevos Features y funcionalidades disponibles de acuerdo a los estándares del 3GPP para cada una de las tecnologías que nos brindan el servicio de datos móviles.

4.2.3.1 Descripción del Flujo del proceso de Optimización.

El proceso de optimización para una red celular está dividido en los siguientes procesos:

- Preparación e inicio del proyecto
- Verificación del Sitio
- Optimización de Radio Frecuencia (RF)
- Optimización de parámetros
- Aceptación y entrega de reportes de la optimización

Para la vida de la red existen datos estadísticos de Operación y Mantenimiento que permiten verificar el performance de la red. Por otro lado, la influencia de la red hay que tomar en cuenta para ejecutar ajustes en la misma. Esta es la razón por la que hay que agregar una carga simulada y los cambios de parámetros hay que ejecutarlos en la noche.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso de optimización.



Figura 21-4: Proceso para optimización.
 Fuente: Huawei, WCDMA UTRAN Optimization Flow ISSUE, 2016

4.2.4 Propuesta de mejora Implementado nueva tecnología LTE.

Para la implementación de la nueva tecnología LTE en la banda AWS se tiene que seguir los siguientes pasos.

- Elaboración de un plan nominal, bajo las consideraciones niveles de señal a cumplir en un polígono definido para brindar cobertura de la nueva tecnología.
- Calculo del link Budget
- Predicciones de Cobertura.
- Implementación de los eNodeB
- Optimización de la nueva red implementada.

4.2.4.1 Plan Nominal

Puesto que la red LTE se encuentra lista para ser implementada, el objetivo principal es compensar la brecha de cobertura. Puesto que con la implementación de LTE en la banda AWS la cobertura es mucho menor comparada con GSM y UMTS.

La siguiente tabla muestra las consideraciones básicas para el diseño de la red LTE

Tabla 11-4: Lista de parámetros Requerido por la Herramienta de Predicción LTE

Parámetros	Entradas	Comentarios
Banda de operación LTE	AWS	
Tecnología	LTE FDD	
Disponibilidad de BW (MHz)	1730-1750 2130-2150	
Ancho de banda del canal (MHz)	20 MHz	
Modelo de Propagación	Clutter Related COST Hata Model	
Modelo de Antena	ADU451819	4 ports con 18 dBi para 2T4R AWS
Tipo de terminal	AFFECTION Cat4	Soportan AFFECTION y Nuevas funcionalidades
Configuración de Antenas	2T4R	4T4R listo en RRU
Potencia de Transmisión	2*30W	
Requerimiento de PDSCH SINR	= 19dB/14dB/9dB/0dB	
RF Parámetros (azimuth, etc)	RF parámetros como tilt, azimuth de los sitios	Basado en la planificación y auditoria de overshoot
Velocidad de movimiento	Peaton: 30km/h	
RS to power	17.0dBm	
Resolución del mapa Digital	2 m 2015	

Realizado por: Díaz, O. 2017

Para la realización de predicción de cobertura el Software (UNET-Huawei) utiliza el modelo de propagación COST – HATA, que es el más adecuado para las condiciones de frecuencia y densidad urbana de la ciudad de Riobamba.

Los modelos utilizados para efectuar simulaciones de propagación son: COST-231 Hata, Okumura-Hata. Estos modelos se escogen de acuerdo con las condiciones en las cuales se diseñe la red LTE, entre las que se debe considerar frecuencias de operación, tipo de morfología de la zona geográfica, altura promedio de las antenas, entre otras.

4.2.4.2 Link Budget (Presupuesto de Enlace)

Este es el primer paso para el dimensionamiento. Como en otras tecnologías, el Presupuesto de Enlace de LTE debe seguir el objetivo inicial y ruta de cálculo; al final, el radio de cobertura se calcula de acuerdo en base al enlace limitante entre Downlink y Uplink.

4.2.4.3 Predicción de Cobertura

El siguiente gráfico muestra la metodología de cálculo del requerimiento de RSRP para cada ciudad o polígono a ser cubierto.

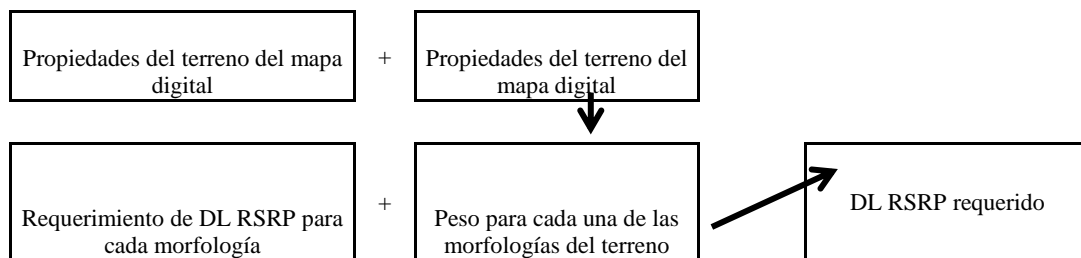


Figura 22-4: Método de Cálculo de RSRP.

Fuente: Huawei, Radio Network Planning, technical Proposal, 2017

Por ejemplo: El peso para urbano, suburbano y rural es 40%, 40% y 20% y el DL RSRP requerido para estos son -90 dBm, -94 dBm y -110 dBm con estos valores se calcula el DL RSRP requerido dando un valor de: $-90 \cdot 0.40 - 94 \cdot 0.40 - 110 \cdot 0.20 = -95.6 \text{ dBm}$

El valor objetivo de cobertura es calculado basado en la distribución de las características del terreno y diferentes requerimientos para cada una de las morfologías.

Con esta información y la meta de cobertura de la tecnología se calcula el número final de estaciones requeridas para cumplimiento de la meta de cobertura establecida.

Ejemplo: Si para la ciudad de Riobamba planteamos una meta de cobertura: El 95% del polígono mayor o igual a -97 dBm.

Para cumplir esta meta se requiere 70 sitios en el polígono de la ciudad de Riobamba. Para la operadora en análisis que en la actualidad cuenta con 21 estaciones celulares en la ciudad de Riobamba, implicaría que se requiere implementar 49 nuevas estaciones.

Para llegar a determinar el número de estaciones requeridas para cumplir con los niveles de señal RSRP solicitados, se requiere una interacción entre el ingeniero que se encuentra a cargo del diseño de la red y el Software de predicciones, para ubicar las nuevas estaciones requeridas y las orientaciones de sus sistemas radiantes, con el objetivo de alcanzar los valores establecidos para la cobertura de la zona o ciudad correspondiente. Por lo indicado anteriormente lo recomendable es implementar la tecnología LTE en las estaciones existente y posteriormente implementar las nuevas de acuerdo a la demanda de usuarios en la Red.

4.2.5 Resumen General de propuestas de Mejora de la Red de Datos.

A continuación, se presenta un resumen general de las propuestas planteadas para mejorar la red de Datos móviles de la ciudad de Riobamba.

Tabla 12-4: Resumen de propuestas de Mejora

No.	Propuestas de mejora	Observaciones
1	Distribución del Espectro radioeléctrico	El recurso Espectro radioeléctrico es escaso, por lo cual se requiere una distribución óptima para las tecnologías a ser implementadas. Existen varias combinaciones de distribución para las tecnologías desplegadas
2	Mejora en infraestructura	Para mejorar el performance de la red celular en general, se recomienda la implementación de nuevas estaciones celulares, en ubicaciones de bajos niveles de señal o alta concentración de usuarios. Este proceso es largo, complicado y requiere fuerte inversión de recursos por parte de la Operadora. Para mejorar el performance se propone la implementación de nuevos sectores en la infraestructura actualmente existente, mediante la utilización de antenas Multihaz, lo que permite mejorar los tiempos de implementación y reducir los costos de inversión que tiene que efectuar la Operadora.
3	Optimización de Red GSM/UMTS Existente	Mejorar las redes existentes GSM/UMTS para brindar un mejor servicio de datos a los usuarios, este proceso de optimización requiere un estudio detallados de la causa-raíz de los problemas que presentan las redes en este momento, realizar las mejoras correspondientes.
4	Implementación de Nueva tecnología LTE	Efectuar el estudio y la implementación de Nueva tecnología LTE, la misma que es orientada exclusivamente para proporcionar el servicio de Datos. Esto es un despliegue nuevo que tiene una fuerte inversión por parte de la Operadora en nuevos equipos y adecuaciones de estaciones existentes.

Realizado por: Díaz, O. 2017

El proceso de mejora es continuo durante la vida útil de las redes de telecomunicaciones, realizando un proceso mixto entre las propuestas planteadas en este capítulo.

4.3. Implementación de propuesta de optimización de recursos.

Con la finalidad de verificar el cumplimiento de las propuestas planteada para mejora de servicio de datos en la zona centro de la ciudad de Riobamba, se efectúa el análisis posterior a la implementación de las propuestas planteadas.

4.3.1 Análisis de KPI's posterior a modernización y optimización de red GSM.

Para realizar este análisis se recolecta datos antes y posterior al proceso de modernización de la zona objeto de estudio, con los siguientes resultados en cada uno de los indicadores para el servicio de Datos.

4.3.1.1 Análisis de Inaccesibilidad de datos GSM (2G)

En el gráfico 23-4 podemos apreciar el comportamiento del KPI inaccesibilidad, como posterior a la modernización de la red GSM se mejora.

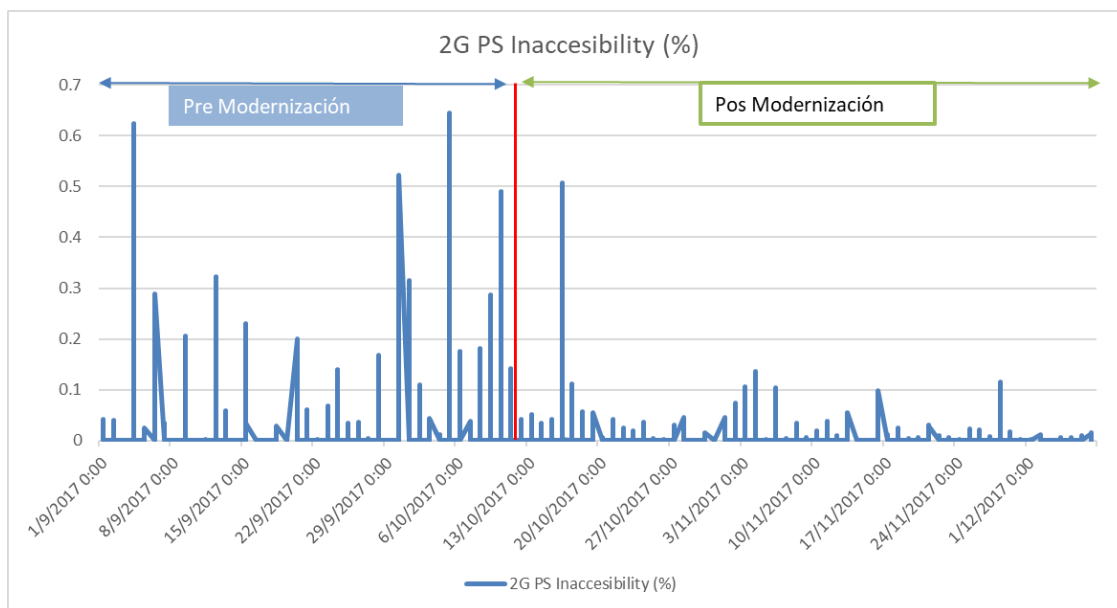


Figura 23-4: 2G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

El gráfico 23-4 muestra la mejora en el indicador a partir de la fecha de modernización del grupo de RBS de la zona centro de la ciudad de Riobamba. Si obtenemos un valor promedio de antes de la modernización y posterior de la modernización se aprecia la variación del indicador.

4.3.1.2 Análisis de Drop Call de datos GSM (2G).

En el gráfico 24-4 se muestra el comportamiento de las caídas de servicio de datos que presenta el terminal, que si bien el usuario no lo visualiza por la característica de uso del servicio de datos.

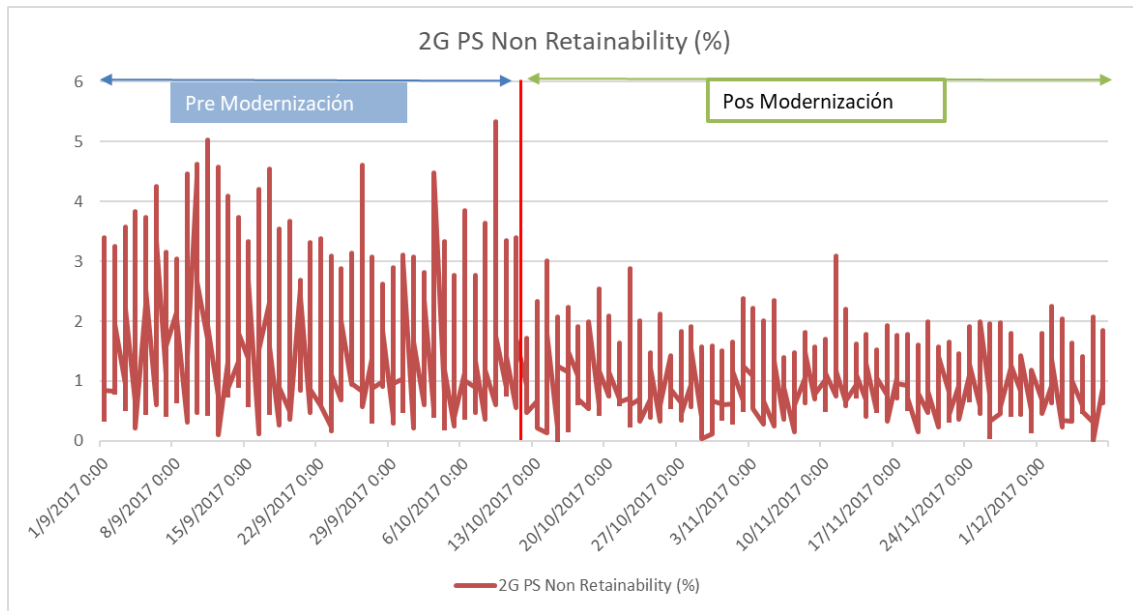


Figura 24-4: 2G PS No Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

En el gráfico 24-4 se aprecia la mejora que se obtiene posterior a la modernización de los equipos GSM (2G) en la zona de estudio, esta mejora se debe al mejor comportamiento de los nuevos equipos y a la parametrización utilizada para efectuar un mejor uso de recursos para proporcionar el servicio de datos.

Obteniendo el valor promedio de los datos antes y después de la modernización se aprecia la variación obtenida en este indicador de red.

4.3.1.3 Análisis de Throughput (Uplink, Downlink) GSM (2G)

El gráfico 25-4 Muestra el comportamiento de la velocidad de bajada, apreciando una mejora en la velocidad promedio con lo cual se tiene una mejor experiencia de usuario en tecnología GSM.

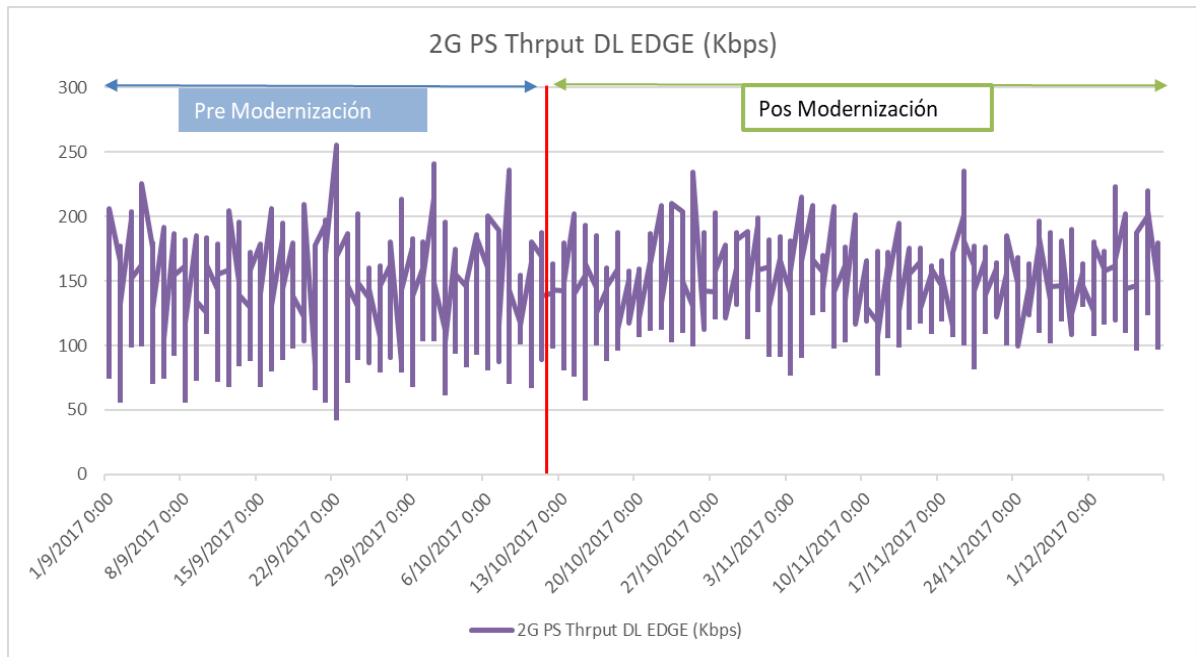


Figura 25-4: 2G PS Throughput, RBS Zona Centro de Riobamba
 Realizado por: Díaz, O. 2017

La mejora que se aprecia que existe una variación de alrededor de 13 Kbps pasando de un promedio de 135 Kbps a 148 Kbps.

4.3.1.4 Análisis de Tráfico GSM (2G)

En el gráfico 26-4, se aprecia el comportamiento del tráfico cursado por las estaciones GSM (2G) que se encuentran en la zona de análisis, observamos que existe un crecimiento importante del volumen de datos en tecnología GSM.

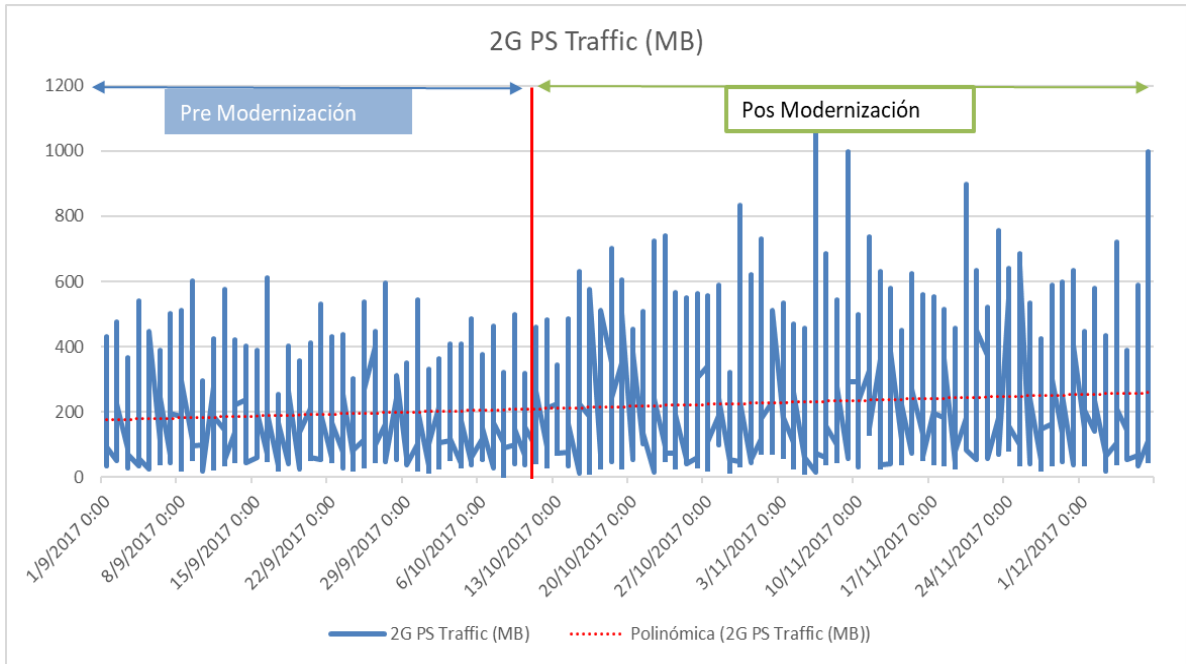


Figura 26-4: 2G PS Tráfico, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

Se aprecia un incremento de aproximadamente 49 MB por hora en la zona de análisis, esto puede deberse a varias situaciones entre las que se puede mencionar.

- Mayor penetración en ambientes interiores de GSM
- Se puede concluir que existe usuarios en la ciudad de Riobamba, con terminales de tecnología GSM únicamente.

En la tabla 12-4 se aprecia el tráfico promedio por hora que manejan las RBs antes y después de la modernización de la red GSM; observando la variación en positivo del tráfico cursado de las estaciones en análisis.

Tabla 13-4: Promedio de Tráfico Cursado en GSM, RBS Zona Centro de Riobamba

KPI	Pre Modernización	Pos Modernización	Variación
2G PS Traffic (MB)	188.1198431	237.7734452	49.6536

Realizado por: Díaz, O. 2017

4.3.2 Análisis de KPI's posterior a incremento de portadoras y optimización de red UMTS.

A continuación, se presentan los resultados de la red UMTS posterior a la modernización e implementación de portadoras adicionales; estas portadoras se implementan en la banda 1900 MHz para brindar soporte de tráfico a la banda de 850 MHz, que es la banda de cobertura y que presenta mejores condiciones de penetración para servicio en interiores.

4.3.2.1 Análisis de Inaccesibilidad de datos UMTS (3G)

En el gráfico 27-4 se aprecia el comportamiento de la Inaccesibilidad de UMTS (3G) para la zona centro de la ciudad de Riobamba, apreciando un comportamiento similar antes y posterior a la Modernización de GSM e implementación de nuevas portadoras UMTS.

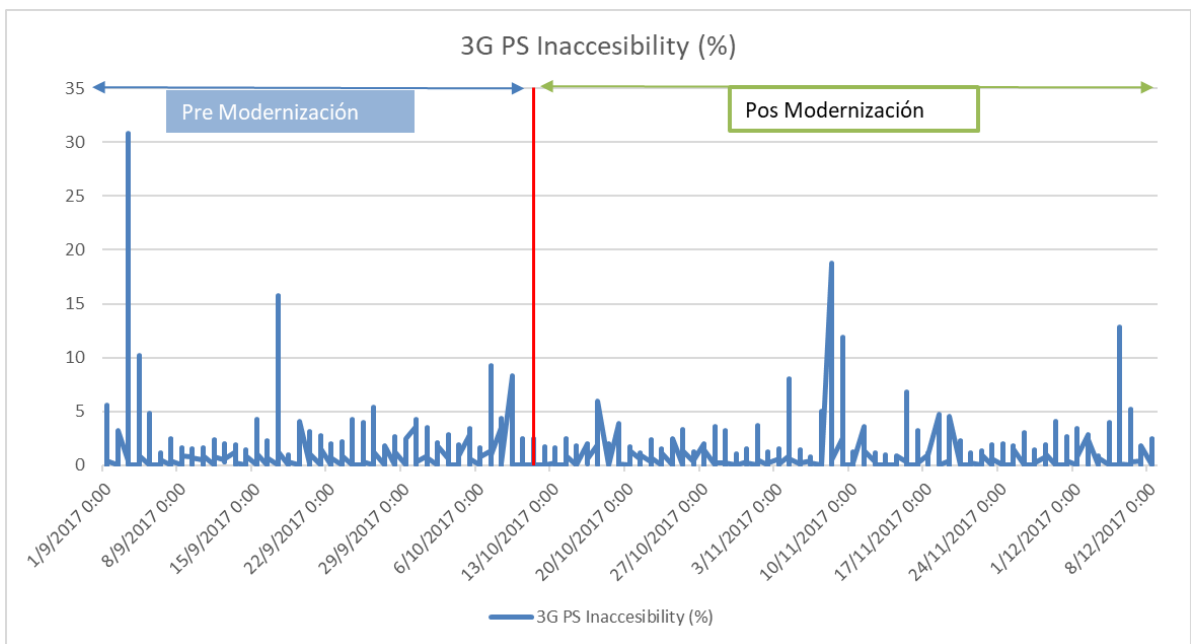


Figura 27-4: 3G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

Obteniendo los promedios de antes y después de los trabajos realizados en la zona de estudio se observa que existe una mejora en el indicador como apreciamos en la tabla 13-4

Tabla 14-4: Promedio & Variación de 3G PS Inaccessibility

KPI	Pre Modernización	Post modernización	Variación
3G PS Inaccessibilidad (%)	0.76919861	0.615488	0.15371061

Realizado por: Díaz, O. 2017

4.3.2.2 Análisis de Drop Call o No Retenibilidad de datos UMTS (3G).

En el gráfico 28-4 se presenta la tendencia del comportamiento del drop call de datos que presenta la zona centro de la ciudad de Riobamba, se mantiene la tendencia en este indicador posterior a los trabajos realizados en la zona de análisis.

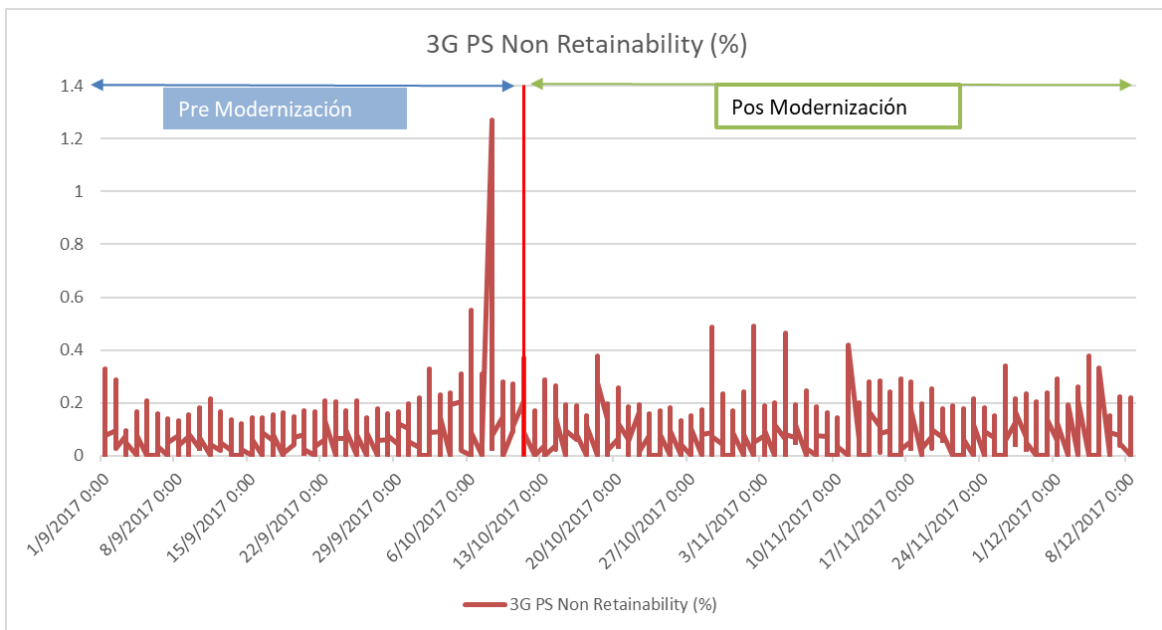


Figura 28-4: 3G PS No Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba

Realizado por: Díaz, O. 2017

Para lograr mantener la tendencia del indicador posterior a la implementación de nuevas portadoras, es debido a parametrización implementada para el balance de carga y usuarios entre las portadoras 850 MHz y 1900 MHz.

4.3.2.3 Análisis de Throughput (Uplink, Downlink) UMTS (3G)

En el gráfico 29-4 se presenta el comportamiento de velocidad (Throughput) en la zona centro de la ciudad de Riobamba, que experimenta en promedio un usuario para el servicio de datos móviles.

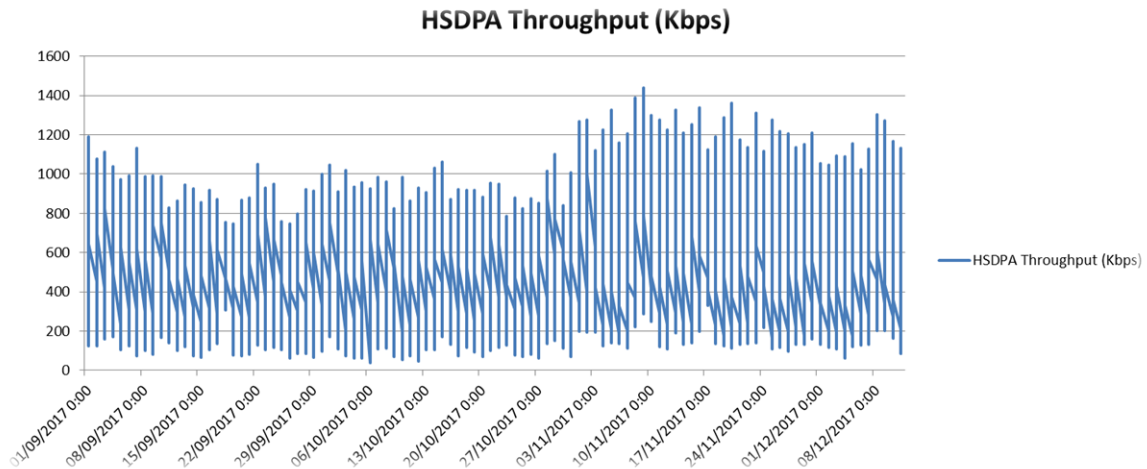


Figura 29-4: 3G HSDPA Throughput, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

Las velocidades promedio que presenta la zona centro de la ciudad de Riobamba para sus usuarios se encuentra 1.2 Mbps, que es superior a la velocidad que se tenía antes de ejecutar los trabajos en dichas estaciones.

En tabla 14-4 se aprecian velocidades máximas y mínimas antes y después de los trabajos en zona de análisis, de donde se observa que previo a fecha de Modernización se tenían velocidades mínimas iguales a cero, posterior a los trabajos ejecutados observamos que la velocidad mínima que alcanza el usuario es de 161 Kbps, lo que garantiza al usuario mantener un servicio de datos de manera continua y satisfactoria.

Tabla 15-4: Throughput Máximo & Mínimo, RBS Zona Centro de Riobamba

KPI	Pre Modernización		Pos Modernización	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
HSDPA Throughput (Kbps)	5025.68294	0	7695.686036	161.09

Realizado por: Díaz, O. 2017

4.3.2.4 Análisis de Tráfico UMTS (3G)

En el gráfico 30-4 se presenta el comportamiento de tráfico de datos UMTS (3G) para la zona de análisis en donde se aprecia que existe una disminución en el volumen cursado por los NodosB de la zona de análisis.

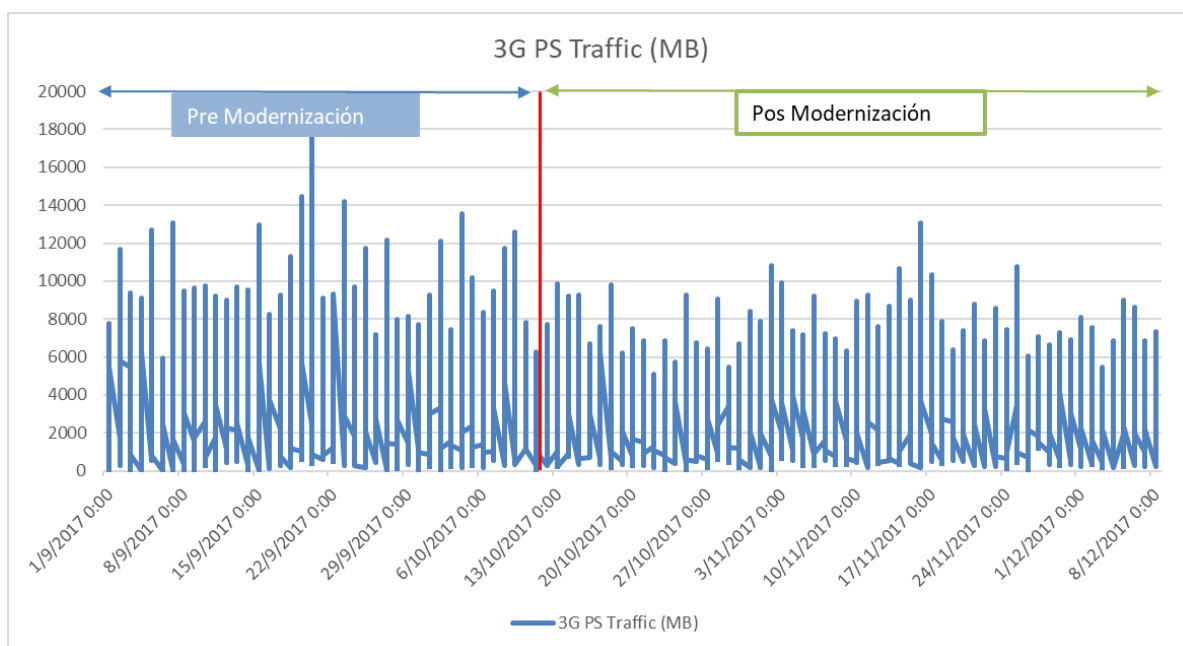


Figura 30-4: 3G PS Tráfico, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

Del análisis de los datos de tráfico cursado por hora se observa que hay una disminución de 356 MB por hora, esta reducción del tráfico UMTS (3G) es debido a la implementación de LTE (4G) en la ciudad de Riobamba. Lo indicado se observa en la tabla 15-4.

Tabla 16-4: Tráfico promedio por hora, RBS Zona Centro de Riobamba

KPI	Pre Modernización	Pos Modernización	Variación
3G PS Traffic (MB)	3341.218356	2981.784044	359.434312

Realizado por: Díaz, O. 2017

Tabla 17-4: Resultados Optimización y cambios en la red operadora Concel

RED	DIFERENCIA DE VELOCIDAD
2G	112 %
3G	121 %

Realizado por: Díaz, O. 2017

4.3.3 Análisis de KPI's posterior a la implementación de LTE (4G)

En la planificación para mejorar la experiencia de usuario en la red de Datos móviles de la ciudad de Riobamba, se implementa la red LTE. La red LTE se despliega en la banda AWS o también conocida como banda 4, se utiliza un canal de ancho de banda de 20 MHz para el enlace descendente y 20 MHz en el enlace ascendente.

4.3.3.1 Análisis de principales KPIs LTE de la zona de Estudio.

Para la tecnología LTE se analizan los siguientes KPIs.

- PS Inaccesibilidad (%)

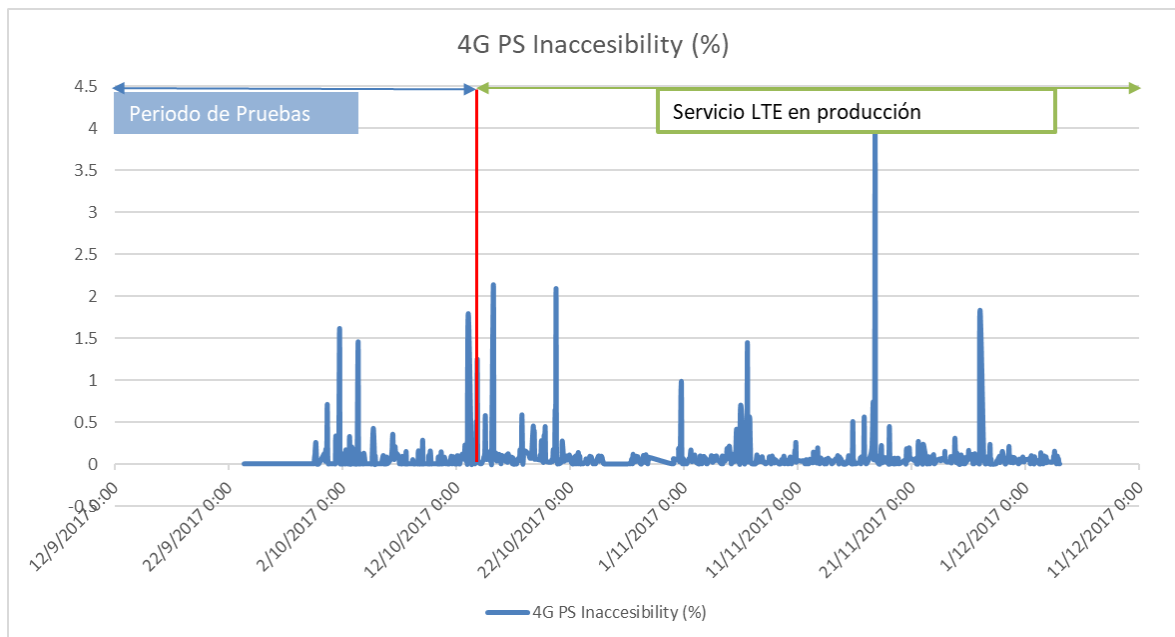


Figura 31-4: 4G PS Inaccesibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

La inaccesibilidad en la red LTE de la zona de estudio de la ciudad de Riobamba, se encuentra en valores promedios esperados para una red de cuarta generación. El promedio de inaccesibilidad para el periodo que se encuentra en producción es de 0.083%.

- Non Retenibilidad (%)

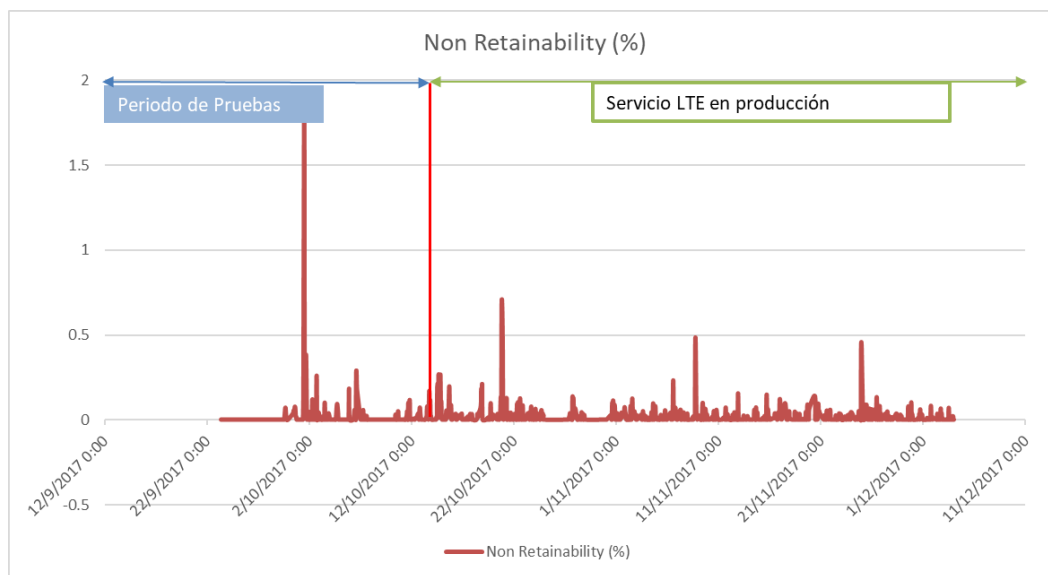


Figura 32-4: 4G PS No Retenibilidad, RBS Zona Centro de Riobamba
 Realizado por: Díaz, O. 2017

Los valores promedios de No Retenibilidad en la red LTE de la zona de estudio de la ciudad de Riobamba, presenta un valor promedio de 0.028%

- DL Velocidad promedio de usuario ThrPut1 (Mbps)

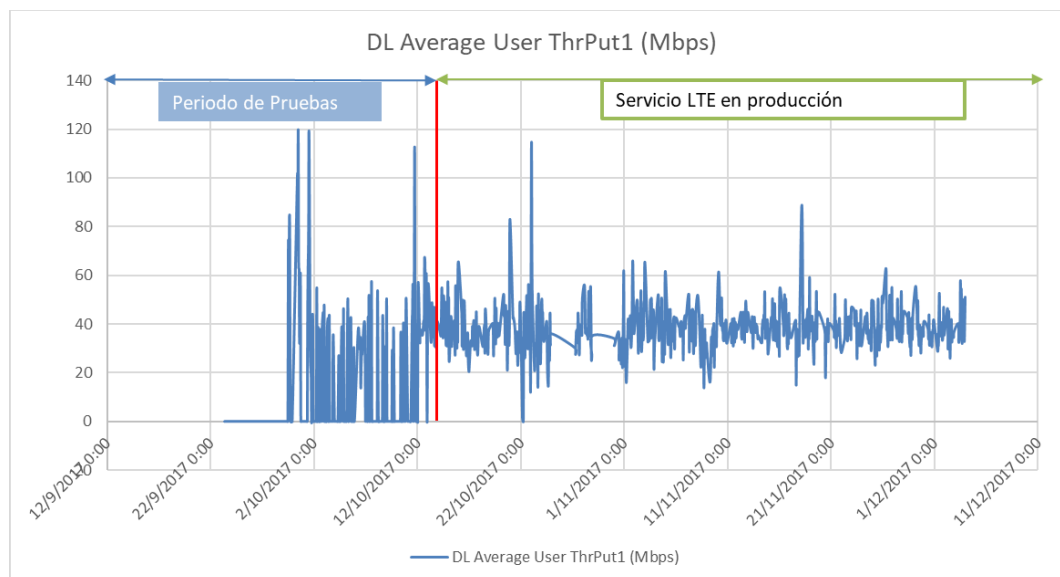


Figura 33-4: 4G DL velocidad promedio de usuario, Zona Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

La velocidad promedio de descarga que experimenta un usuario LTE en la red de la ciudad de Riobamba se encuentra en 37.8 Mbps.

- UL velocidad promedio de usuario ThrPut1 (Mbps)

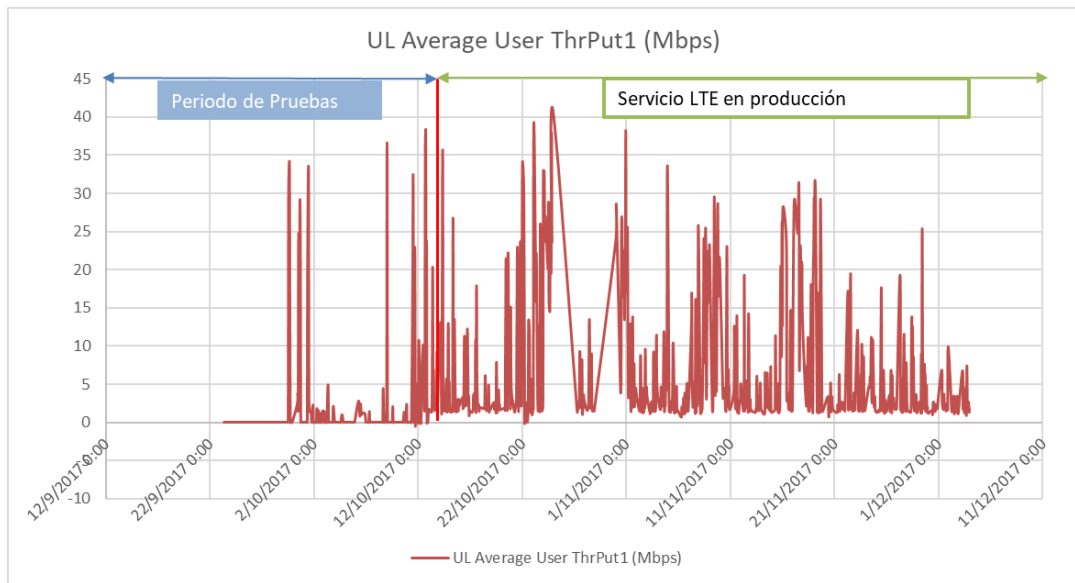


Figura 34-4: 4G UL velocidad promedio de usuario ThrPut, Centro de Riobamba
Realizado por: Díaz, O. 2017

La velocidad promedio que experimenta un usuario para realizar cargas de datos al Internet o algún sitio Web se encuentra en 6.38 Mbps.

- Cell Downlink Average Throughput (Mbps)

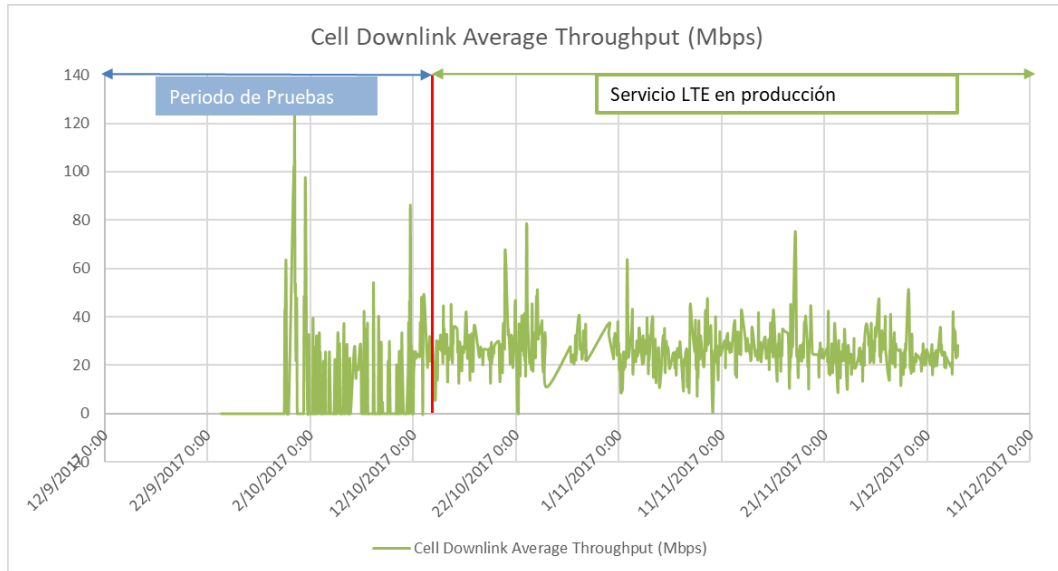


Figura 35-4: 4G Cell Downlink Average ThrPut, RBS Zona Centro de Riobamba
 Realizado por: Díaz, O. 2017

La velocidad promedio de celda para tecnología LTE se encuentra en 26.5 Mbps, para la zona de estudio de la ciudad de Riobamba.

- Cell Uplink Average Throughput (Mbps)

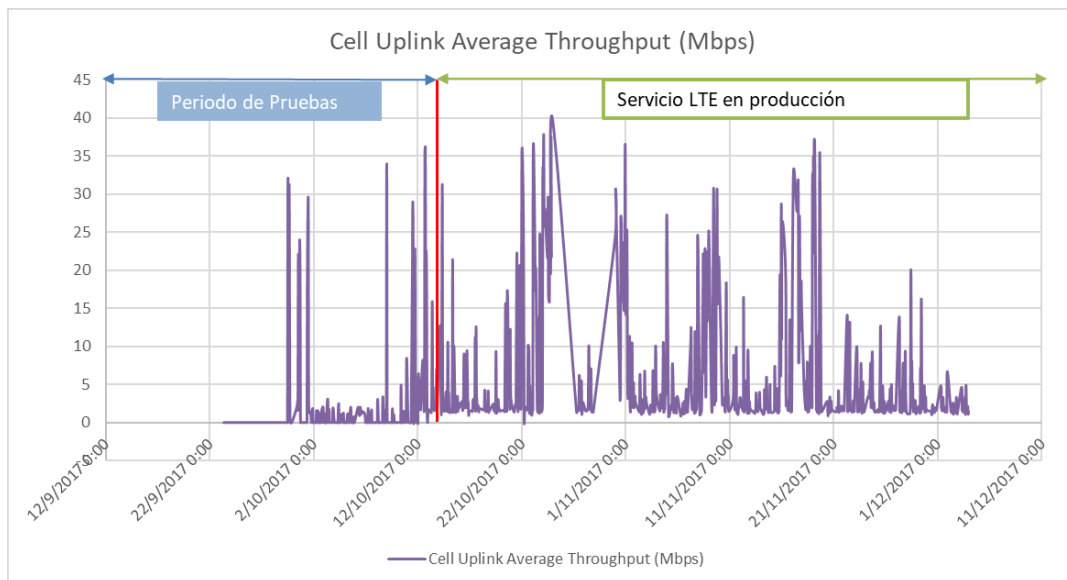


Figura 36-4: 4G Cell Uplink Average Throughput, RBS Zona Centro de Riobamba
 Realizado por: Díaz, O. 2017

La velocidad promedio que brinda la celda es de 5.77 Mbps, para la carga de datos a las diferentes aplicaciones que utiliza el usuario.

- Average User Number

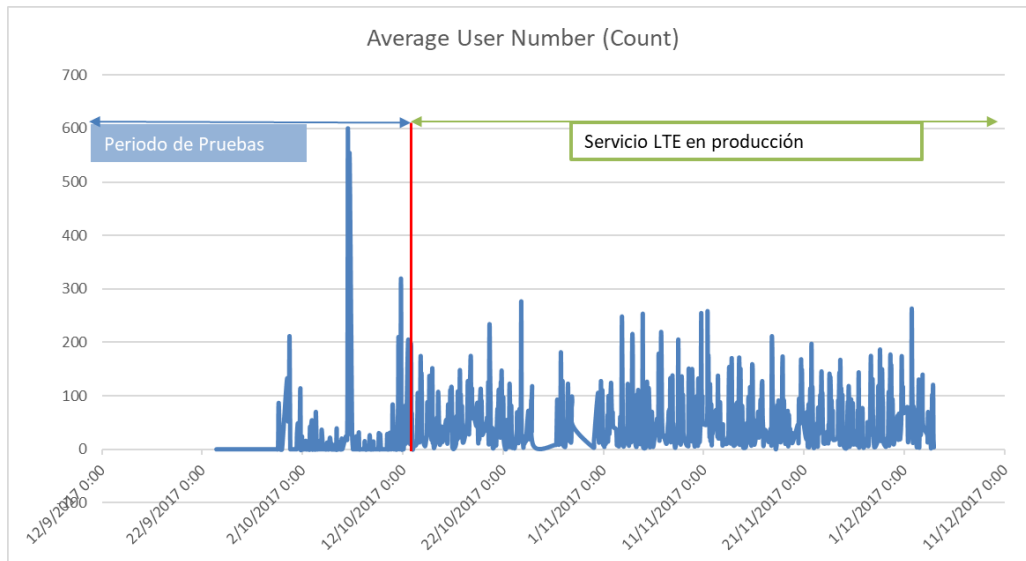


Figura 37-4: 4G Average User Number, RBS Zona Centro de Riobamba
 Realizado por: Díaz, O. 2017

El número de usuarios promedio de manejan las celdas LTE se encuentran en el orden de 56 usuarios por hora.

- Cell Traffic Volume (MB)

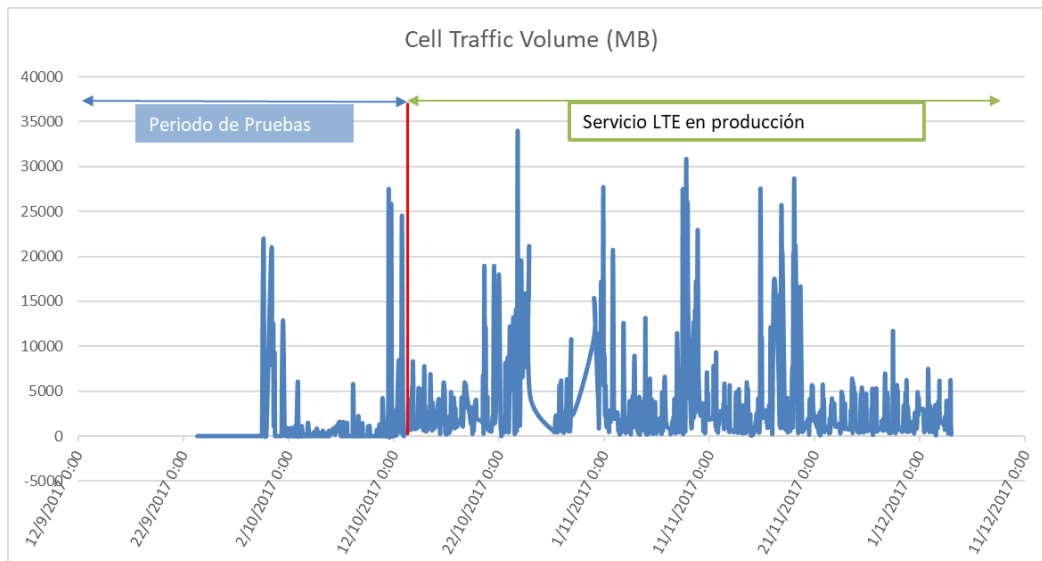


Figura 38-4: 4G Cell Traffic Volume, RBS Zona Centro de Riobamba
 Realizado por: Díaz, O. 2017

El volumen de tráfico que cursa en promedio cada una de las celdas, en la zona de análisis de la Ciudad de Riobamba es 3803.6 MB por hora. De manera general se concluye que el performance de la red LTE (4G) en la zona de estudio de la ciudad de Riobamba es buena, lo que permite a los usuarios tener una satisfacción también buena del servicio de Datos Móviles.

4.3.4 Análisis general de la red de datos móviles de la zona de estudio de la ciudad de Riobamba.

Para realizar un análisis comparativo de la Red celular objeto de este estudio se procede a la obtención de datos en un periodo de días equivalentes antes y después de la implementación de los trabajos de Modernización de la red GSM, Implementación de nuevos Carriers y Optimización de la Red UMTS e Implementación de la Red LTE.

Los periodos de tiempo analizados son los indicados a continuación:

ANTES: 2-6 octubre

DESPUES: 27 noviembre - 01 diciembre (Días Equivalentes).

En Tabla 16-4, se muestra la variación de los KPIs de GSM (2G), en la cual apreciamos que existe una mejora sustancial en la red posterior a la Modernización de la Red GSM, esto principalmente con los nuevos equipos que realizan una mejor utilización de recursos disponibles, se tiene una distribución dinámica de ABIS, distribuyendo de acuerdo con las necesidades de Voz o Datos que se tenga en cada instante de tiempo.

Tabla 18-4: KPIs GSM (2G), RBS Zona Centro de Riobamba

KPI NAME	UNIT	Antes	Despues	Var
PS Inaccessibility	%	0.019	0.004	↑
PS No Retainability	%	1.656	0.954	↑
Average DL Throughput (GPRS)	kbps	132.405	148.817	↑
Data Traffic	MB	194.200	244.122	↑

Realizado por: Díaz, O. 2017

En la tabla 16-4, se observa un incremento de Throughput en aproximadamente 18 kbps, lo que representa al usuario una mejor experiencia en esta tecnología. Se aprecia un incremento en el volumen de tráfico cursado por las estaciones objeto del estudio, se aprecia un incremento de 49.92 MB por hora para GSM.

En la tabla 17-4, se muestra la variación de KPIs en la Red UMTS (3G), en la cual apreciamos la mejora de los indicadores de Inaccesibilidad y Caídas de Llamadas, lo que permite al usuario contar con el servicio de Datos de manera continua y sin interrupciones.

Tabla 19-4: KPIs UMTS (3G), RBS Zona Centro de Riobamba

KPI NAME	UNT	Antes	Despues	Var
PS Inaccessibility	%	0,933	0,567	↑
PS drop call	%	0,121	0,090	↑
PS traffic volume	MB	12916,275	11473,199	↓
DL HSDPA User Throughput (Average)	kbps	601,165	730,985	↑
UL HSUPA User Throughput (Average)	kbps	114,731	130,516	↑

Realizado por: Díaz, O. 2017

La tabla 17-4, muestra una disminución del volumen de datos cursado por hora en UMST (3G); esta disminución se debe a que los usuarios que poseen terminales que soportan LTE (4G) en la banda AWS, tienen preferencia por la tecnología de mayor nivel, por lo que este tráfico migro de UMTS(3G) a la nueva tecnología.

En la tabla 17-4, se observa un aumento de velocidades en el Uplink, como DownLink producto de trabajos efectuados sobre la red como son la implementación de segundas portadoras y aplicación de nuevos Features que por ejemplo permiten la conexión de mayor número de usuarios a la red UMTS (3G). En la tabla 18-4, se muestra el comportamiento de la nueva red LTE (4G) Implementada en la ciudad de Riobamba, los valores de KPIs en la columna "Antes" son valores en los cuales la red se encontraba en proceso de implementación y pruebas de funcionamiento, por lo que los valores de la columna "Después" son los que representan el comportamiento real de la red LTE (4G) en la ciudad de Riobamba.

Tabla 20-4: KPIs LTE (4G), RBS Zona Centro de Riobamba

KPI NAME	UNIT	Antes	Despues	Var
PS Inaccessibility	%	0.177	0.059	↑
Non Retainability	%	0.112	0.013	↑
DL Average User ThrPut1	Mbps	33.759	35.181	↑
UL Average User ThrPut1	Mbps	0.481	2.211	↑
Cell Downlink Average Throughput	Mbps	18.490	17.737	↓
Cell Uplink Average Throughput	Mbps	1.515	1.829	↑
Average User Number		97.992	632.429	↑
Cell Traffic Volume (MB)	MB	1059.386	12976.994	↑

Realizado por: Díaz, O. 2017

En la red LTE los usuarios experimentan velocidades de bajada de Datos en promedio de 35 Mbps y velocidades de Subida de 2.2 Mbps, que son velocidades que facilitan a los usuarios una mejor experiencia en sus aplicaciones móviles disponibles en sus terminales, tales como son visualizaciones de videos en YouTube, Video Chat, WhatsApp (envío y recepción de mensajes).

Tabla 21-4: Consumo de datos RBS Zona Centro de Riobamba

ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA								
ANTES				DESPUES				VARIACIÓN
GSM	UMTS	LTE	2G+3G+4G	GSM	UMTS	LTE	2G+3G+4G	
PS	PS	PS	DATOS	PS	PS	PS	DATOS	DATOS
194.20	12916.27	1059.39	14169.86	244.12	11473.20	12976.99	24694.31	-10524.45

Realizado por: Díaz, O. 2017

La tabla 19-4, presenta un resumen del comportamiento de datos cursados en las redes GSM/UMTS/LTE en los periodos de comparación y se aprecia que el volumen total cursado en las tres redes celulares que brindan el servicio de datos se ha incrementado en un 70% del volumen por hora. La red que más contribuye en el aumento de tráfico de datos móviles es la red LTE (4G) con un 52.55%.

CAPITULO V

5.1 PROPUESTA

Presentación de un plan de mejora de cobertura con la implementación de nuevas estaciones o sectores, de esta manera cubrir zonas de bajos niveles de recepción y dividir zonas para disminuir usuarios por sector y de esta manera se obtiene mayores velocidades. También se responden las interrogantes a las preguntas directrices de la investigación

5.2.1. Plan de mejora de cobertura de la red celular en Riobamba

Se efectuó el estudio de la cobertura existente brindada por las 21 estaciones celulares GSM y UMTs de la operadora Conecel, como ya se indicó anteriormente. Si para la ciudad de Riobamba planteamos una meta de cobertura: El 95% del polígono mayor o igual a -97 dBm.

Para cumplir esta meta se requiere 70 sitios en LTE para la ciudad de Riobamba. Para el caso de Conecel que cuenta con 21 estaciones celulares en la ciudad de Riobamba, implicaría que se requiere implementar 49 nuevas estaciones.

En el caso de GSM y UMTS lo que se requiere es cubrir las zonas con niveles bajos de recepción



Figura 1-5: Red Conecel sitios GSM y UMTS

Realizado por: Díaz, O. 2017

En la figura 2-5 se puede ver los sectores existentes y su cobertura y los sitios vacíos y de menor cobertura que deben ser cubiertos por nuevas estaciones

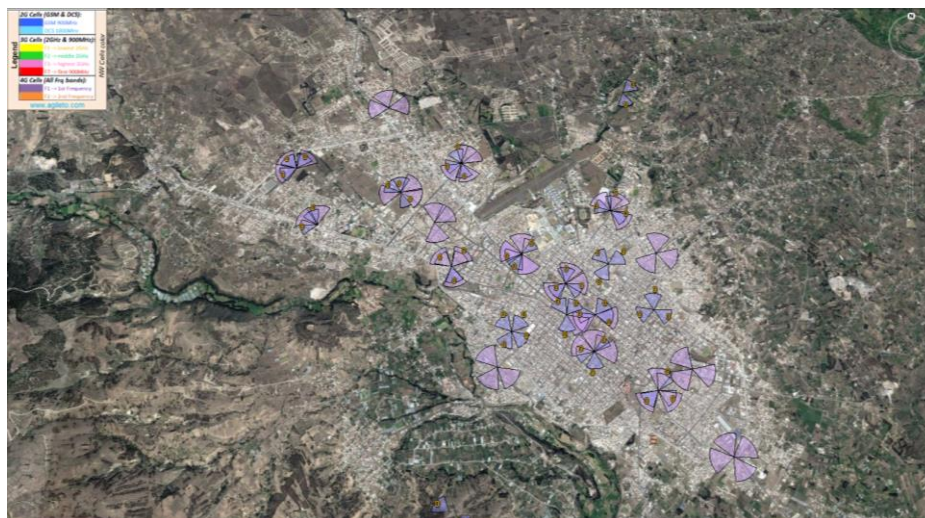


Figura 2-5: Red Conecel Sectores GSM y UMTS
Realizado por: Díaz, O. 2017

En la figura 3-5 se ha sumado los sitios de la operadora Otecel en la parte norte de la ciudad en la cual se observa dos aspectos.

Existen estaciones cercanas a la infraestructura de Conecel que por su cercanía tienen el mismo objetivo de cobertura.

Se tiene algunas estaciones que por su ubicación pueden ser usadas para ampliar y mejorar la cobertura en la ciudad para esto es necesario compartir infraestructura.



Figura 3-5: Red Conecel y Sitios Otecel vecinos
Realizado por: Díaz, O. 2017

En la figura 4-5 Se muestra en amarillo S1 a S8 sitios del operador Otecel que podrían ser usados y en rojo S9 – S13 son sitios nuevos, con esto se completa 34 sitios para cobertura GSM y UMTS pero no cumpliría lo requerido para LTE, por lo que el objetivo de esta tecnología sería cubrir los sectores de mayor demanda.

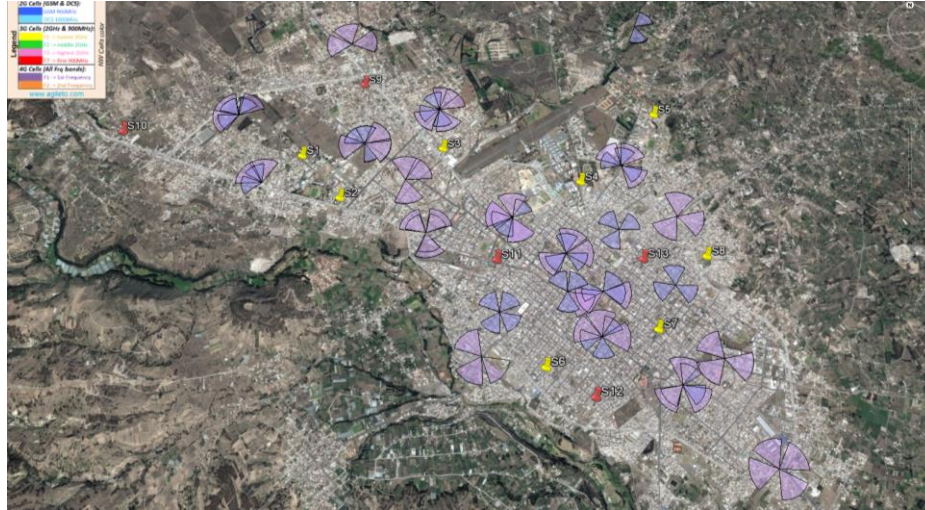


Figura 4-5: Red Conecel y propuesta de nuevos sitios
Realizado por: Díaz, O. 2017

5.2.2. Compartición de Infraestructura entre operadores.

Como se pudo ver anteriormente el número de estaciones que se requiere para nuevas tecnologías como LTE y en futuro en 5G es muy alto por lo que necesariamente las operadoras celulares deberán compartir sus infraestructuras ya sea por razones de costos o para evitar contaminación ambiental y no llenar las ciudades de sitios celulares, pero como también se pudo apreciar en las figuras mostradas muchas de las estaciones están ubicadas muy cerca de los sitios propios lo cual descarta su uso.

5.2.3. Acuerdo de Roaming nacional entre operadores.

Esto permite que el usuario de una red de un operador en particular pueda usar las redes de las otras operadoras, existiendo acuerdos actualmente que permiten al usuario usar este servicio sin cargos adicionales pero que por el momento están pensados realmente para ser usados en las zonas rurales, pero que se pueden implementar también en las ciudades de ser necesario.

5.3.1. ¿Qué se necesita estudiar para conocer la situación actual de la red móvil celular de la ciudad de Riobamba?

- Para poder comparar resultados antes y después de mejoras se recomienda evaluación de un periodo de mínimo de 7 días antes y 7 días después de implementar mejoras en la red.
- Para realizar esta evaluación se puede utilizar herramientas como el U2000 (Herramienta de Huawei de Gestión) esta herramienta entrega estadísticas de hasta 7 días o el Analyzer que es una herramienta de monitoreo de propiedad de Conecel con la cual guardan estadísticas de una buena cantidad de tiempo y se puede obtener estadísticas del periodo que se desee.
- Los principales KPIs a monitorear son los siguientes:
 - Tráfico de voz
 - CS Inaccesibilidad
 - CS Drop Call o no retenibilidad
 - Tráfico de Datos (PS Traffic, Unit: MB)
 - PS Inaccesibilidad
 - PS Drop call o no retenibilidad
 - HSDPA Throughput
 - Recursos
 - Potencia
 - Channel Elements
 - Códigos
 - Iub (Transmisión)Este problema de recursos causa afectación a la accesibilidad tanto de voz y de datos

Para ver si la red esta con problemas de estos recursos se puede observar las fallas por RRC etapa de acceso de cada recurso.

Todo el monitoreo antes y después se puede mostrar como grafica la cual varia después del trabajo implementado y permite ver el impacto en la red.

RTWP: tiene dos significados en especial

Indica la carga de usuarios en UL (Up Link) que tiene una celda.

Indica la interferencia en UL que recibe la celda debido a sus celdas vecinas y debido a la celda misma.

Para el monitoreo de RTWP se utiliza los siguientes contadores:

Promedio de RTWP y los Usuarios en Up Link.

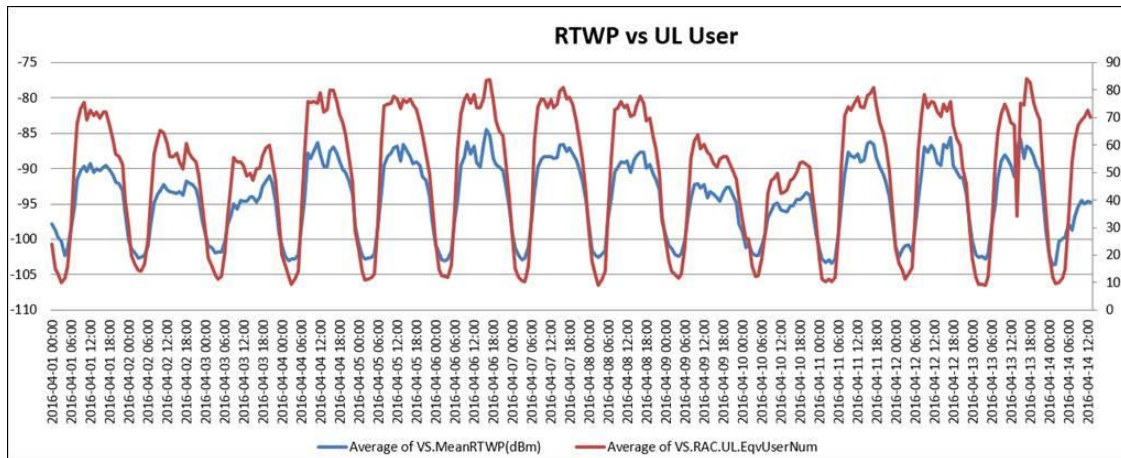


Figura 5-5: RTWP con respecto al número de usuarios
Realizado por: Díaz, O. 2017

5.3.2. ¿Qué puede aportar la teoría de operación de la red para mejorar la capacidad de tráfico de datos?

Con el despliegue de 2das y 3ras portadoras lo que se logra es liberar la carga de un sector UMTS. Es decir los usuarios y los servicios de un sector 850MHz son enviados a su co-sector 1900MHz. Esto lo que hace es que un sector en una banda se libere de usuarios y servicios con lo que puede brindar al nuevo número de usuarios una mejor experiencia. Para soportar teoría de este tipo se utilizó información relacionada con UMTS multicarrier.

Con la implementación de 2das y 3ras portadoras se observaron mejoras en los sectores de 1ra portadora:

- HSDPA Throughput: debido a que se libera carga de usuarios
- RTWP: debido a que los usuarios se comparten con las 2das y 3ras portadoras

Después de implementar nuevas portadoras puede aparecer el siguiente efecto, ya que se incrementa capacidad los usuarios no solo se comparten entre portadoras sino que usuarios que antes no podían acceder ahora acceden y el número de usuarios incrementa respecto a lo que se tenía anteriormente, por lo que se requiere control de propagación.

5.3.3. ¿En qué influye el área de cobertura y las bandas de Operación?

La idea de multicarrier es que las coberturas entre portadoras sean similares de modo que los usuarios puedan balancearse de igual manera en cada portadora.

Para sitios de borde o sitios islas, se debe tomar en cuenta que la banda de 1900MHz se propaga menos que 850MHz por lo que el tráfico cercano debe mantenerse con 1900MHz y el tráfico lejano con 850MHz.

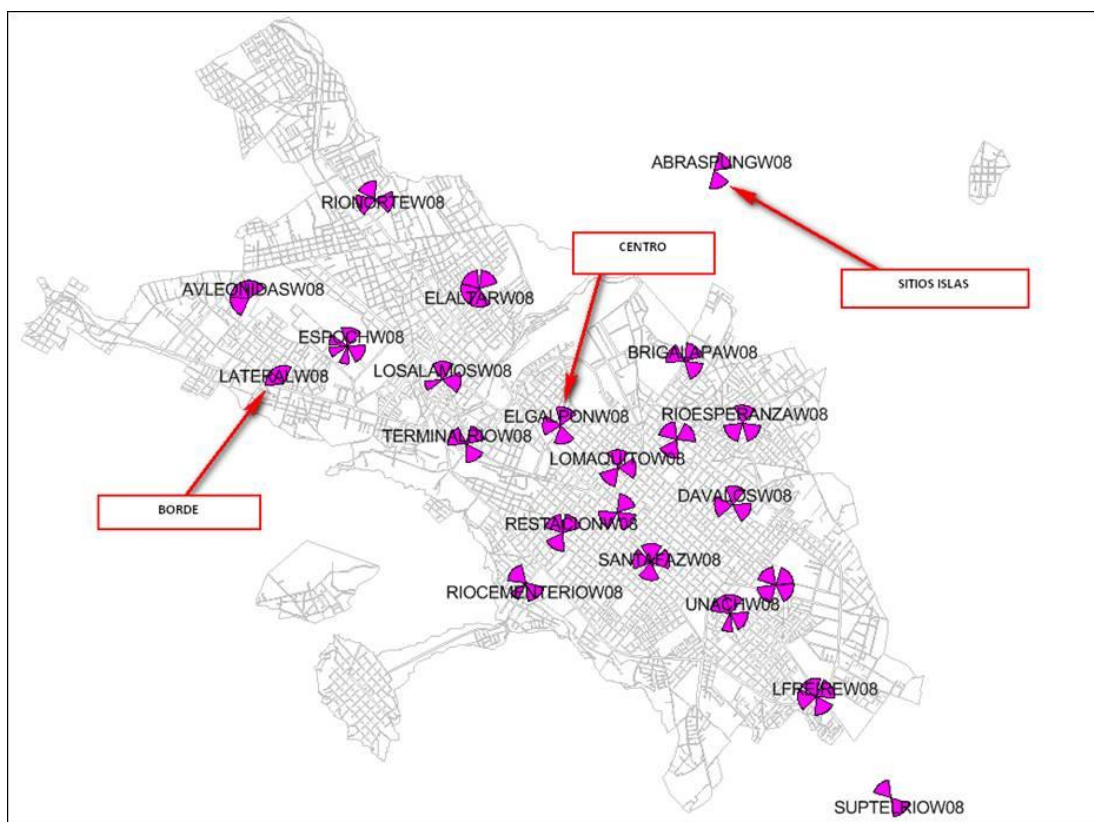


Figura 6-5: Red Conecel tipos de sitios
Realizado por: Díaz, O. 2017

5.3.4. ¿En qué ayuda la adopción de nuevas tecnologías?

Las nuevas tecnologías como LTE toman usuarios de datos lo cual ayuda también a liberar la carga de la red UMTS y como resultado tenemos más velocidad para los usuarios que quedan.

CONCLUSIONES

- La Base Teórica es el soporte para todas las aplicaciones tecnológicas y están basadas en las nuevas especificaciones y desarrollos que se van dando sobre todo por grupos como 3GPP. La tarea es aplicarlas adecuadamente a las necesidades particulares de la red.
- Se efectuó el análisis de la red móvil celular de la ciudad de Riobamba para el primer semestre del 2017, se toma como objeto de estudio a la operadora Conecel para su análisis, es importante indicar que el mismo procedimiento se puede aplicar a las otras operadoras ya sea para efectuar un análisis detallado a nivel radiobases o más grande como es el caso de toda la ciudad, pero es indispensable contar con los datos específicos según el caso. De los resultados obtenemos el resumen del análisis de la red la cual evidencia que es necesario un trabajo de optimización en la red 3G debido a que no cumple con las metas de la operadora y de la ARCOTEL con un valor de 60%, para el caso de 2G tiene un valor de 103 % que si cumple con la meta.
- Se presentó propuestas para mejorar la velocidad de transmisión de datos, las propuestas son las siguientes: distribución del espectro radioeléctrico e implementación de segundas portadoras, incremento v de estaciones o de sectores, optimización de parámetros de la red y además se verificó el comportamiento de la red con la instalación de nuevas tecnologías como LTE y modernización de equipamiento GSM, tecnología de segunda generación pero que debe seguir funcionando debido al gran número de usuarios que todavía maneja. Los resultados producto de optimización e implementación de propuestas muestran una mejoría en las dos redes 2G y 3G con valores de 112% y 121% respectivamente.

RECOMENDACIONES

La primera recomendación es que se mantenga el interés por esta línea de trabajo ya que sin un estudio más profundo y detallado no se puede llegar a una mejora permanente, ya que las condiciones cambiantes también obligan a constantes cambios para el seguir el paso, de esta manera la experiencia del usuario se mantiene siempre satisfactoria.

Es importante ampliar el trabajo con el estudio a las otras operadoras de la ciudad e incluir otros KPIs como movilidad para analizar con más detalle el comportamiento de la red.

Para trabajos futuros es necesario obtener un modelo de propagación de las diferentes redes y bandas de operación para la ciudad de Riobamba esto ayuda a mejorar las predicciones efectuadas por los diferentes paquetes de software que predicen las coberturas.

El proceso de optimización es una tarea continua que en la actualidad tiene como meta la red LTE pero que en un futuro tiene que evolucionar a una quinta generación celular.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Alvarez, D. (2014).** Diseño de una red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación. Ibarra, Ecuador. pp. 4-43.
2. **Agusti, R. (2010).** LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Fundación Vodafone España. ISBN: 84-934740-4-5. pp. 56-59,129-157
- Bellamy, J. (2000).** Digital Telephony, 3ª ed. New York, EEUU Wiley Interscience, Wiley y Sons,2000. pp.29-30,161-223
3. **Carlevaro, P., Vázquez, M. (2001)** “UMTS: Estándar de Tercera Generación de Telefonía Celular”. pp. 1-22.
4. **Chimbo, M. (2012).** Análisis de la propuesta de evolución de redes 3G y su convergencia a la tecnología 4G para redes de telefonía móvil. Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería en Sistemas. Cuenca, Ecuador. pp. 42-51.
5. **Falcone, F. (2008).** *Manuales Plan Avanza : Ciudadanía Móvil.* Madrid - España: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación: ©Red.es , pp. 35-60.
6. **Gomez, J. (2014).** HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR. 1ª Ed. Corporación Nacional de Telecomunicaciones & Academia Nacional de Historia. Quito,Ecuador. ISBN: 978-9978-394-15-1. pp. 131-135.
7. **Hurtado, C. (2011).** Estudio de factibilidad para la implementación de LTE (Long Term Evolution) en el Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Quito, Ecuador. pp. 27-30.

- 8. INTEREMPRESAS.** Evolución de las comunicaciones móviles.
<https://www.interempresas.net/Electronica/Articulos/195234-Evolucion-de-las-comunicaciones-moviles.html>
- 9. Peñafiel, L., Chenche, F. (2015)** “La convivencia de la tecnología 4G con 3G y 2G en el Ecuador”. *Revistas UEES – Investigatio. Quito - Ecuador.* 1(6), pp. 15-37.
- 10. Vaca, G. (2005).** Análisis de las tecnologías inalámbricas móviles 3G de Banda Ancha con Acceso a Internet y Servicios Móviles. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Carrera de Ingeniería en Sistemas Informáticos y Computacionales. Ambato - Ecuador. pp. 112-120.
- 11. Vázquez, V., Guevara, P. (2013).** Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica. Universidad de Cuenca, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Cuenca - Ecuador. 2013. pp. 27-30.
- 12.- Roblez, A., Egas, C. (2015).** “Latencia de las redes celulares en Ecuador, y su influencia en las aplicaciones”. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE. Guayaquil - Ecuador.* 28(5), pp. 162-178.