



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

“Optimización de una red LTE en la provincia de Santa Elena mediante la herramienta de simulación Atoll para el estudio de las estrategias de Packet Scheduling: Round Robin y Proportional Fair”

AUTOR:

Muñoz Rodríguez Javier Mauricio

TUTOR:

Ing. Jaramillo Chamba Daniel, Mgt.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación denominado **“Optimización de una red LTE en la provincia de Santa Elena mediante la herramienta de simulación Atoll para el estudio de las estrategias de Packet Scheduling: Round Robin y Proportional Fair”**, elaborado por el egresado **Muñoz Rodríguez Javier Mauricio**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgt.

DEDICATORIA

Con mucho amor mi trabajo de titulación es dedicado a Dios por la fuerza espiritual que me ha brindado en todo mi proceso de formación académica y personal.

A mis padres y hermana, por ser motivo de superación y haberme brindado su apoyo incondicional y esfuerzo durante todo este transcurso de mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida, sin ellos esto no sería posible.

A mis amigos cercanos y aquellas otras personas especiales que me acompañaron durante mi etapa de formación académica y como ser humano.

Muñoz Rodríguez, Javier Mauricio

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por poder vivir cada etapa de mi vida en disfrutar de mis éxitos y el de los demás. A mi padre *Juan Augusto Muñoz Mero* por el esfuerzo del día a día y al ser ejemplo de perseverancia, a mi madre *María Angelica Rodríguez Ávila* por cada consejo de motivación que pude escuchar en momentos de dificultad. Agradezco de todo corazón a las personas que de uno u otro modo me brindaron su apoyo en el transcurso y dificultad que pude presentar en mi proceso académico, los llevo en el corazón.

Y de manera especial a mi tutor de tesis, *ing. Daniel Jaramillo* por brindarme su tiempo y conocimiento y así poder concluir con este proyecto de investigación.

Muñoz Rodríguez Javier Mauricio

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Washington Torres Guin, Mgt.

DECANO DE FACULTAD

Ing. José Sánchez Aquino, Mgt.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Vladimir García Santos, Mgt.

DOCENTE DEL ÁREA

Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgt.

DOCENTE TUTOR

Ab. María Rivera González, Mgt.

SECRETARÍA GENERAL

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

“Optimización de una red LTE en la provincia de Santa Elena mediante la herramienta de simulación Atoll para el estudio de las estrategias de Packet Scheduling: Round Robin y Proportional Fair”

Autor: Muñoz Rodríguez Javier Mauricio

Tutor: Ing. Jaramillo Chamba Daniel, Mgt.

RESUMEN

El presente proyecto de titulación está enfocado en la optimización de la red LTE móvil de la servidora CNT que se encuentra desplazada en la provincia de Santa Elena, empleando métodos estratégicos conocidos como las estrategias de Packet Scheduling, específicamente aplicando la teoría de las estrategias Round Robin y Proportional Fair.

Para la evaluación de las estrategias cabe enfocarse en el estudio del área en las que se encuentran los enlaces de telecomunicaciones, durante estos estudios se analizarán diferentes factores del terreno, equipos de telecomunicaciones, estudio de las antenas, parámetros, distancia, entre otros importantes.

Finalmente, para poder ejecutar el objetivo principal de este proyecto es necesario hacer uso del software de simulación Atoll, con el cual crearemos situaciones, las cuales nos permitan analizar el rendimiento de la red existente que se encuentra dentro del área de planificación. Seguido, se realiza un análisis de rendimiento para la evaluación de las estrategias Round Robin y Proportional Fair, el análisis consiste en observar el comportamiento en los enlaces downlink y uplink en cada etapa de simulación para así poder tener el máximo rendimiento de la red LTE de acuerdo con el mejor scheduler aplicado.

Palabras claves: optimización, Round Robin, Proportional Fair, telecomunicaciones, software, rendimiento, planificación, downlink, uplink, scheduler.

ABSTRACT

This degree project is focused on the optimization of the mobile LTE network of the CNT server that is located in the province of Santa Elena, using strategic methods known as Packet Scheduling Strategies, specifically applying the theory of Round Robin and Proportional Fair strategies.

For the evaluation of the strategies it is necessary to focus on the study of the area in which the telecommunications links area located, during these studies different factors of the terrain, telecommunications equipment, study of the antennas, parameters, distance, among other important factor will be analyzed.

Finally, in order to execute the main objective of this project it is necessary to make use of the simulation software Atoll, with which we will create situations, which will allow us to analyze the performance of the existing network that is within the planning area. Then, a performance analysis is performed for the evaluation of Round Robin and Proportional Fair strategies, the analysis consists of observing the behavior in the downlink and uplink links at each stage of simulation in order to have the maximum performance of the LTE network according to the best scheduler applied.

Keywords: optimization, Round Robin, Proportional Fair, telecommucation, software, performance, planning, downlink, uplink, scheduler.

DECLARACIÓN

El contenido del presente trabajo de titulación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Muñoz Rodriguez Javier Mauricio

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
TRIBUNAL DE GRADO	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
DECLARACIÓN.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	2
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Descripción del proyecto.....	3
1.3. Objetivos del proyecto	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. Justificación.....	5
1.5. Alcance del proyecto	6
1.6. Metodología	7
1.7. Resultados esperados.....	8
CAPITULO II.....	9
2. MARCO REFERENCIAL	9
2.1. Marco contextual.....	9
2.2. Marco conceptual.....	10
2.2.1. Comunicaciones móviles.....	10
2.2.1.1. Red de comunicación móvil de primera generación (1G).....	10
2.2.1.2. Red de comunicación móvil de segunda generación (2G)	11
2.2.1.3. Red de comunicación móvil de generación 2.5G	13
2.2.1.4. Red de comunicación móvil de tercera generación (3G)	15
2.2.1.5. Red de comunicación móvil de cuarta generación (4G)	16
2.2.1.6. Red de comunicación móvil de quinta generación (5G)	26
2.3. Marco teórico	27
CAPITULO III.....	29
3. TÉCNICAS Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	29
3.1. Introducción a los parámetros de resultados en ATOLL.....	29
3.1.1. Planificación de una red LTE.....	29
3.1.2. Predicciones de cobertura en ATOLL.....	30
3.1.3. Distribución y generación de usuarios	32
3.1.4. Cálculos en Downlink y Uplink	32
3.1.5. Cálculos Scheduling.....	32
3.1.6. Parámetros de scheduler.....	33
3.1.7. Asignación de recursos.....	33
3.1.7.1. Asignación de recursos en la selección de usuarios	33
3.1.7.2. Satisfacción de las demandas mínimas de rendimiento	34
3.1.7.3. Satisfacción de las demandas máximas de rendimiento.....	36
CAPITULO IV	39
4. SIMULACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE RENDIMIENTO	39
4.1. Dimensionamiento de la red.....	39
4.1.1. Reconocimiento y caracterización.....	39

4.1.2. Ancho de banda y bandas de frecuencia	40
4.1.3. Link Budget.....	41
4.1.3.1. Perdidas por penetración de materiales	42
4.1.4. Modelo de propagación.....	43
4.2. Software y simulación.....	44
4.2.1. Atoll.....	44
4.2.2. Global Mapper.....	44
4.2.3. Parámetros geográficos de la red.....	45
4.2.4. Bandas de frecuencia.....	46
4.2.5. Selección del modelo de propagación	47
4.2.6. Parámetros globales del sistema LTE	49
4.2.7. Configuración de plantilla LTE.....	50
4.2.8. Establecimiento de nodos eNB.....	50
4.3. Resultados de simulación	54
4.3.1. Análisis de señal efectiva	54
4.3.1.1. Señal efectiva DL	54
4.3.1.2. Señal efectiva UL	55
4.3.2. Análisis de Rendimiento	56
4.3.2.1. Rendimiento DL.....	56
4.3.2.2. Rendimiento UL.....	57
4.4. Mediciones en SpeedTest by Ookla y G-NetTrack.....	57
4.4.1. SpeedTest by Ookla	58
4.4.2. G-NetTrack.....	58
4.4.3. Análisis comparativo.....	59
CAPÍTULO V.....	67
5. ESTUDIO DE LAS ESTRATEGIAS PACKET SCHEDULING RR Y PF	67
5.1. Análisis comparativo de las estrategias Packet Scheduling sin optimización.....	67
5.1.1. Aplicación de los Packet Scheduling	67
5.1.2. Análisis en downlink.....	67
5.1.3. Análisis uplink.....	70
5.1.4. Datos comparativos de Packet Scheduling sin optimización	73
5.2. Análisis comparativo de las estrategias Packet Scheduling con optimización.....	75
5.2.1. Asignación de vecinos.....	75
5.2.2. Asignación de Physical cell ID's.....	75
5.2.3. Asignación de frecuencias.....	75
5.2.4. Análisis en el downlink	76
5.2.5. Análisis en el uplink.....	78
5.2.6. Datos comparativos de Packet Scheduling con optimización	81
5.3. Optimización de la red LTE.....	84
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES.....	89
ANEXOS.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de cobertura de la provincia de Santa Elena	4
Figura 2. Red GSM.	12
Figura 3. Arquitectura GSM.....	13
Figura 4. Arquitectura GSM/GPRS.	14
Figura 5. Arquitectura UMTS.	16
Figura 6. Principio FDM.	18
Figura 7. OFDMA y SC-FDMA.	19
Figura 8. Métodos FDD y TDD.	19
Figura 9. Arquitectura LTE.....	21
Figura 10. Red de acceso E-UTRAN	22
Figura 11. Scheduling de paquetes en OFDMA.....	23
Figura 12. Physical Resource Block de LTE.	24
Figura 13. Sinopsis DL y UL Scheduling para LTE	24
Figura 14. Tecnología Fronthauling CPRI	26
Figura 15. Pasos para diseñar una red LTE.....	30
Figura 16. Diagrama de bloques para la selección de usuarios	34
Figura 17. Diagrama de bloques en la satisfacción de las demandas mínimas de rendimiento	36
Figura 18. Diagrama de bloques en función al scheduler Round Robin	37
Figura 19. Diagrama de bloques en función al Scheduler Proportional Fair	38
Figura 20. Provincia de Santa Elena.	40
Figura 21. Link Budget para enlace descendente.....	41
Figura 22. Link Budget para enlace ascendente.....	41
Figura 23. Mapa geográfico de la provincia de Santa Elena	45
Figura 24. Mapa de relieve en la provincia de Santa Elena	46
Figura 25. Mapa de calles en la provincia de Santa Elena	46
Figura 26. Configuración de banda 4 E-UTRAN en transmisor	47
Figura 27. Asignación del modelo de propagación	49
Figura 28. Despliegue de las estaciones bases en Atoll	52
Figura 29. Asignación de usuarios por Atoll.....	52
Figura 30. Effective signal analysis PDSCH (DL).....	54
Figura 31. Histograma Effective signal analysis PDSCH (DL)	54
Figura 32. Effective signal analysis PDSCH C/N (DL)	55
Figura 33. Histograma Effective signal analysis PDSCH C/N (DL)	55
Figura 34. Effective signal analysis PUSCH & PUCCH (UL)	55
Figura 35. Histograma Effective signal analysis PUSCH & PUCCH (UL).....	55
Figura 36. Effective signal Analysis PUSCH & PUCCH C/N (UL)	56
Figura 37. Histograma Effective signal Analysis PUSCH & PUCCH C/N (UL)	56
Figura 38. Peak RLC Channel Throughput (DL).....	57
Figura 39. Histograma Peak RLC Channel Throughput (DL)	57
Figura 40. Coverage by Throughput (UL)	57
Figura 41. Histograma Coverage by Throughput (UL).....	57
Figura 42. Datos G-NetTrack: Estación La Libertad	60
Figura 43. Datos G-NetTrack: Estación autódromo.....	60
Figura 44. Datos G-NetTrack: Estación NorEste.....	60
Figura 45. Datos Ookla: Estación autódromo	61
Figura 46. Datos Ookla: Estación La Libertad.....	61

Figura 47. Datos Ookla: Estación NorEste	61
Figura 48. Nivel RSRP de la estación autódromo	62
Figura 49. Histograma RSRP de la estación autódromo	62
Figura 50. Nivel RSRQ de la estación autódromo	63
Figura 51. Histograma RSRQ de la estación autódromo	63
Figura 52. Nivel RSSI de la estación autódromo	63
Figura 53. Histograma RSRQ de la estación autódromo	63
Figura 54. Nivel RSRP de la estación La Libertad	64
Figura 55. Histograma RSRP de la estación La Liberta.....	64
Figura 56. Nivel RSRQ de la estación La Libertad.....	64
Figura 57. Histograma RSRQ de la estación La Libertad.....	64
Figura 58. Nivel RSSI de la estación La Libertad.....	2
Figura 59. Histograma RSSI de la estación La Libertad.....	2
Figura 60. Nivel RSRP de la estación NorEste	66
Figura 61. Histograma RSRP de la estación NorEste	66
Figura 62. Nivel RSRQ de la estación NorEste	66
Figura 63. Histograma RSRQ de la estación NorEste.....	66
Figura 64. Nivel RSSI de la estación NorEste	66
Figura 65. Histograma RSSI de la estación NorEste.....	66
Figura 66. Downlink Coverage by throughput PF-grupo 1.....	68
Figura 67. Histograma downlink Coverage by throughput PF-grupo 1	68
Figura 68. Downlink Coverage by throughput PF-grupo 2.....	68
Figura 69. Histograma downlink Coverage by throughput PF-grupo 2	68
Figura 70. Downlink Coverage by throughput RR-grupo 1	69
Figura 71. Histograma downlink Coverage by throughput RR-grupo 1	69
Figura 72. Downlink Coverage by throughput RR-grupo 2.....	69
Figura 73. Histograma downlink Coverage by throughput RR-grupo 2	69
Figura 74. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load.....	69
Figura 75. Comparación de las estrategias PF y RR con el 50% de traffic load.....	70
Figura 76. Uplink Coverage by throughput PF-grupo 1	70
Figura 77. Histograma uplink Coverage by throughput PF-grupo 1.....	70
Figura 78. Uplink Coverage by throughput PF-grupo 2	71
Figura 79. Histograma uplink Coverage by throughput PF-grupo 2.....	71
Figura 80. Uplink Coverage by throughput RR-grupo 1.....	71
Figura 81. Histograma uplink Coverage by throughput RR-grupo 1	71
Figura 82. Uplink Coverage by throughput RR-grupo 2.....	71
Figura 83. Histograma uplink Coverage by throughput RR-grupo.....	71
Figura 84. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load.....	72
Figura 85. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load.....	72
Figura 86. Asignación de Physical Cell ID's	75
Figura 87. Downlink coverage by throughput PF-grupo 1	76
Figura 88. Histograma downlink coverage by throughput PF-grupo 1	76
Figura 89. Downlink coverage by throughput PF-grupo 2	76
Figura 90. Histograma downlink coverage by throughput PF-grupo 2.....	76
Figura 91. Downlink coverage by throughput RR-grupo 1.....	77
Figura 92. Histograma downlink coverage by throughput RR-grupo 1	77
Figura 93. Downlink coverage by throughput RR-grupo 2.....	77

Figura 94. Histograma downlink coverage by throughput RR-grupo 2.....	77
Figura 95. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load.....	77
Figura 96. Comparación de las estrategias PF y RR con el 50% de traffic load.....	78
Figura 97. Uplink coverage by throughput PF-grupo 1	78
Figura 98. Histograma uplink coverage by throughput PF-grupo 1.....	78
Figura 99. Uplink coverage by throughput PF-grupo 2	79
Figura 100. Histograma uplink coverage by throughput PF-grupo 2.....	79
Figura 101. Uplink coverage by throughput RR-grupo 1	79
Figura 102. Histograma uplink coverage by throughput RR-grupo 1.....	79
Figura 103. Uplink coverage by throughput RR-grupo 2	79
Figura 104. Histograma uplink coverage by throughput RR-grupo 2.....	79
Figura 105. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load.....	80
Figura 106. Comparación de las estrategias PF y RR con el 50% de traffic load.....	80
Figura 107. Automatic cell Planning.....	85
Figura 108. Coverage by signal level – PF	85
Figura 109. Coverage by signal level – PF (optimizado).....	85
Figura 110. Coverage by throughput DL – PF.....	86
Figura 111. Coverage by throughput DL – PF (optimizado)	86
Figura 112. Coverage by throughput UL – PF.....	86
Figura 113. Coverage by throughput UL - PF (optimizado).....	86
Figura 114. Histograma nivel RSRP – PF.....	86
Figura 115. Histograma nivel RSRP – PF (optimizado).....	86
Figura 116. Histograma nivel RSRQ – PF.....	87
Figura 117. Histograma nivel RSRQ - PF (optimizado).....	87
Figura 118. Estación transmisora "La Libertad"	92
Figura 119. Estación transmisora "NorEste"	92
Figura 120. Estación transmisora "Autódromo"	92
Figura 121. Coordenadas de la estación "La Libertad"	92
Figura 122. Coordenadas de la estación "NorEste".....	92
Figura 123. Coordenadas de la estación "Autódromo"	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tecnología móvil 1G.....	11
Tabla 2. Tecnología móvil 2G.....	11
Tabla 3. Funciones de la MSC	13
Tabla 4 Tecnología móvil 2.5G.....	14
Tabla 5. Tecnología móvil 3G.....	15
Tabla 6 Tecnología móvil 4G.....	17
Tabla 7. Tecnología móvil 5G.....	27
Tabla 8. Tipos de predicciones en Atoll.....	31
Tabla 9. Algoritmos y ecuaciones Scheduling y RRM	32
Tabla 10. Parámetros de scheduler en Atoll.....	33
Tabla 11. Representación del número de usuarios.	33
Tabla 12. Representación de ecuaciones.....	35
Tabla 13. Información básica de la provincia de Santa Elena.....	39
Tabla 14. Bandas de frecuencias que operan la telefonía móvil en el Ecuador	40
Tabla 15. Link Budget.....	42
Tabla 16. Representaciones del modelo Cost Hata	43
Tabla 17. Datos de la E-UTRA Band 4 - 10MHz	46
Tabla 18. Modelos de propagación presentes en Atoll	48
Tabla 19. Restricciones del modelo Cost Hata.....	48
Tabla 20. Parámetros globales del sistema LTE	49
Tabla 21. Parámetros plantilla LTE	50
Tabla 22. Localización de nodos eNB	51
Tabla 23. Valores de DL y UL sin estrategias scheduler	53
Tabla 24. Datos recolectados por SpeedTest by Ookla.....	58
Tabla 25. Descripción de la ventana principal de G-NetTrack	59
Tabla 26. Datos recolectados por G-NetTrack.....	59
Tabla 27. Tabla comparativa: Estación autódromo.....	62
Tabla 28. Tabla comparativa: Estación La Libertad	63
Tabla 29. Tabla comparativa: Estación NorEste	2
Tabla 30. Parámetros de simulación.	67
Tabla 31. Parámetros de celda para predicciones.....	68
Tabla 32. Resultados downlink y uplink sin optimización	73
Tabla 33. Resultados downlink y uplink con optimización	81
Tabla 34. Tabla comparativa en relación con Peak RLC	83
Tabla 35. Parámetros de las estaciones transmisoras proporcionado por la empresa CNT	90
Tabla 36. Parámetros optimizados para la estrategia Proportional Fair.	92

LISTADO DE ACRÓNIMOS

ACP:	Automatic Cell Planning, Planificación de celdas.
AFP:	Automatic Frequency Planning, Asignación de frecuencias.
AMC:	Adaptative Modulation and Coding, Modulación y codificación adaptativa.
AMPS:	Advanced mobile phone system, Sistema de teléfono móvil avanzado.
ARCOTEL:	Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones.
AUC:	Authentication Centre, Centro de autenticación.
BDMA:	Beam división multiple Access.
BEARER:	Elemento básico de la QoS
BSC:	Subscriber identity module, Módulo de identidad del suscriptor.
BSR:	Buffer status report, Informe de estado del búfer.
CDMA:	Code Division Multiple Access.
CNT:	Corporación Nacional de Telecomunicaciones.
CONECCEL:	Consortio Ecuatoriano de telecomunicaciones.
CPRI:	Common public radio interface, Interfaz de radio pública común.
SC-FDMA:	Acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única.
DL:	Downlink.
EDGE:	Enhanced Data rates for GSM of Evolution, Tasas de datos mejoradas para GSM de evolución.
EIR:	Registro de identificación del equipo.
eMBB:	Banda ancha móvil mejorada.
EPC:	Electronic product code, Código electrónico del producto.
EPRE:	Energy per resource element, denota la energía promedio tomada en todos los puntos para la modulación.
EPS:	Evolved packet system, Sistema de paquetes evolucionado.
ERAB:	E-utran radio access bearer.
ESPS:	Combinación de la red de acceso y red troncal.
ETSI:	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.
FDD:	Duplexación por división de frecuencia.
FDMA:	Acceso múltiple por división de frecuencia.
FO:	Fibra óptica.
GGSN:	Puerta de enlace de conexión al exterior.
GMSK:	Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano.
GPRS:	Servicio general de paquetes de radio.
GSM:	Sistema global para comunicaciones móviles.
HARQ:	Mecanismo de retransmisión híbrida.
HLR:	Registro de ubicación de origen.
HSCSD:	High-speed circuit-switched data, Datos de ataque de alta velocidad.
HSDPA:	High speed downlink packet access.
HSPA:	High Speed packet access, Acceso a paquetes de alta velocidad.
ICIC:	Inter – Cell Interference Coordination. Aplican restricciones al bloque de administración de recursos radio.
iDEN:	Red de comunicación propietaria
IMEI:	International mobile system equipment, Equipo internacional del sistema móvil.

IMS:	Subsistema Multimedia IP.
IMSI:	International Mobile Subscriber Identity, Identidad internacional del abonado móvil.
JDC:	Celular digital japones.
LAN:	Local Area Network.
LTE:	Long Term Evolution.
MAX C/I:	Máximo C/I scheduler.
MIMO:	Multiple Input Multiple Output.
MME:	Entidad de Gestión de Movilidad.
MMS:	Multimedia Messaging System.
mMTC:	Comunicaciones de tipo maquina masiva.
MSC:	Centros de conmutación móvil.
NSS:	Subsistema de conmutación de red.
OFDMA:	Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales.
OTECCEL:	Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones.
OTP:	Protocolo de transporte abierta.
OWA:	Open wireless architecture, Arquitectura inalámbrica abierta.
PAN:	Red de área personal inalámbrica.
PBCH:	Physical broadcast channel. Presente en señales de enlace descendente.
PCU:	Packet Control Unit.
PD:	Proportional Demand.
PDCCH:	Physical downlink control channel. Transporta la informacion de control downlink que incluye información de recursos para canales de aviso.
PDSCH:	Canal físico compartido descendente.
PF:	Proportional Fair.
PIN:	Número de identificación personal.
PRB:	Physical Resource Block, Bloque de Recursos Físicos.
PUCCH:	Physical uplink control channel. Canal empleado por la UE para enviar información de control del enlace ascendente.
PUSCH:	Canal Físico Compartido Ascendente.
QoS:	Quality of Service, Calidad de servicio.
RNC:	Controlador de red de radio.
RR:	Round Robin.
RRM:	Radio Resource Management.
RSRP:	Potencia recibida de señal de referencia.
SGSN:	Serving GPRS Support Nod.
SIM:	Subscriber Identity Module.
SMS:	Servicio De Mensajes Cortos.
SRB:	Signalling Radio Bearers.
SS:	Señal de sincronización secundaria para una portadora de componentes LTE.
TDD:	Duplexación por División de Tiempo.
TDMA:	Acceso Múltiple por División de Tiempo.
TTI:	Time Transmission Interval, Intervalo de Tiempo de Transmisión.
UICC:	Universal Integrated Circuit Card

UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
UL:	Uplink.
UMTS:	Universal Mobile Telecommunications System.
URLLC:	Comunicaciones de baja latencia ultra confiables.
VLR:	Registro de ubicación de visitante.
WAP:	Wireless Application Protocol.
WCDMA:	Wideband Code División Multiple Access.

INTRODUCCIÓN

La implementación de nuevas tecnologías que se otorga para redes móviles dentro de la provincia de Santa Elena ha logrado impulsar y brindar un mejor servicio con rendimiento y rapidez, haciendo énfasis al uso de la tecnología LTE. El servicio LTE se encuentra monopolizado por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones. Pero, aun así, dentro de la provincia de Santa Elena se puede verificar que existen zonas que se encuentran con bajos niveles de cobertura a razón de $-120 \text{ dBm} \leq \text{cobertura}$ con niveles $< -100 \text{ dBm}$ y de bajo nivel a razón de $< -120 \text{ dBm}$, lo cual no garantiza la prestación del servicio de datos y se ve como única solución configurar el equipo 3G. Debido a esto, se da la necesidad de realizar el diseño y análisis de la red para posterior optimización de los resultados mediante las estrategias de Packet Scheduling.

En el capítulo 1 se muestra una breve descripción sobre las bases principales en las que se encuentra enfocado el proyecto, como está constituido y la importancia de cumplir con sus objetivos esperados.

En el capítulo 2 y 3 se centra en los conceptos básicos de la tecnología LTE, técnicas y métodos que utiliza Atoll para la recolección de información en una simulación LTE en el diseño de una red, en ella se presentan las ecuaciones que son ejecutas en el instante de tiempo que se determinan los resultados de la simulación cumpliendo cierta relación.

En el capítulo 4 se da a conocer el despliegue de la red de la provincia de Santa Elena, comenzando con un abreve introducción de cómo está repartida la provincia, un poco de reconocimiento y caracterización de su entorno, para tener encuenta las interferencias que podrían existir, para luego adentrarnos a la simulación en Atoll.

Finalmente en el capítulo 5 se presenta la comparación de las dos estrategias de Packet Scheduling en un estudio donde se simula la aplicación de cada estrategia donde los usuarios se encuentran conectados a la red y se analiza el comportamiento del acceso al internet móvil en downlink y uplink de cada estación transmisora.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. Antecedentes

En el Ecuador, con el pasar del tiempo las telecomunicaciones han tenido un desarrollo muy avanzado gracias a la introducción de nuevas tecnologías, permitiendo así, que cada vez sean más las personas que hacen uso del teléfono móvil como un elemento de su vida diaria convirtiéndose así en una herramienta común o de negocios, dando así un incremento en el servicio de datos y servicio de voz para las grandes empresas.

Gracias a las técnicas de codificación, multiplexación, acceso y cifrado de datos, se ha logrado que la telefonía móvil ofrezca una amplia gama de aplicaciones con la finalidad de permitir comunicación en tiempo real a velocidades altas de transmisión. Debido a esto se observa la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías para los usuarios, es así como llega a surgir la tecnología LTE, la cual está basada en la transmisión de datos de altas velocidades para teléfonos móviles.

Un trabajo relacionado sobre el diseño de una red 4G LTE en redes móviles, se presenta en el trabajo de investigación [1], este proyecto surge por la necesidad de analizar la nueva tecnología 4G LTE, su evolución en el mercado de la telefonía móvil y además desarrollar un estudio en los parámetros necesarios para el diseño de una red 4G LTE. Durante el desarrollo del diseño se da a conocer técnicas de modulación, tipos de antenas, bandas de frecuencia, arquitectura de red y cálculo de pérdidas, las mismas que son importante para un estudio más factible y ajustado a la realidad.

De la misma temática, otro trabajo que se encuentra relacionado con redes LTE, optimización y uso de software de simulación [2]. Este estudio se encuentra realizado con la finalidad de profundizar el conocimiento de los sistemas LTE y hacer uso de la herramienta de simulación Atoll para poder observar comportamientos en capacidad y cobertura para después analizar resultados en función al área, capacidad, descarga y carga de datos, rendimiento y entre otros parámetros de la red.

El estudio de las características de las redes LTE es importante para mejorar el servicio por el que hoy en día hacemos uso de las operadoras móviles. Por lo tanto, un enfoque que se encuentra apegado al análisis de cobertura de este tipo de red es presentado en el trabajo investigativo [3], en aquel se llega a realizar la simulación de un diseño de red LTE para algunas sectores rurales, el objetivo de esta investigación es buscar obtener resultados precisos en base al estudio de las características y parámetros de las redes LTE aplicando técnicas de duplexación, FDD (Duplexación Por División De Frecuencia) y TDD (Duplexación Por División De Tiempo), cálculos con modelos de propagación para análisis de la red y comportamiento de la onda radioeléctrica, estudio de la geometría celular y análisis de tráfico con la herramienta de simulación Atoll.

Debido a estos motivos que se presentaron en las referencias anteriores, es necesario realizar un estudio en la provincia de Santa Elena con la finalidad de mejorar la comunicación inalámbrica que se le está brindando a los usuarios aplicando las estrategias de asignación de recursos para este sistema de comunicación LTE.

1.2. Descripción del proyecto

Este presente proyecto se basará en realizar un estudio de una red LTE que se encuentra desplazada en la provincia de Santa Elena, como guía de la figura 1, en ella se observan ciertas radios bases ubicadas en puntos específicos y áreas de poca cobertura de color rojo dispuestas a mejorar, para aquello se utilizará el programa de simulación como lo es “*Atoll Wireless Network Engineering Software*”, el cual será de mucha utilidad en la planificación, análisis, optimización de la red y estudio de su comportamiento.

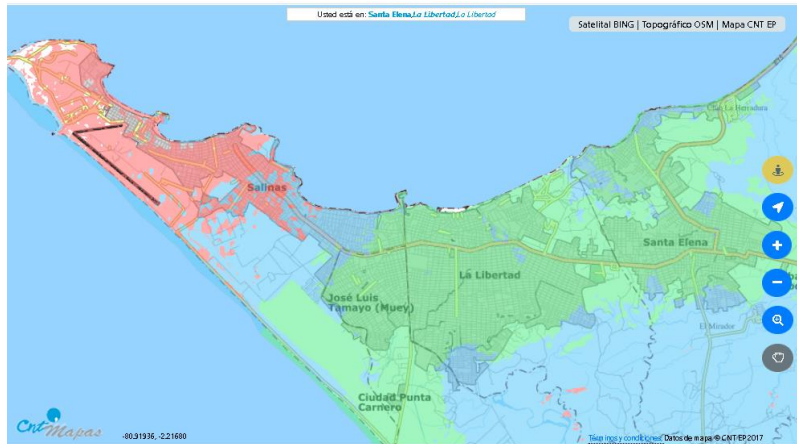


Figura 1. Mapa de cobertura de la provincia de Santa Elena.
Tomada del sitio web "<https://www.cnt.com.ec/>"

La simulación dentro del software dará como prioridad en ser lo más cercano a la realidad posible, por esta razón se realizará un estudio de campo en las radios bases ubicadas dentro de toda la provincia de Santa Elena como se muestra en la Figura 1, para así rescatar información técnica de las mismas. Aquellos datos serán introducidos en el software y se tomarán en cuenta cálculos como de Downlink/Uplink, además de la aplicación que se dará sobre las estrategias de Scheduling.

La estrategia Round Robin es la encargada de asignar el canal a los usuarios de manera ordenada y consecutiva por la cantidad de tiempo determinada para cada usuario sin considerar las condiciones del canal. En esta estrategia todos los usuarios llegan a tener la misma cantidad de recursos asignados, pero a los usuarios con mejores condiciones llegan a tener un throughput más elevado que los usuarios con condiciones más bajas de canal [4].

Por otro lado la estrategia Proportional Fair tiene en consideración las condiciones del canal y esta a su vez busca un equilibrio en llegar a todos usuarios y mejorar el throughput de cada uno de ellos [5].

La finalidad del proyecto es el diseñar y garantizar la optimización de la red, para que, con las simulaciones empleadas, analizar el comportamiento de la capacidad y cobertura, observar los resultados de este estudio para un posterior análisis, ejecución y presentación de resultados.

1.3. Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo General

Optimizar la red LTE de la CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones) desplegada en la provincia de Santa Elena mediante las estrategias de Packet Scheduling Round Robin y Proportional Fair con el propósito de mejorar el rendimiento en la calidad de servicio.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar los procesos de optimización, características y arquitectura de los sistemas de red LTE dentro de la provincia de Santa Elena con el fin de cumplir con la calidad de mejoramiento en la red LTE.
- Aplicar la estrategia de Packet Scheduling - Round Robin en la selección de abstractos para la asignación correcta de recursos a los usuarios de la red LTE.
- Ejecutar la estrategia de Packet Scheduling - Proportional Fair con el propósito de distribuir recursos con la mayor cantidad de velocidad de transferencia efectiva para cada usuario de la red LTE.
- Optimizar la red LTE mediante el uso del software Atoll con la finalidad de comparar los resultados previos a la optimización de la calidad de servicio.

1.4. Justificación

Actualmente se encuentra existiendo un incremento masivo de usuarios y servicios de telefonía móvil, esto inspira a las empresas telefónicas a desarrollar nuevos sistemas de comunicación inalámbrica, las cuales deberían contar con una mayor capacidad.

Estos avances que se encuentran desarrollados por las empresas de telecomunicaciones usan la tecnología LTE, que actualmente está implementada a nivel mundial. Descrita así mismo en [6], esta tecnología se encuentra enfocada en mejorar el rendimiento de los sistemas de comunicaciones móviles, provocando una mínima cantidad de latencia y consumo de potencia, mayor manejo en el uso del espectro radioeléctrico y arquitectura más simplificada.

Dado a conocer la importancia de la tecnología LTE, surge la necesidad de investigar a fondo las comunicaciones móviles en desarrollo para este proyecto, para así poder afianzar los conocimientos teóricos sobre LTE y estrategias Scheduling de paquetes. La herramienta que se utilizara es común mente aplicada en el campo laboral, esta herramienta se presenta como: Atoll Wireless Network Engineering Software.

En base a las necesidades de mejorar el servicio de la comunicación inalámbrica de las radios bases ubicadas en la provincia de Santa Elena, se propone el estudio de optimizar la red LTE. Particularmente este estudio está enfocado en analizar las formas de gestión del espectro radioeléctrico, así como la relación que posee con algunos de los parámetros de la red. Es necesario antes de experimentar tener un diseño que se encuentre basado en los análisis de los clusters y de los parámetros de las antenas. Para que, al concluir con las simulaciones y resultados, encontrar una buena calidad de servicio y cobertura.

1.5. Alcance del proyecto

Mediante la presente propuesta tecnología que se está planteando, se da a conocer que el proyecto propone apuntar a estudiar las composiciones de una red de sistema LTE. Dicho estudio de la red es básicamente analizado por las estrategias de Packet Scheduler (Round Robin y Proportional Fair). Para aquello se realizará un diseño de la red en el software de simulación Atoll Wireless Network Engineering Software, esta red ya se encuentra implementada en el territorio de la provincia de Santa Elena. El uso del software dará la finalidad de observar el mapa de cobertura de la red, para así analizar el modelo de propagación y observar el más adecuado para obtener los resultados óptimos posibles.

Para el estudio de la red se llevará a cabo las mediciones de los parámetros como: Planificación y diseño, resolución de ecuaciones y fórmulas para el análisis de la propagación, mediciones en la zona de estudio, entre otros.

Adicional, se contará con el análisis de los parámetros de las antenas que se están usando para la red LTE, una vez concluida se tomara en cuenta las frecuencias con las que se encuentran operando las antenas, y así con los datos recolectados poder usar la herramienta de simulación, para finalizar y poder distribuir de mejor manera la ubicación de las celdas que corresponden.

Posterior mente, después de la recolección de datos, se realizará la configuración de los parámetros que se encuentran dentro del software como: tilt eléctrico y mecánico de las antenas, clusters, potencia de transmisión, interferencias entre las diferentes radios bases. Estos servirán para contar con un diseño lo más optimizado y apegado a la realidad posible, cumpliendo así con la optimización de la red de la provincia y presentar una mejor cobertura a los usuarios finales que hacen uso de esta.

1.6. Metodología

En este apartado metodológico se presentan los pasos necesarios para evaluar el gran impacto que generan las distintas configuraciones de parámetros y estrategias utilizadas sobre el rendimiento de un sistema móvil, tomando en cuenta la etapa de optimización, uso del software y presentación de resultados.

En vista a la propuesta presentada, el trabajo da comienzo por una de las etapas de investigación, sobre todo, centrándose en los aspectos teóricos que se encuentran relacionados con el uso de la tecnología móvil, tales como: estudio en el estado de la técnica y la tecnología para la optimización de la cobertura y la capacidad en las redes LTE. Con la finalidad de comprender y ejecutar de manera factible el funcionamiento de las herramientas a utilizar. Una de estas herramientas es el software Atoll, que para su correcto manejo es muy necesario repasar su manual "*Atoll User Manual Radio*", el cual lo encontramos en [7], con la finalidad de comprender términos que se encuentran relacionados con las redes LTE.

Dentro del estudio que se propone realizar, se logrará identificar las técnicas de optimización, junto con un análisis teórico preliminar. El cual permitirá identificar las limitaciones de los algoritmos de optimización existentes dentro del área de cobertura y la capacidad de las redes LTE, para así evaluar las condiciones iniciales de su propagación [8], dicho análisis consta en estudiar, como especialmente las técnicas empleadas utilizan solo parcialmente la información disponible que se encuentran en las redes y que limitaciones tienen en el momento de su ejecución, para así finalmente con los datos obtenidos y establecidos gracias a las pruebas y simulaciones realizados determinar el rendimiento del sistema. En la ejecución del proyecto también se realizan dos diferentes tipos de investigación, las cuales se describen a continuación:

- **Investigación bibliográfica:** El presente proyecto tiene esta modalidad debido a que la información que se está prevista a utilizar, se la encuentra dentro de distintos libros, informes, proyectos, revistas científicas, tesis, etc. Estos mismos documentos se encuentran relacionados con la optimización de redes 4G LTE, adicionalmente se mantienen como una base fundamental en las normas y características para la tecnología LTE, la misma que la establece la UIT (Unión Internacional De Telecomunicaciones), y se encarga de regular las telecomunicaciones a nivel internacional.
- **Investigación de campo:** En este tipo de investigación se debe tener en cuenta el análisis físico de las características de las antenas, como son los datos de: altura, material, radiación, ganancia, y distancia de estación a estación. Adicionalmente también se necesita información de las redes móviles por medio de la empresa telefónica o la ARCOTEL (Agencia De Regulación De Las Telecomunicaciones), esto se espera concluir a medida que el proyecto avance de la forma más adecuada posible.

1.7. Resultados esperados

El presente proyecto planteado tiene como objetivos cumplir con la optimización de la red LTE con uso y estudio de las estrategias Scheduling, al final de su desarrollo se esperan los siguientes resultados:

- Aplicación de los procesos de optimización mediante el software Atoll y de las estrategias de Packet Scheduling, para así lograr determinar y establecer una buena calidad de servicio en la red LTE que se estudia en la provincia de Santa Elena.
- Lograr el reparto equitativo por medio del concepto de la estrategia de Packet Scheduling-Round Robin para los usuarios de la red LTE de la provincia de Santa Elena.
- Distribuir los recursos necesarios aplicando la estrategia de Packet Scheduling-Proportional Fair, para que cada usuario conectado dentro de la red LTE obtenga el mejor rendimiento posible.
- Obtención de una red LTE optimizada por los métodos estratégicos empleados y distintas técnicas de diversidad por la herramienta de Software Atoll.

CAPITULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco contextual

LTE con los acrónimos Long Term Evolution es considerado un estándar comúnmente utilizado en el mundo moderno dentro de las comunicaciones inalámbricas por la transmisión de datos que se ejecutan a velocidades muy elevadas en el envío de datos de los teléfonos móviles y sus terminales.

El estándar LTE es común mente destacado por su interfaz radioeléctrica que se encuentra basada en OFDMA (Acceso Múltiple Por División De Frecuencias Ortogonales), para enlace descendente y en SC-FDMA (Acceso Múltiple Por División De Frecuencia De Portadora Única) para enlace ascendente.

Existen varias ventajas sobre LTE, entre las cuales destacan:

- Mayor capacidad en el envío de datos por parte de los usuarios, baja latencia, Inter funcionamiento con otros sistemas, funcionamiento plug and play, FDD y TDD.
- Operar en la mayoría de las bandas de frecuencia.
- Experiencia de usuario mejorada.
- Arquitectura de red más simple y compacta.

Este proyecto se ejecuta dentro la provincia de Santa Elena, empezando por el análisis y la determinación de los elementos que se muestran necesarios tales como: equipos concretos e implementados, ubicación y su configuración de los equipos de telecomunicación, los cuales se encuentran cumpliendo con los determinados requisitos de cobertura, capacidad y calidad que vienen ya de forma establecida por un determinado modelo de negocio.

Para llegar a realizar este proyecto investigativo se ha basado en información general sobre los sistemas móviles 4G, análisis en la arquitectura LTE, red de acceso E-UTRAN la cual cumple con la función de proporcionar recursos que son indispensables para transportar información entre terminales de usuarios, y red troncal EPC (Electronic Product Code) que es la encargada de brindar conectividad IP para la habilitación de acceso.

Optimizar la red consistirá en el ajuste de los parámetros y elementos presentes que son configurables dentro del sistema, de forma que se otorgue el máximo rendimiento de la red. Por lo tanto, la optimización puede verse como un paso necesario para que el rendimiento de la red sea eficiente en el momento en que los usuarios se conecten e interactúen con el envío de datos.

Esta tesis está únicamente centrada en la optimización de la red LTE, donde se espera que este estudio sirva como aporte a la comunidad investigadora que se encuentra dentro del área de las telecomunicaciones para la universidad Estatal Península de Santa Elena.

2.2. Marco conceptual

Dentro de este capítulo se describirán los análisis teóricos sobre las comunicaciones móviles realizando un enfoque dentro de la tecnología LTE como el avance tecnológico, equipos, sistemas y arquitectura, además es importante añadir la descripción de los Packet Scheduling como estrategias de aplicación, a continuación, se describen las herramientas y definiciones necesarias a criterio para el desarrollo de este proyecto.

2.2.1. Comunicaciones móviles

En este apartado teórico se presenta una breve reseña sobre los avances en los sistemas móviles celulares a partir desde la primera generación, en donde pocas personas eran clientes del servicio que se ofrecía hasta llegar a la cuarta y quinta generación donde se realizara más énfasis por la realización de este proyecto investigativo.

2.2.1.1. Red de comunicación móvil de primera generación (1G)

La red de primera generación es la pionera por la ayuda en brindar investigaciones y avances sobre el concepto celular, estos mismos tenían una característica básica en ser analógicos y ofrecer únicamente el servicio de voz, sus características más destacadas se presentan en la tabla 1. La tecnología móvil de primera generación realizaba la transmisión a una misma potencia ignorando el lugar de ubicación y condiciones del entorno, dado el caso que se tenía un porcentaje muy elevado en el consumo de batería e interferencias. Estos equipos de comunicación eran de una textura voluminosa y pesada, más aún, por no tener avances en tecnología, los equipos eran implementados en los vehículos de transporte [9].

Tabla 1. Tecnología móvil 1G.
Fuente extraída de [10]

Dato	Descripción
Año	1970-1980
Estándares	AMPS (Advanced Mobile Phone System)
Tecnología	Analógica
Multiplexación	FDMA (Acceso Múltiple Por División De Frecuencia)
Velocidad	1kbps a 2,4 kbps
Banda de frecuencia	800-900 MHz
Ancho de banda	832 canales dúplex

Los sistemas móviles 1G solían tener aspectos ordinarios, generalmente usaban la tecnología FDD definiendo bandas de interacción en el enlace ascendente y descendente, rondando los 900 MHz.

2.2.1.2. Red de comunicación móvil de segunda generación (2G)

La segunda generación de comunicación móvil se presenta en los años 90, con la ventaja muy especial de haber podido integrar dentro de una misma señal el servicio de voz y mensajes de texto. Uno de los protocolos que se logró estandarizar en las conexiones móviles fue el protocolo GSM (Sistema Global de Comunicaciones Móviles), solucionando así los problemas de compatibilidad que existía entre los dispositivos y operadoras, sus características más destacadas se describen a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Tecnología móvil 2G.
Fuente extraída de [10]

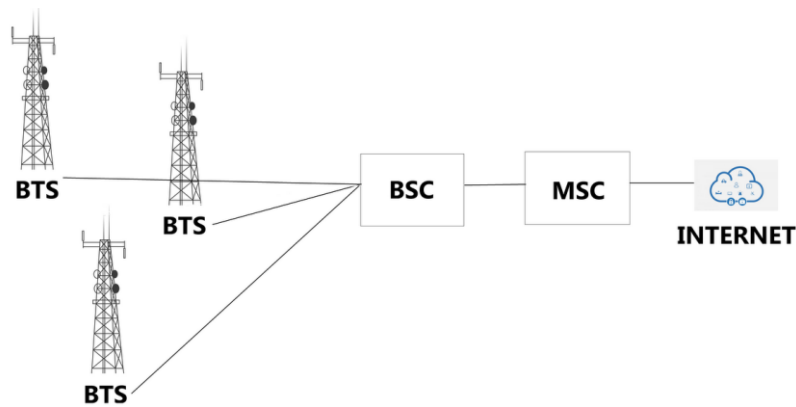
Dato	Descripción
Año	1980-1990
Estándares	GSM, IS-95, JDC, iDEN
Tecnología	Digital
Multiplexación	TDMA y CDMA
Velocidad	14kbps a 64 kbps
Banda de frecuencia	850-1900 MHz (GSM) 825-849 MHz (CDMA)
Ancho de banda	200 kHz en bloques de 25 kHz

El estándar del sistema global para las telecomunicaciones móviles hace uso de las bandas que se encuentran en frecuencia de 900 MHz y 1800 MHz. En América, el estándar GSM opera en las bandas más importantes de las comunicaciones móviles, para Ecuador está la banda GSM-850, que opera a la frecuencia 1900 MHz.

La conformación de una red celular se da porque cada celda se encuentra rodeada por 6 celdas contiguas, la cual es la razón por la que estas se la representan como hexágonos perfectos. Para que no existan interferencias, las celdas que se encuentran adyacentemente no deben estar en la misma frecuencia [11].

Dentro de la red GSM, la terminal del usuario es conocida comúnmente como estación móvil y se la encuentra conformada por una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module), la cual permite identificar de manera única la terminal móvil y el usuario. La figura 2 se observa como las estaciones base o también conocidas como BTS de la zona urbana se conectan únicamente a un controlador de estaciones base o también BSC con la finalidad de controlar la actividad de las BTS, funcionar como medidor y ser el enlace físico entre una estación base y el centro de comunicación móvil o MSC.

Dentro de cada tarjeta SIM se encuentra un número de identificación único, este lleva el nombre de IMSI (Identidad Internacional Del Abonado Móvil), y puede ser protegido con una clave de 4 dígitos denominada código PIN (Número De Identificación Personal).



*Figura 2. Red GSM.
Imagen elaborada por el autor*

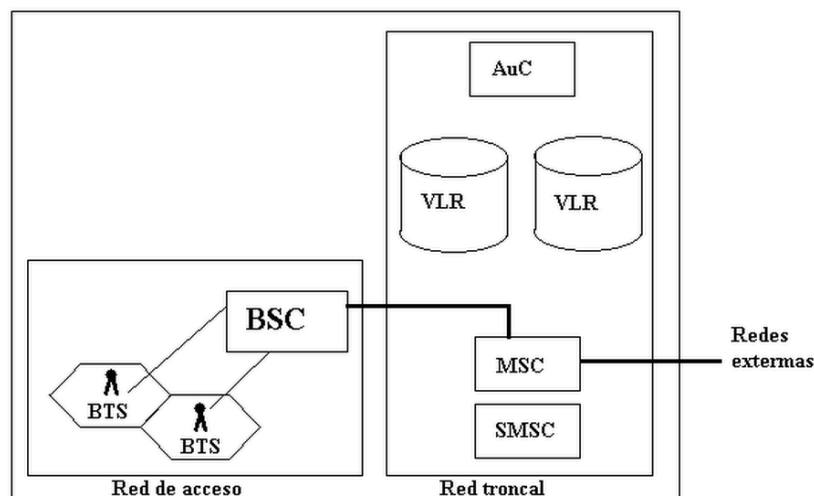
Los controladores de las estaciones base se encuentran conectados de manera local con la MSC, la cual se encarga de conectar con la red de telefonía pública y al internet, este mismo es administrado por el operador de la red telefónica. El Centros de conmutación móvil pertenece a un NSS (Subsistema De Conmutación De Red), el cual se encarga de gestionar la identificación de cada usuario, ubicación y el establecimiento de comunicaciones con otros usuarios [12].

Mientras la MSC se encuentre conectada, esta proporcionara diferentes funciones descritas en la tabla 3.

*Tabla 3. Funciones de la MSC
Tabla elaborada por el autor*

HLR	Es considerada una base de datos con contenido sobre quien puede usar una red central de comunicación GSM.
VLR	Es un servidor que reside en las redes de telefonía celular. Tiene la misión de ser compatible con la funcionalidad de itinerancia cuando las redes celulares se usen fuera del HLR
EIR	Es una base de datos la cual contine una lista de terminales móviles.
AUC	Verifica las identidades de los usuarios.

La red móvil compuesta se encuentra diseñada de esta manera con la finalidad de admitir movilidad en la gestión de movimiento entre celdas. Las redes GSM llegan admitir el movimiento que existe en la red de un operador a otra, denominando así el concepto roaming. La figura 3 destaca la arquitectura GSM donde se definen la interacción de interfaces entre distintos elementos: interfaz entre MSC y BSC, entre BSC y BTS.



*Figura 3. Arquitectura GSM.
Fuente extraída de [13]*

2.2.1.3. Red de comunicación móvil de generación 2.5G

Varias de las tecnologías 2.5G llegaron a surgir como una evolución del sistema GSM, estas mismas fueron: HSCSD, GPRS y EDGE [14].

El sistema mejorado de GSM conocido como HSCSD fue expuesto por el Instituto Europeo de normas de telecomunicaciones (ETSI) en inicios del año 1997, la ejecución de este

sistema tenía un buen funcionamiento en las aplicaciones que se ejecutaban en tiempo real, pero, aun así, estas empleaban conmutación por circuito, lo cual presentaba una pérdida elevada de los recursos que se encontraban libres para el servicio de voz, debido a que los canales deben mantenerse en reserva por el tiempo que se emplea la conexión ignorando la transferencia de datos [14].

Luego del sistema mejorado GSM, la ETSI da comienzo a la investigación del sistema GPRS como una extensión extendida del sistema GSM para el envío de datos utilizando la conmutación de paquetes, a continuación la tabla 4 muestra las características más importantes de esta generación.

Tabla 4 Tecnología móvil 2.5G.
Fuente extraído de [10]

Dato	Descripción
Año	2000-2003
Estándares	GPRS, EDGE
Multiplexación	Desplazamiento mínimo gaussiano (GPRS) Y EDGE (8-PSK)
Velocidad	115 kpbs (GPRS) / 384 kbps (EDGE)
Banda de frecuencia	850 – 1900 MHz

El sistema GPRS emplea varios esquemas de codificación los cuales son dependientes del enlace de radio, tipo de terminal y tráfico de datos de la celda. Este sistema da paso al uso de varios *time slots* por cada conexión, logrando así una velocidad máxima de 171.2 kbps utilizando solamente 8 time slots [15].

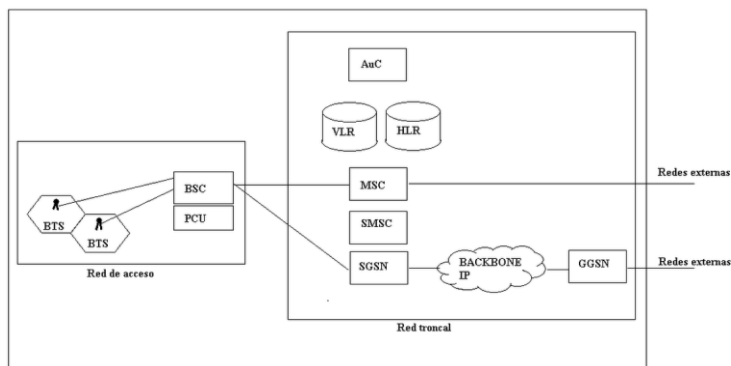


Figura 4. Arquitectura GSM/GPRS.
Fuente extraído de [13]

La tecnología 2.5G llega a surgir como una mejora para el sistema GSM/GPRS. Por ejemplo la tecnología GPRS fue la que complemento a la tecnología GSM añadiendo la

codificación adaptativa, de la misma la tecnología EDGE complemente a la tecnología GPRS añadiendo la modulación adaptativa [14], dicho complemento se muestra en la arquitectura de la figura 4.

2.2.1.4. Red de comunicación móvil de tercera generación (3G)

La red de comunicación 3G tiene como objetivo ofrecer un aumento en las tasas de datos, facilitando el crecimiento, la capacidad de voz y el uso de datos. Aportando con varias aplicaciones y transmisiones elevadas de datos a precios accesibles para los usuarios [10].

Los sistemas 3G fueron estandarizados por el proceso IMT-2000. En este proceso se estandarizo una serie de requerimientos que deberían de cumplirse como: 2Mbit/s de transferencia de datos en ambientes cerrados, y 384 kbit/s en ambientes abiertos [16], las características más destacadas se presentan en la tabla 5.

*Tabla 5. Tecnología móvil 3G.
Fuente extraída de [10]*

Dato	Descripción
Año	2000
Estándares	UMTS, CDMA 2000, interfaz de radio TD-SCDMA
Tecnología	Interfaz WCDMA, HSPA, CDMA2000 1X
Velocidad	384KBPS 2Mbps
Banda de frecuencia	Aproximadamente 8 a 2,5 GHz
Ancho de banda	5 a 20 MHz

Un ambiente interior de baja movilidad con tecnología 3G es capaz de ofrecer una variedad de servicios para los usuarios, tales como: llamadas telefónicas, acceso a redes LAN corporativas, uso de internet, uso de correo electrónico, envío de archivos e imágenes de calidad, servicios de video conferencias, envío de audio y video en tiempo real para comunicación [9].

El sistema UMTS tuvo su primera publicación entre los años 1998 y 2000, la cual se planteaba como una evolución de las redes GSM/GPRS. A diferencia del sistema UMTS de la figura 5, esta se muestra como un complemento de la arquitectura GSM/GPRS. En aquella publicación de los años 1998 y 2000 se daban a conocer dos modos de operación que se definían como:

Modo FDD, el cual empleaba la técnica de acceso conocida como Wideband code división multiple access(W-CDMA), y cumple la función de proporcionar una eficiencia más elevada, permitiendo otorgar varios servicios de acceso radio, donde el canal físico es definido por medio de un código, una frecuencia y un time slot [17].

Modo TDD, empleaba la técnica de acceso TD-CDMA, una de las interfaces de radio que se encuentra en el estándar 3G, la cual se basa en una combinación entre TDMA y CDMA [17].

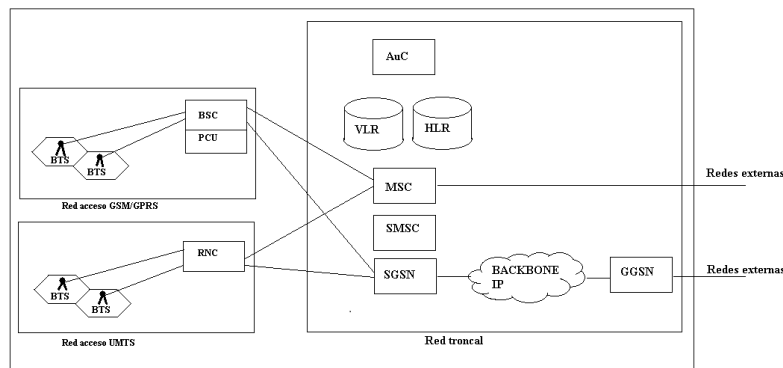


Figura 5. Arquitectura UMTS.
Fuente extraída de [13]

Dentro de las características del acceso radio UMTS se dieron varias mejoras muy importantes que se conocen como:

- Acceso a paquetes de alta velocidad (HSPA), la cual tiene la finalidad de mejorar los servicios de los paquetes de datos añadiendo así más velocidades y disminuyendo los retardos [18].
- Mecanismos de retransmisión híbrida (HARQ), con redundancia incremental para las mejoras del acceso radio UMTS [18].

2.2.1.5. Red de comunicación móvil de cuarta generación (4G)

La red de comunicación móvil de cuarta generación se encuentra basada en IP, para así poder proporcionar velocidades muy elevadas, mejor calidad de servicio, más capacidad en la recepción de transmisión de datos, seguridad en el servicio y costos bajos para los servicios de:

- Voz
- Datos

- Multimedia
- Internet por medio de IP.

La tabla 6 descrita a continuación contiene las características más importantes de la tecnología 4G.

*Tabla 6 Tecnología móvil 4G.
Fuente extraída de [10]*

Dato	Descripción
Año	2010.
Estándares	LTE TDD y LTE FDD WiMAX: móvil (802.16m)
Tecnologías	Multiplexación/acceso: OFDM, MC-CDMA, CDMA y LAS-red-LMDS
Velocidad	Alcanza los 100 Mbps en transmisión y 1 Gbps cuando se encuentra en reposo.
Telefonía	IP
Bandas de frecuencias	En nuestro continente americano, el sistema LTE utiliza las bandas 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz
Ancho de banda	5-20 MHz

La 4G llega a tener velocidades de descarga desde 1 Gbps en reposo, de 100 Mbps en movimiento y hasta 50 Mbps para subida. Además, esta tecnología llega a soportar QoS (Quality of Service), permitiendo ofrecer cualquier tipo de servicio en cualquier momento y lugar. Una de la gran ventaja que tiene 4G es que llega a proporcionar una velocidad de transferencia de datos con internet mayor a cualquier servicio de las redes celulares existentes y, además busca alcanzar las comunicaciones móviles de banda ancha [19].

2.2.1.5.1. Sistema Long Term Evolution

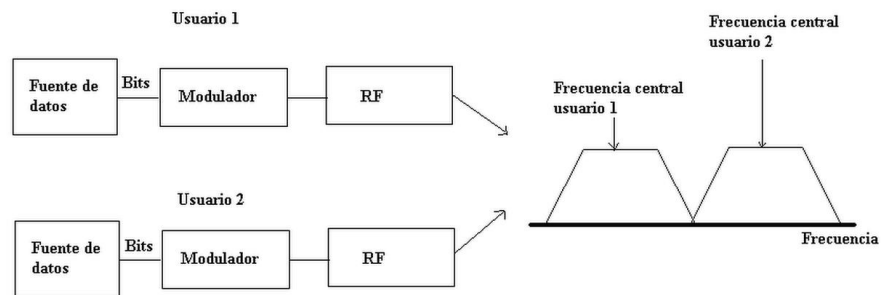
El Sistema LTE es presentada como una tecnología de cuarta generación desarrollada por la asociación 3GPP. Este sistema es uno de los primeros en brindar la mayoría de los servicios, entre ellos, el servicio de voz sobre el protocolo de comunicación IP.

Adicional, las velocidades pico de las interfaces de radio que se introducen en el sistema LTE superan ampliamente las velocidades picos de los sistemas anteriores, soportando velocidades que abarcan desde las tres o cuatro veces mayor a la velocidad de HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) en downlink con 100 Mbps y dos o tres veces

mayor al de uplink con 50 Mbps, dando la oportunidad a que los usuarios puedan usar grandes velocidades para poder aprovechar los servicios multimedia [4].

2.2.1.5.2. OFDM Y OFDMA

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), consiste en que varias portadoras espaciadas entre si no causen interferencia entre ellas mismas. Permitiendo enviar múltiples señales de manera simultánea en frecuencias distintas.



*Figura 6. Principio FDM.
Fuente extraída de [19]*

Por otro lado, el acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA), es una elaboración de la OFDM utilizada por LTE, esta tiene la finalidad de incrementar la flexibilidad del acceso de los usuarios al sistema mediante la multiplexación de varios usuarios en las mismas subportadoras [19].

2.2.1.5.3. SC-FDMA

Conocida como la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia de portadora simple, esta misma se muestra como una versión de la OFDM teniendo una disparidad en el consumo de la energía y el uso de amplificadores.

La OFDM posee picos de potencia los cuales no llegan a representar un problema dentro de la estación base, pero aun así es inaceptable para un móvil. Es por esta razón que la tecnología LTE utiliza la modulación SC-FDMA para la comunicación móvil a la estación base [19].

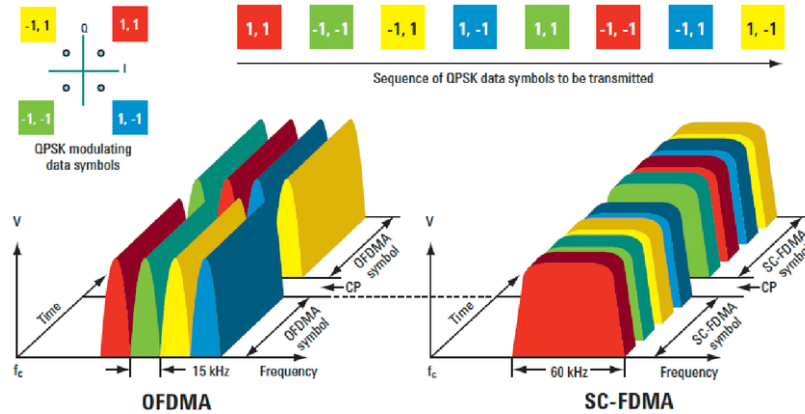


Figura 7. OFDMA y SC-FDMA.
Fuente extraída de [20].

Dentro de las diferencias que presenta la OFDMA Y SC-FDMA se puede observar en la figura 7 que el SC-FDMA transmite los símbolos de forma serial y visualmente se llega a distinguir que el OFDMA hace uso de múltiples portadoras a diferencia que el SC-FDMA utiliza una sola [19].

2.2.1.5.4. TDD Y FDD

La figura 8 muestra los enlaces para downlink y uplink, los cuales se encuentran separados en el FDD, por lo que se llega a transmitir datos en el mismo instante de tiempo pero en diferentes frecuencias. Mientras tanto en TDD los enlaces de downlink y uplink se encuentran en una misma frecuencia pero la transmisión se realiza de manera discontinua [19].

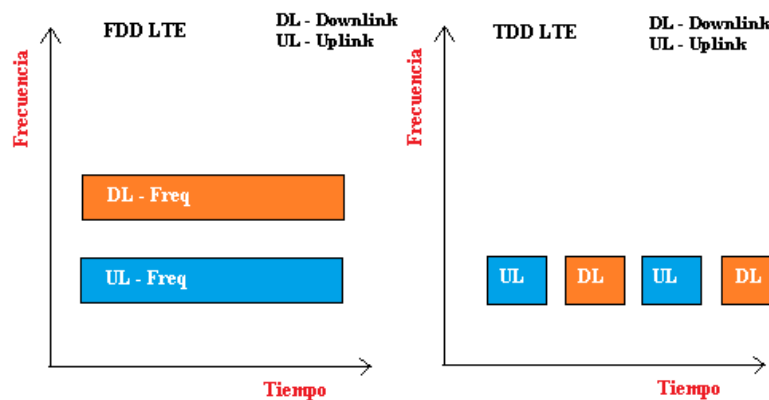


Figura 8. Métodos FDD y TDD.
Fuente extraído de [21].

El método TDD es muy popular para la mayoría porque presenta una facilidad en la capacidad de explotar la reciprocidad del canal, la capacidad de implementación en una banda no dividida, flexibilidad para escoger las tasas de transferencia de datos en los enlaces según correspondan y también llega a tener un diseño del transceptor menos complejo [19].

En el Ecuador las operadoras CNT, CONECEL y OTECEL emplean dos frecuencias para conectarse a la red, estas se especifican como subida y bajada de datos en transmisión y recepción, ejecutando el método de duplexación FDD en las bandas de frecuencia que se encuentran disponibles en el espectro radioeléctrico: 700 MHz, 1900 MHz, 1700-2100 MHz Y 2500 MHz [22].

2.2.1.5.5. AMC

La modulación y codificación adaptativa o con sus siglas AMC, se presenta como un mecanismo para maximizar el rendimiento de un canal el cual puede ser variable en el tiempo [19].

2.2.1.5.6. Seguridad

El sistema LTE llega a incorporar autenticación mutua, confidencialidad de la identidad del usuario, protección de la integridad de todos los mensajes de señalización entre el móvil y la MME (Entidad de Gestión de Movilidad), y cifrado o encriptación de datos opcional [19].

2.2.1.5.7. Arquitectura del sistema LTE

La arquitectura del sistema LTE se dio a conocer en base a tres requisitos indispensables:

- Conmutación de paquetes
- Baja latencia
- Costos reducidos.

La arquitectura LTE abarca una nueva red de nombre E-UTRAN orientada al tipo de red de acceso, de igual manera una nueva red troncal conocida como EPC, la combinación de los dos tipos de redes se la conoce con el nombre de ESPS, bajo el termino de LTE [4].

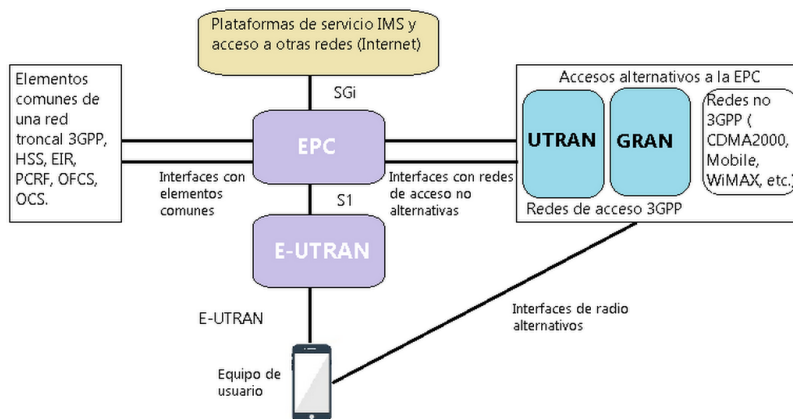


Figura 9. Arquitectura LTE
Fuente extraída de [23]

Las partes principales que componen el sistema LTE presentes en la figura 9, se dan a conocer como una nueva red de acceso denominada E-UTRAN con un nuevo dominio de paquetes EPC, estos componentes fueron creados con la finalidad de soportar todo servicio de comunicación inalámbrica por medio de la conmutación de paquetes [24].

2.2.1.5.8. Red de acceso E-UTRAN

Esta red de acceso se encuentra formada por estaciones base y equipos controladores de estaciones base, cumpliendo la función de realizar la comunicación y transmisión de radio con los equipos de usuario, encargándose de gestionar los recursos de radio que se encuentren disponibles para ofrecer los servicios portadores de una manera eficiente.

La figura 10 muestra que los eNBs son los encargados de realizar todas las tareas de la red de acceso. Estas tareas anteriormente en la red 3G eran cumplidas por medio de las estaciones base, de la mano con los controladores conocidos como: BTS y BSC en GSM, NodeB y RNC en UMTS, de allí que sea denominada una arquitectura plana [4].

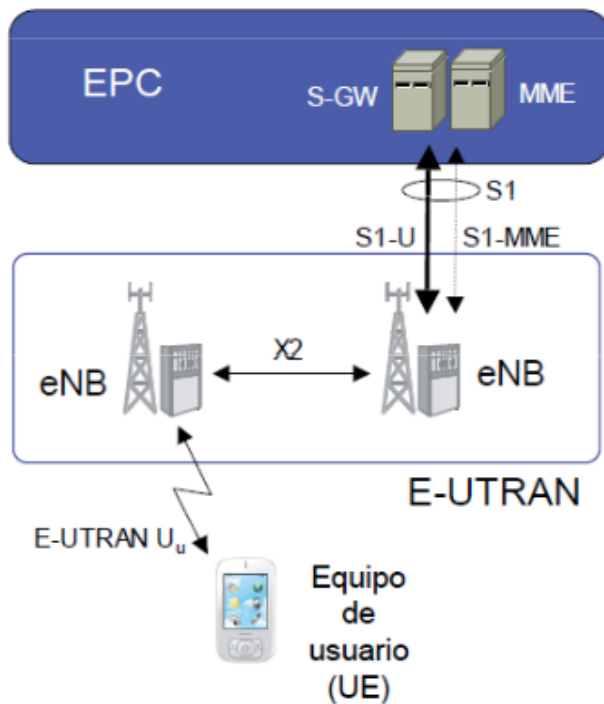


Figura 10. Red de acceso E-UTRAN
Fuente extraída de [23]

Entre las funciones más importantes que cumplen los eNBs para la red de acceso E-UTRAN [4], se encuentran:

- La gestión de recursos radio.
- Control de admisión y movilidad
- Scheduling de paquetes con asignación dinámica de los recursos en UL/DL.
- Compresión de cabeceras.
- Seguridad en la interfaz radio.
- Conectividad con la red troncal EPC.

2.2.1.5.9. Red troncal de paquetes evolucionada: EPC

Esta red se encuentra conformada por los elementos más representativos como son la MME, S-GW (Serving Gateway) y P-GW (Packet Data Network Gateway), pero además de estas entidades se encuentran también el HSS y el PCRF [4].

La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC son las que se encargan de asignar un servicio en el envío de paquetes para los equipos de los usuarios y las redes que se encuentren externas o conocidas también como plataformas IMS [24].

2.2.1.5.10. Packet Scheduling

Una de las importantes funciones que tiene el Radio Resource Management (RRM) es el scheduler de paquetes. Los Packet Scheduling se encargan de otorgar la asignación de los recursos a los mismos usuarios dentro del área de cobertura que llega a existir en cada celda, tomando a consideración la decisión en que los usuarios deben transmitir información en cada instante de tiempo de acuerdo con el esquema de modulación y codificación [4]. En conclusión, los Packet Scheduling permiten que la asignación de recursos se realice de una forma dinámica para que los usuarios puedan ejecutar sus transmisiones de una forma moderada.

2.2.1.5.11. Downlink y Uplink

Dentro de los sistemas LTE, las funciones que ejecutan los Packet Scheduling son realizadas por medio de los eNBs para así poder asignar los recursos de radio a los usuarios en los diferentes tipos de enlace (downlink y uplink). La figura 11 muestra que la estrategia de scheduler es la encargada de tomar la decisión en la asignación de recursos tomando en cuenta el estado del buffer, y cumplir con la asignación de recursos para cada usuario que tenga información por enviar o recibir [4].

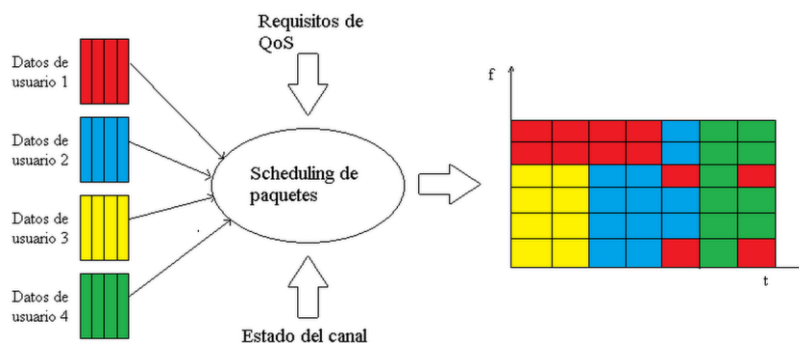


Figura 11. Scheduling de paquetes en OFDMA
Fuente extraída de [4]

Dentro del sistema LTE se encuentran canales de tráfico que están compartidos entre usuarios, estos solo estarán compartidos cuando existan datos por enviar o recibir entre usuarios, tal como la figura 12. Es debido a esto que el scheduler asigna el canal físico compartido descendente (PDSCH) para ayudar en el transporte de datos de usuario en un enlace descendente solamente cuando los usuarios tienen información para recibir, y de la

misma manera el scheduler asigna el canal físico compartido ascendente (PUSCH) cuando los mismos usuarios tiene información necesaria para enviar [4].

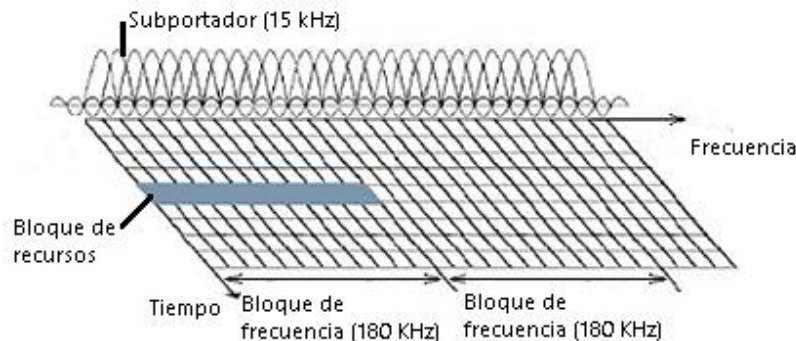


Figura 12. Physical Resource Block de LTE.
Fuente extraída de [4]

El algoritmo presente en la figura 13 muestra que las estrategias de Packet Scheduling se encuentran en el enlace ascendente para el esquema de acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA), y llegan a tener similitud a los que se ejecutan en el enlace descendente para OFDMA [17].

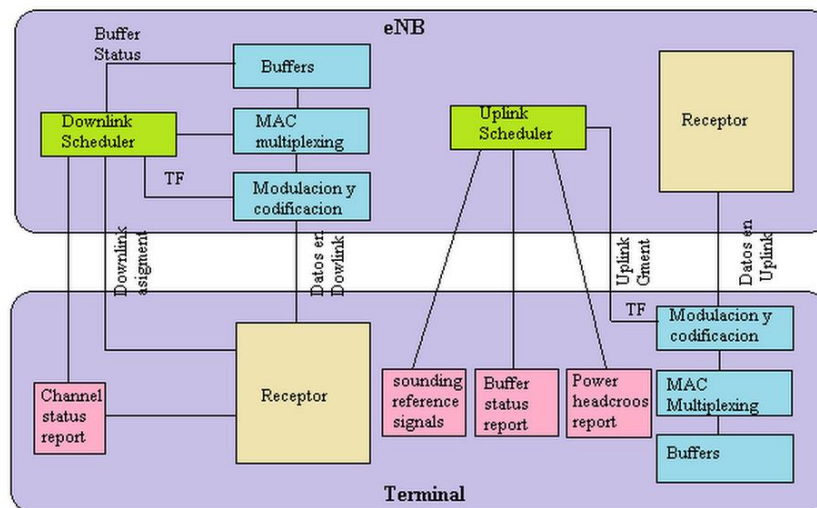


Figura 13. Sinopsis DL y UL Scheduling para LTE
Fuente extraída de [4]

2.2.1.5.12. Estrategias de Packet Scheduling

Las estrategias de Packet Scheduling se deben aplicar como una de las funcionalidades de las estrategias de Radio Resource Management, pero el RRM no da a conocer el proceso en que estas deben ser ejecutadas, es por este motivo que los usuarios pueden hacer uso de las estrategias y elegir la de mejor comportamiento ante la situación.

Del mismo modo, se han llegado a establecer diversas técnicas de Packet Scheduling, algunas de ellas toman en cuenta las condiciones en la que se encuentra el canal, otras solamente intentan crear una asignación justa entre usuarios y otros que tienen el objetivo de maximizar la capacidad de la red [17].

2.2.1.5.13. Round Robin (RR)

El fin de esta estrategia de scheduler es poder asignar los recursos a cada usuario de una forma consecutiva en un mismo intervalo de tiempo para cada usuario, esto quiere decir que la asignación se realiza en orden, usuario por usuario, secuencialmente, sin tener en consideración las condiciones del canal.

La estrategia RR se considera una estrategia equitativa debido a que cada usuario obtendrá la misma porción de recursos que se logren asignar, pero al mismo tiempo muestra sus desventajas ya que al usuario con malas condiciones en el canal obtendrá menor throughput en comparación al usuario que tenga condiciones más favorables [4].

Esta estrategia de scheduler al ser sencilla de implementar no cumple con la garantía de tener un sistema eficiente, debido a que no se tiene en consideración las condiciones del canal y esto no garantiza una buena calidad en el enlace.

2.2.1.5.14. Proportional Fair (PF)

La estrategia Proportional Fair utiliza la combinación del canal de radio eficiente y el reparto igualitario de los recursos que se otorgan a los usuarios, con el objetivo de que ningún usuario se quede sin la oportunidad de disponer de los recursos, gracias a este procedimiento se logra conseguir un reparto equilibrado entre una estrategia adaptativa y una optimización del throughput para cada usuario [5].

2.2.1.5.15. Proportional demand (PD)

La estrategia Proportional Demand tiene el objetivo de asignar recursos equitativamente de las demandas máximas de throughput, y debido a este acontecimiento los usuarios que soliciten cantidades de throughput elevadas obtendrán dicha solicitud, en cambio los usuarios que soliciten menores cantidades de throughput, obtendrán menor cantidad de throughput debido a su solicitud [17].

2.2.1.5.16. Maximum C/I (Max C/I)

El objetivo de esta estrategia de Packet Scheduling es otorgar los recursos por intervalos de tiempo en el momento en que se realiza la transmisión para los usuarios que suelen tener mejor estado en la relación del nivel de señal al ruido [17].

Esta estrategia de Packet Scheduling logra maximizar la capacidad que tiene una celda, pero no se la considera una buena estrategia debido a que los recursos solo estarán disponibles para los usuarios que se encuentren con mejores condiciones de canal, esto quiere decir que los usuarios que se encuentren alejados de la estación base no cumplirá con dicha condición [17].

2.2.1.6. Red de comunicación móvil de quinta generación (5G)

Esta nueva tecnología 5G de comunicación tiene sus inicios en el año 2015, y se define a sí misma como una tecnología OWA (Open Wireless Architecture) debido a su capa física y de enlace de datos.

La señal de datos que envía o recibe la antena llega a ella a través del medio físico FO (Fibra óptica), este proceso se basa en la tecnología Frounthauling usando el protocolo CPRI (Common public radio interface), el cual se trata sobre la conversión de red y a su vez es utilizada en las redes 4G y 5G. Un pequeño ejemplo visible de esta tecnología Frounthauling CPRI es mostrado en la figura 14. [25].

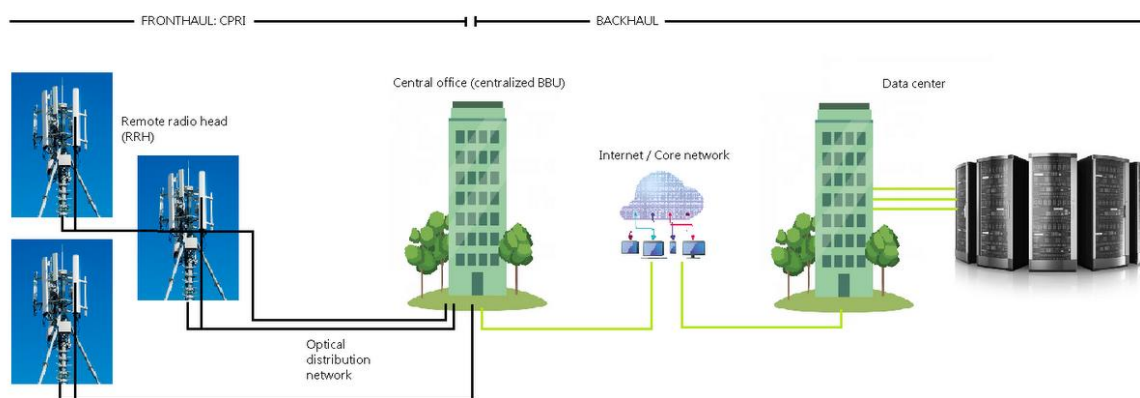


Figura 14. Tecnología Frounthauling CPRI.
Imagen elaborada por el autor

Su capa de red se encuentra compartida por dos capas:

- Capa de red superior con función en el terminal móvil.
- Capa de menor nivel de red para la interfaz.

El enrutamiento que ofrece esta tecnología se encuentra basado por medio de dirección IP, las cuales ofrecen ser diferentes en cada red IP. Existen tres puntos principales para 5G [26], los cuales son definidos por la UIT (Unión Internacional De Telecomunicaciones) las cuales son:

- **eMBB (Banda ancha móvil mejorada):** proporciona altas velocidades de datos de hasta 20 Gbits/s.
- **URLLC (Comunicaciones de baja latencia ultra confiables):** se basa en conexiones ultra confiables y de baja latencia de hasta 1 ms.
- **mMTC (Comunicaciones de tipo maquina masiva):** da paso al acceso de conexión de varios dispositivos.

*Tabla 7. Tecnología móvil 5G.
Fuente extraída de [10]*

Dato	Descripción
Año	2015
Estándares	Banda ancha IP LAN /WAN/PAN & WWW
Tecnologías	Access-CDMA y BDMA (Beam Division Multiple Access)
Velocidad	1-10 Gbps
Banda de frecuencia	3-300 GHz
Ancho de banda	1.000 x ancho de banda por unidad de superficie

2.3. Marco teórico

Para la realización de esta propuesta tecnológica se ha recopilado información de diferentes fuentes investigativas, las cuales no ayudan con aportes importantes dentro del campo de telecomunicaciones con la propuesta que estamos presentando, la investigación más relevantes y relacionadas con nuestro proyecto se muestran a continuación.

En la universidad internacional SEK Ecuador, ubicada en la ciudad de Quito, se realizó el trabajo investigativo de titulación: **Planificación, diseño e implementación de LTE-4G, bajo estándar LTE-FDD para Santo Domingo de los Tsáchilas**, en el año 2016, el cual propone una implementación de una red LTE utilizando un operador privado de la misma ciudad de origen. Para la realización de este estudio es necesario herramienta de

planificación y diseño, que garanticen el buen servicio de lo que es una red de cuarta generación, y así poder caracterizar los buenos niveles de velocidad en descarga de información, rendimiento y estabilidad en el rendimiento de datos [27].

En la universidad estatal península de Santa Elena, en el año 2013, como presentación de trabajo de titulación se realizó: **Diseño de una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P. provincia de Santa Elena**, donde se realiza el diseño de una red de cuarta generación en los cantones de la provincia, para así poder obtener información tecnológica de telefonía e internet. Previo al desarrollo de esta propuesta se realiza un análisis de cobertura radioeléctrica, transferencia de datos, latencia de la transmisión, potencia de recepción, pérdidas de propagación, tráfico, servicios ofertados, y comparación de la tecnología de aquel año con la cuarta generación para conocer así la factibilidad de esta propuesta [28].

Otra propuesta importante la encontramos en la universidad politécnica de Catalunya, en el año 2012, este trabajo de titulación se presenta así mismo como: **Planificación de una red LTE con la herramienta Atoll y análisis del imparto de las estrategias de Packet Scheduling**, este trabajo tiene el objetivo de plantear un diseño de red LTE utilizando Atoll para poder desarrollar distintas situaciones donde se pueda analizar el throughput de la red aplicando las estrategias de Packet Scheduling, la primera fase en este trabajo investigativo se basa sobre temas referente a LTE, para posteriormente poder realizar la planificación de la red y finalmente realizar el estudio de optimización y evaluación de las estrategias de Packet Scheduling [17].

CAPITULO III

3. TÉCNICAS Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.1. Introducción a los parámetros de resultados en ATOLL

Este capítulo se encuentra centrado en determinar diferentes parámetros que están relacionados a las redes LTE en diferentes ambientes dentro del software de simulación Atoll. Los cuales nos van a permitir realizar una simulación en los ambientes tales como urbanos y rurales de la provincia de Santa Elena.

A continuación, se explican los algoritmos, términos y definiciones que existen dentro del software de simulación Atoll, estos mismos llegan a ser necesarios en el transcurso del desarrollo de este presente proyecto. Para ello se ha empleado la metodología analítica en la debida interpretación de los parámetros que se han encontrado de distintas fuentes bibliográficas, y adicionalmente se hace uso del método descriptivo para poder definir el comportamiento que suelen tener las variables que se encuentran recopiladas.

3.1.1. Planificación de una red LTE

El principal paso para poder iniciar un proyecto de planificación radio es la recopilación de información la cual está destinada a ser utilizada en el despliegue de la red.

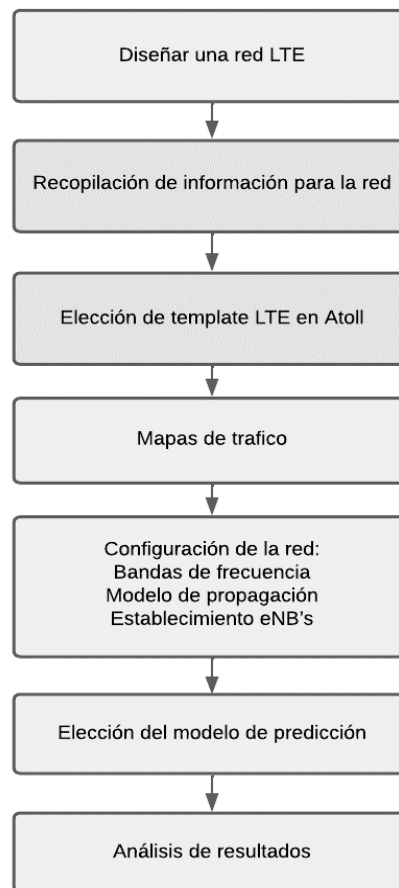
- Equipos de radio: transmisores y antenas.
- Tecnología radio: bandas de frecuencias.
- Información geográfica: clusters, classes, heights y mapas de tráfico.

Luego de tener recopilada la información correspondiente se debe de abrir o crear un nuevo proyecto, dentro de Atoll los proyectos se encuentran definidos como template, para este caso en el diseño de la red se selecciona el template LTE.

Seguido, se deberá configurar la red agregando los mapas del relieve de la zona de estudio, transmisores, y todos los demás parámetros que conforma la red LTE.

Los resultados de predicción que muestra Atoll se llegan a calcular por medio de la señal que es recibida, tomando en consideración las interferencias que podrían existir o habitar en el terreno. Las predicciones incluyen estudios de: nivel portador, área de servicio de celdas, cobertura por throughput, indicadores de calidad [17].

Finalmente se analizan las predicciones que fueron requeridas por el usuario dependiendo del tipo de cobertura que haya requerido analizar.



*Figura 15. Pasos para diseñar una red LTE
Imagen elaborada por el autor*

En la figura 15 se observa de forma resumida y en orden los pasos descritos con anterioridad, desde la configuración de plantilla, establecimiento de nodos y muestra de resultados finales.

3.1.2. Predicciones de cobertura en ATOLL

El software de simulación Atoll presenta dos formas distintas en mostrar los resultados de cobertura, estos resultados son de beneficio para poder sacar conclusiones sobre el nivel y calidad de señal.

La simulación que se realiza tiene en consideración que cada píxel del mapa es un usuario, y dicho usuario no puede intervenir con el servicio, movilidad y terminal específico que se llegan a mostrar en el instante en que se ejecuta la simulación [17].

Los resultados de simulación sobre la calidad de señal tienen como base cualidades de *DL traffic load* y *UL noise rise* en la *table cell* para poder obtener la relación portadora a interferencia más ruido ($C/(I+N)$) en cada pixel donde se plantea el área de análisis [17]. A continuación, la tabla 8 muestra las distintas predicciones según su clasificación que pueden ser ejecutadas en el software Atoll.

Tabla 8. Tipos de predicciones en Atoll
Fuente extraída de [17]

Clasificación	Predicciones	Descripción
Por nivel de señal	Coverage by signal level	La cobertura por nivel de señal da la facilidad de observar la cobertura que hay en el mapa en niveles de señal que son identificados por colores en los pixeles geográficos de la zona determinada.
	Coverage by transmitter	En esta predicción se observan las zonas de cobertura que existen por transmisión en cada pixel geográfico de la zona determinada.
	Overlapping zones	Permite observar las zonas que se encuentran solapadas entre dos o más transmisores en cada pixel del mapa geográfico que se está estudiando.
	Effective signal análisis	El análisis de señal efectiva muestra distintas señales LTE en donde a cada una se calcula el nivel de señal.
Por calidad de señal	Coverage by $C/(I+N)$ level	Esta predicción puede analizar los niveles que existen de interferencia y los niveles de portadora a interferencia más ruido en cada pixel de la zona determina de cálculo.
	Service area analysis	Realiza un análisis de cálculo en el área de servicio donde se muestra los mejores niveles de Bearers.
	Effective service area analysis	El análisis efecto del área de servicio muestras zonas de servicio libres para enlaces descendentes y ascendentes.
	Coverage by throughput	La cobertura por rendimiento permite observar la calidad de rendimiento en niveles, en cada zona del mapa donde se plantea el análisis.
	Coverage by quality indicator	Realiza cálculos con el objetivo de mostrar varios indicadores de calidad basados en beares en cada pixel de la zona de estudio donde se plantea el análisis.

3.1.3. Distribución y generación de usuarios

Atoll distribuye usuarios en el mapa en cada predicción que se realiza, los usuarios se producen por medio de una distribución de Poisson tomando como base los mapas de tráfico, debido a que estos contienen información del entorno.

Dentro de este proceso, cada móvil que se genera llega a tener un servicio, movilidad y tipo de terminal considerando a la asignación que se le da al perfil de usuario [17].

3.1.4. Cálculos en Downlink y Uplink

En el downlink existen una cantidad de resultados que destacan en las simulaciones de predicción, tales como:

- Encontrar el mejor bearer disponible del canal PDSCH.
- Calcular el rendimiento del canal en la ubicación móvil.
- Asignación de recursos a los usuarios.

Del mismo modo que en el Downlink, en el Uplink existen procesos de resultados para los canales PUSCH y PUCCH, entre los principales se tiene:

- Determinar el mejor bearer disponible en los canales PUSCH y PUCCH.
- Realizar el control de potencia.
- Calcular el rendimiento del canal.
- Asignación de recursos a los usuarios.

3.1.5. Cálculos Scheduling

La tabla 9 detalla la explicación de los algoritmos para los cálculos scheduling.

*Tabla 9. Algoritmos y ecuaciones Scheduling y RRM
Fuente extraída de [17]*

Nombre	Definición
Peak RLC Channel	Es considerado como el rendimiento máximo de la capa RLC.
Effective RLC Channel	Se considera como el rendimiento neto que existe en la capa RLC.
User Throughputs	Hace referencia al número de bits que son recibidos de manera justa en un instante de tiempo.
Traffic Loads	Se refiere al porcentaje de tramas en el tráfico de usuarios en descargar y carga.

Uplink Noise Rise	Medida de la interferencia en el UL respecto al ruido.
Cell Capacity	Límites de carga máxima de las celdas.

3.1.6. Parámetros de scheduler

En este apartado se da a conocer los diferentes parámetros y conceptos de la tabla 10, los cuales cumplen una función específica al momento de ejecutar el proceso de simulación de radio.

Tabla 10. Parámetros de scheduler en Atoll
Fuente extraída de [17]

Parámetro	Definición
Target Throughput for Voice Services	Throughput que al momento de asignar la estrategia de Packet scheduling será de prioridad asignar los recursos para el voice services.
Target Throughput for Data Services	Throughput que al momento de asignar la estrategia de Packet schedulign será de prioridad asignar los recursos para el data services.
Bearer Selection Criterion	Método de simulación que emplea Atoll en donde se escoge el mejor bearer para poder calcular los niveles de rendimiento.

3.1.7. Asignación de recursos

Dentro de la asignación de recursos que se da en Atoll, se lleva a cabo una serie de procesos internos en el momento de ejecutar la simulación, teniendo en consideración el scheduler asignado por el usuario. Estos pasos de selección y asignación estarán descritos en un diagrama de bloques para un reconocimiento rápido del proceso.

3.1.7.1. Asignación de recursos en la selección de usuarios

Durante la ejecución de este proceso en la selección de usuarios, el scheduler selecciona el número de usuarios del total de usuarios que se llega a producir en la simulación tal y como se haya establecido el número máximo de usuarios para cada celda [17].

Tabla 11. Representación del número de usuarios.
Tabla elaborada por el autor

$N_{Users}^{TX_t}$	Número total de usuarios
$N_{Users-generated}^{TX_t}$	Número total de usuarios que son generados en el instante en que se realiza la predicción
$N_{Users-Max}^{TX_t}$	Número de usuarios máximos

El número máximo de usuarios en la asignación de recursos para cada celda es representado con la ecuación 1 y sus expresiones se encuentran descritas en la tabla 11.

$$N_{Users}^{TX_t} = \text{Min}(N_{Users-Max}^{TX_t}, N_{Users-generated}^{TX_t})$$

Ecuación 1. Asignación de recursos

En caso, en donde no existe un límite para el número de usuarios máximos en cada celda, el scheduler selecciona de manera automática todos los usuarios que se generan de esa simulación, el proceso correspondiente se encuentra descrito en la figura 16 con diagrama de bloques.

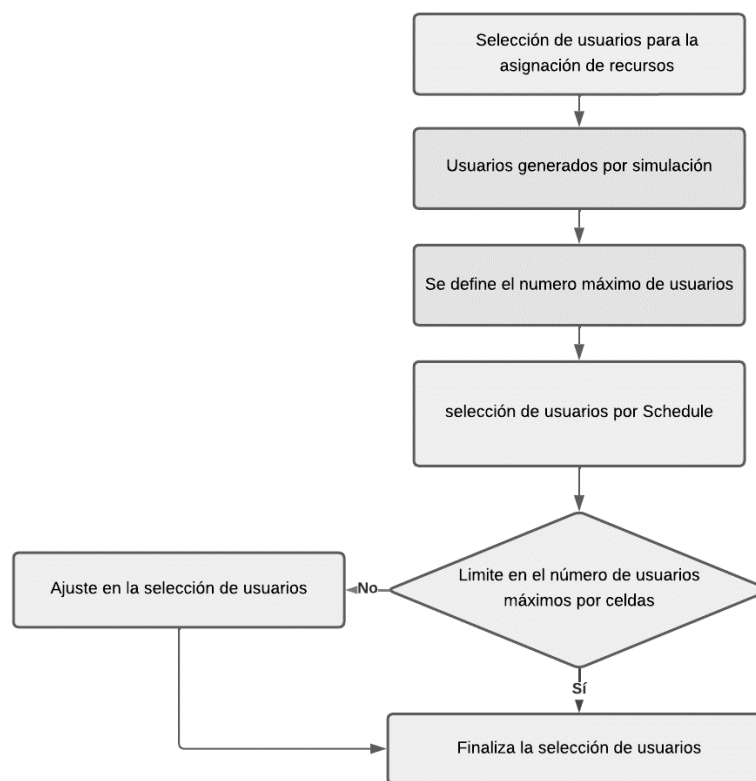


Figura 16. Diagrama de bloques para la selección de usuarios
Imagen elaborada por el autor

3.1.7.2. Satisfacción de las demandas mínimas de rendimiento

Designamos con el nombre de *demandas mínimas de rendimiento*, a las tasas de datos mínimos que existen dentro de un servicio para poder alcanzar los resultados eficientes. En caso de que la estrategia de *packet scheduling* no cumpla con la asignación de recursos necesarios en la técnica de satisfacción a las demandas mínimas de rendimiento del servicio de un usuario, el efecto será no recibir ningún recurso.

Tabla 12. Representación de ecuaciones
Tabla elaborada por el autor

$CTP_{P-DL}^{M_i^{Sel}}$	Peak Channel Throughput en downlink
$CTP_{P-UL}^{M_i^{Sel}}$	Peak Channel Throughput en uplink
$R_{DL}^{TX_i}$ y $R_{UL}^{TX_i}$	Representa el total de recursos presentes en la descarga y carga de datos en cada celda.
$TX_i, \eta_{BDL}^{M_i}$ y $\eta_{BUL}^{M_i}$	Eficiencia espectral del Radio Bearer
D_{Frame}	Tiempo que en dura la trama LTE
$G_{MUG-DL}^{TX_i}$ y $G_{MUG-UL}^{TX_i}$	Ganancia de diversidad multiusuario que se encuentra asignada al usuario M_i en función al número de usuarios que se encuentran conectados en el enlace descendente y ascendente de la celda TX_i .

Las representaciones descritas en la tabla 12 son características de las ecuaciones 2 y 3 para los schedulers: Round Robin, Proportional Demand y Max C/I. Para el scheduler Proportional Fair, el canal de rendimiento pico se expresa con las ecuaciones 4 y 5.

$$CTP_{P-DL}^{M_i^{Sel}} = \frac{R_{DL}^{TX_i} \times \eta_{BDL}^{M_i}}{D_{Frame}}$$

Ecuación 2. Peak Channel Throughput downlink

$$CTP_{P-UL}^{M_i^{Sel}} = \frac{R_{UL}^{TX_i} \times \eta_{BUL}^{M_i}}{D_{Frame}}$$

Ecuación 3. Peak Channel Throughput uplink

$$CTP_{P-DL}^{M_i^{Sel}} = \frac{R_{DL}^{TX_i} \times \eta_{BDL}^{M_i}}{D_{Frame}} \times G_{MUG-DL}^{TX_i}$$

Ecuación 4. Peak Channel Throughput downlink para PF

$$CTP_{P-UL}^{M_i^{Sel}} = \frac{R_{UL}^{TX_i} \times \eta_{BUL}^{M_i}}{D_{Frame}} \times G_{MUG-UL}^{TX_i}$$

Ecuación 5. Peak Channel Throughput uplink para PF

A continuación, en la figura 17 se detalla el procedimiento que es realizado para la asignación de recursos con el objetivo de satisfacer las demandas mínimas de rendimiento.

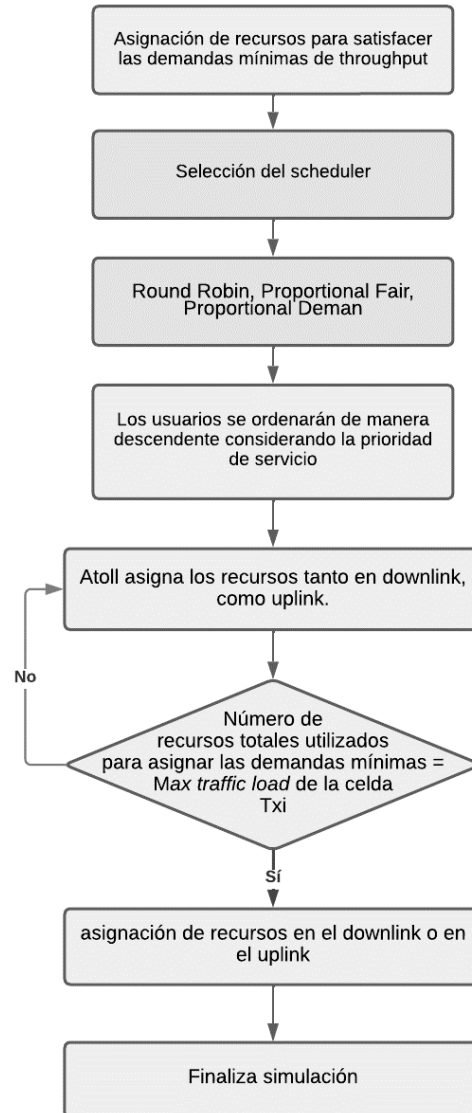


Figura 17. Diagrama de bloques en la satisfacción de las demandas mínimas de rendimiento
Imagen elaborada por el autor

3.1.7.3. Satisfacción de las demandas máximas de rendimiento

En el caso de quedar recursos libres en el instante que se asignen todos los recursos en una sola celda para satisfacer las demandas mínimas de rendimiento en cada usuario cumpliéndose la relación de las ecuaciones 6 y 7, Atoll procede asignar recursos que quedaron libres para poder cumplir con el reparto equitativo en la satisfacción de las demandas máximas de rendimiento [17].

$$\sum_{M_i^{Sel}} R_{Min-DL}^{M_i^{Sel}} < TL_{DL-Max}^{TX_i}$$

Ecuación 6. Min Resource Saturation downlink

$$\sum_{M_i^{Sel}} R_{Min-UL}^{M_i^{Sel}} < TL_{UL-Max}^{TX_i}$$

Ecuación 7. Min Resource Saturation uplink

Los algoritmos que ejecuta el programa en la asignación de los recursos dependen de la estrategia de Packet Scheduling que se ha implementado en ese proceso.

En caso de seleccionar el scheduler Round Robin, esta tendrá el objetivo de asignar la misma cantidad de recursos que son repartidos a los usuarios de una manera justa y equitativa. Para ello, el simulador Atoll procede a segmentar la cantidad de recursos sobrantes en cada celda para el número de usuario de aquella misma celda [17], dicho proceso se presenta en el diagrama de bloques de la figura 18.

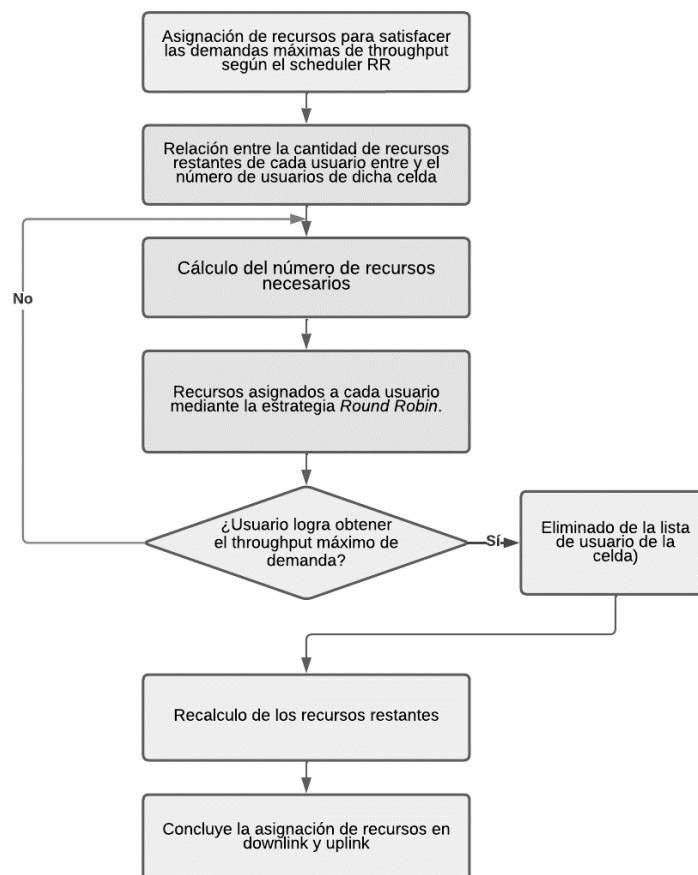


Figura 18. Diagrama de bloques en función al scheduler Round Robin
Imagen elaborada por el autor

En el caso de seleccionar la estrategia Proportional Fair, se deberá cumplir la repartición de los recursos entre todos los usuarios para que cada usuario pueda obtener el mayor rendimiento posible [17]. Atoll como simulador llega a resolver dichos procesos en un

instante de tiempo determinado con los pasos descritos en el diagrama de bloques de la figura 19.

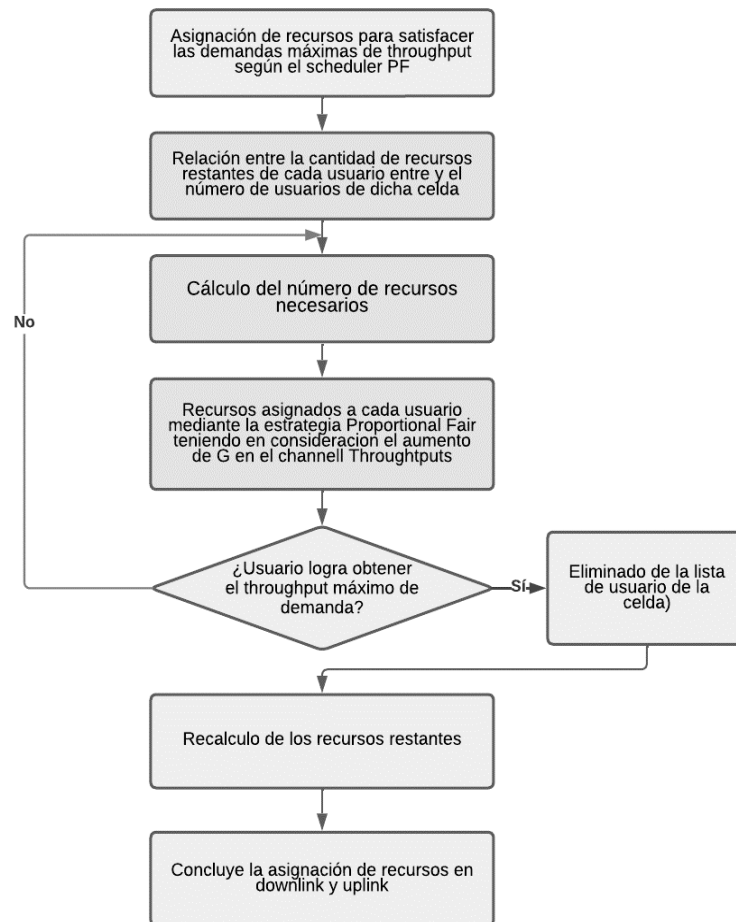


Figura 19. Diagrama de bloques en función al Scheduler Proportional Fair
Imagen elaborada por el autor

CAPITULO IV

4. SIMULACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE RENDIMIENTO

4.1. Dimensionamiento de la red

Dentro de este capítulo se realiza un reconocimiento del sector en donde se pretende realizar el estudio sobre las aplicaciones de las estrategias de scheduler Round Robin y Proportional Fair de la red LTE. Como parte del reconocimiento del sector de la provincia de Santa Elena, el primer apartado constará sobre información básica pero necesaria del sector y dentro de la segunda se realizará la simulación de la red LTE que se encuentra desplegada en la provincia de Santa Elena para poder analizar su área de cobertura, rendimiento y otras características necesarias que permitan establecer el estado actual de la red.

4.1.1. Reconocimiento y caracterización

La provincia de Santa Elena se encuentra ubicada geográficamente en la costa ecuatoriana, esta conforma sus límites geográficos al norte con el cantón Puerto López, al sur con el Océano Pacífico y el cantón Playas, al este con los cantones Pedro Carbo, Isidro Ayora y Guayaquil, y al oeste con los cantones La Libertad, Salinas y el Océano Pacífico [29].

*Tabla 13. Información básica de la provincia de Santa Elena
Tabla elaborada por el autor*

Dato	Descripción
Provincia	Santa Elena
Cantón	Santa Elena
Zona de planificación	N.º 5
Fecha de creación del cantón	22 de enero de 1837
Extensión	3.665 km ²
Rango climático	Mínimo 16-24° C, y máximo 25-32° C
Parroquias urbanas	Ballenita, Santa Elena.
Parroquias rurales	Ancón, Atahualpa, Colonche, Chanduy, Manglaralto, Simón Bolívar.

La tabla 13 muestra información relevante sobre la provincia, cabe mencionar que dentro del territorio Santaelenense habitan 401.178 personas, según el INEC en el 2020 [30], de los cuales el 43% reside dentro del área urbana y el 57% en el área rural de la provincia.

La disponibilidad de educación y salud que tiene la provincia de Santa Elena, son el principal motivo por el cual la provincia es un lugar muy recurrente para la población. Las simulaciones por nivel y calidad de señal se realizaron en la zona urbana de la provincia que comprende un área de $24,6 \text{ km}^2$. La figura 20 muestra el terreno de prueba para el área de investigación, donde se encuentran la extensión de la universidad estatal de la provincia de Santa Elena, el mercado central de la libertad, la terminal terrestre de la provincia, etc.



Figura 20. Provincia de Santa Elena.
Imagen tomada por Google Earth

4.1.2. Ancho de banda y bandas de frecuencia

Actualmente dentro del Ecuador existen empresas que se dedican al servicio de telecomunicaciones. Una de las primeras empresas en prestar este servicio es conocida como CNT, la cual ha sido fundamental para el servicio del país, este proveedor de servicios hace uso de las bandas AWS 1700/2100 MHz, APT en 700 MHz.

En el desarrollo del proyecto se opta por hacer uso de la banda 4 debido a sus características y además es la banda utilizada por CNT y CONECEL S.A. en la actualidad, los datos de la banda 4 se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Bandas de frecuencias que operan la telefonía móvil en el Ecuador
Tabla extraída de [31].

Banda	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Dúplex	Banda en frecuencia (MHz)	Operador
2	1850-1910	1930-1990	FDD	1900	CNT, CONECEL, OTECEL
4	1710-1755	2110-2155	FDD	1700	CNT, CONECEL
5	824-849	869-894	FDD	850	CONECEL, OTECEL
7	2500-2570	2620-2690	FDD	2600	Sin asignar

10	1710-1770	2110-2170	FDD	1700	CNT, CONECEL
28	703-748	758-803	FDD	700	CNT
38	2570-2620		TDD	2600	Sin asignar

El ancho de banda o también conocido como la longitud del factor de frecuencia es importante en el momento de determinar la velocidad máxima que se puede alcanzar.

Dentro de LTE existen anchos de banda que estiman desde 1,5 a 20 MHz. En el presente proyecto se estima un ancho de banda de 10MHz, teniendo como consideración que el sector urbano de la provincia no presenta la misma cantidad de usuarios a diferencia de las ciudades grandes del país.

4.1.3. Link Budget

Conocido como una contabilidad en el análisis de las ganancias y pérdidas que caracterizan la señal enviada por un medio de transmisión, para así poder conocer el desempeño que otorga la red. Este análisis por medio de Link Budget es ejecutado tanto para enlaces ascendentes y descendente.

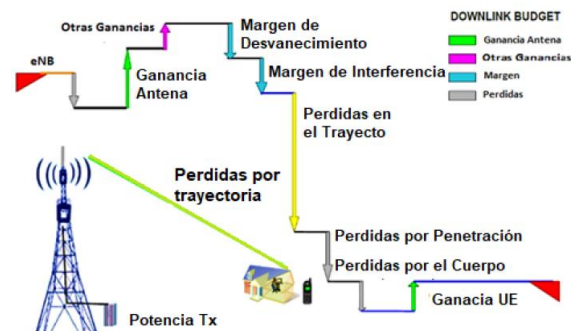


Figura 21. Link Budget para enlace descendente.
Fuente extraída de [32]

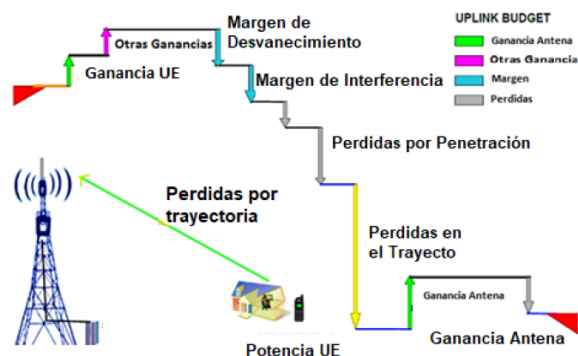


Figura 22. Link Budget para enlace ascendente.
Fuente extraída de [32]

Como se puede observar en las figuras 21 y 22, se muestra el análisis que se realiza para ambos enlaces, la representación de las ganancias se da con las flechas apuntando hacia arriba, y aquellas flechas que apuntan hacia abajo, representan pérdidas. Estos valores pueden cambiar dependiendo del entorno y la banda de frecuencia que sea elegida.

4.1.3.1. Pérdidas por penetración de materiales

Las pérdidas por penetración de materiales se llegan a dar en ciertos objetos como paredes, puertas, y otras edificaciones que constan de material sólido. La cantidad de pérdida puede variar dependiendo del tipo de sector en el que se encuentre.

A continuación en la tabla 15, se presenta un análisis de Link Budget realizado por operadoras móviles donde presentan requerimientos específicos en el despliegue de redes LTE.

Tabla 15. Link Budget
Fuente extraída de [33]

LTE link Budget	Uplink	Downlink
Escenario	Urbano	
Tecnología	LTE FDD	
Ancho de banda (MHz)	10	
Transmisión		
Potencia de transmisión (dBm)	23	46
Ganancia de la antena (dB)	0	18
Pérdida por cable (dB)	0	0
Pérdida por cuerpo (dB)	0	0
Recepción		
SINR (dB)	-2.39	-3.42
Ruido (dB)	2.3	7
Sensibilidad del receptor (dB)	-132.33	-128.66
Ganancia de la antena (dB)	0	0
Margen de interferencia (dB)	2	3.41
Pérdidas por trayecto y radio de la celda		
Pérdidas por penetración (dB)	15	16
Desvanecimiento por sombra (dB)	8	8
Probabilidad de área de cobertura	95%	95%
Modelo de propagación	Cost Hata	
Altura de la antena (m)	25	1.5

Frecuencia (MHz)	1710	2110
Radio de la celda (Km)	0.500	

4.1.4. Modelo de propagación

Se conoce como un modelo de propagación aquel que consiste en el empleo y uso de fórmulas matemáticas mediante los diferentes parámetros en el diseño de red.

Existen varios modelos de propagación que son muy útiles en el momento de diseñar redes de telecomunicaciones, estos mismos ayudan a analizar el comportamiento de la onda radioeléctrica en el envío de datos.

El modelo escogido para el análisis de la red en este trabajo es el modelo Cost Hata dado que cuenta con las características que más se acoplan a las de la banda escogida. Este modelo se utiliza para frecuencia que van desde 800 MHz hasta los 2 GHz, para antenas con altura de 4 – 50 m.

La ecuación que utiliza este modelo de propagación se expresa como:

$$L = 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(hb) - ahm + (44,9 - 6,55 \log(hb)) \log(d) + cm$$

Ecuación 8. Perdidas por trayectoria

Aquellas representaciones que se muestran en la expresión del modelo Cost Hata se describen en la tabla 16.

*Tabla 16. Representaciones del modelo Cost Hata
Tabla elaborada por el autor*

Dato	Descripción
<i>L</i>	Perdidas por trayectoria
<i>F</i>	Frecuencia
<i>Hb</i>	Altura de antena
<i>D</i>	Distancia entre transmisor y receptor
<i>cm</i>	Su valor es 0 y 3 en centros metropolitanos
<i>Ahm</i>	Representa su valor de corrección de la altura de la antena del móvil

Para ciudades pequeñas y medianas

$$ahm = (1,1 \log(1710) - 0,7)1,5 - (1,6 \log(1710) - 0,8)$$

Ecuación 9. Valor de corrección de altura de la antena para ciudades pequeñas y medianas

Para ciudades grandes

$$ahm = 8,29(\log(1,54hre))^2 - 1,1 \text{ db} \quad f < 300 \text{ MHz}$$

Ecuación 10. Valor de corrección de altura de la antena para ciudades grandes con $f < 300\text{MHz}$

$$ahm = 3,2(\log(11,75hre))^2 - 4,97 \text{ db} \quad f > 300 \text{ MHz}$$

Ecuación 11. Valor de corrección de altura de la antena para ciudades grandes con $f > 300\text{MHz}$

4.2. Software y simulación

Dentro de la primera fase de esta sección se llega a describen los softwares empleados para poder establecer un mapa de relieves del área de estudio con la finalidad de poder importar el archivo en el software de simulación de radio y poder obtener resultados según coordenadas geográficas con los parámetros de las estaciones ya establecidas.

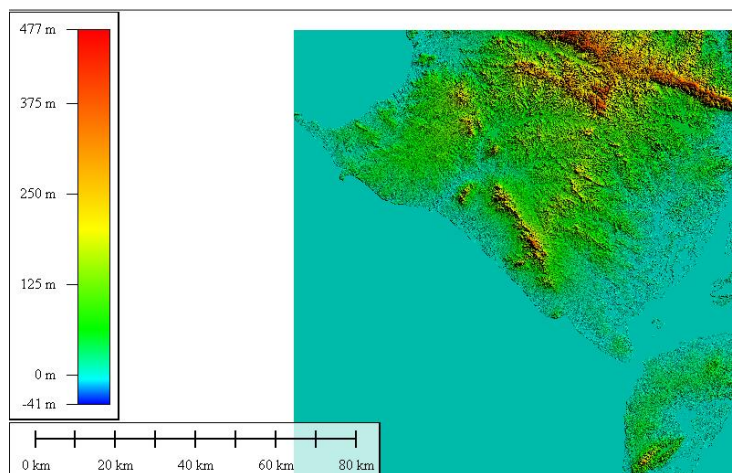
4.2.1. Atoll

Atoll es un software desarrollado por la empresa Forsky y se presenta con un entorno de planificación de radio basado en ventanas, fácil de usar, que da soporte a operadores de telecomunicaciones inalámbricos durante todo el tiempo de la vida de la red [34].

Una de las características muy importantes que destaca Atoll, es que es capaz de soportar varios formatos y diferentes resoluciones geográficas, mostrando buena resolución en los resultados estadísticos de las zonas de predicción. Adicionalmente Atoll es compatible con el programa Global Mapper para poder insertar mapas de relieves.

4.2.2. Global Mapper

La aplicación del software Global Mapper junto a la web de Earth Explorer permite conocer los datos de la zona WGS 84 / UTM zona 17S, la cual se identifica como la zona geográfica de la provincia de Santa Elena. La información sobre los resultados de Global Mapper presente en la figura 23 contiene datos con respecto a la elevación del suelo y nivel del mar.



*Figura 23. Mapa geográfico de la provincia de Santa Elena
Imagen elaborada por el autor*

4.2.3. Parámetros geográficos de la red

Durante el momento en que se realiza la planificación de la red LTE para la provincia de Santa Elena se deberá de crear un proyecto que simule el estado actual haciendo énfasis en cómo se encuentra la red LTE con el software Atoll. Para ello se usan modelos digitales de elevación, estos modelos realizan una representación visual y matemáticas de valores de altura con respecto al nivel del mar, para así poder caracterizar las distintas formas de relieve.

Durante el desarrollo de la red LTE en Atoll es importante importar los mapas de altimetría, clusters y carreteras. Sin embargo, con el objetivo que se desea cumplir ha sido suficiente con la importación del mapa de relieve y el mapa de carreteras de la figura 24 y 25, que se han podido extraer de forma online, estos son necesarios para poder ubicar de mejor manera las radio bases trasmisoras.

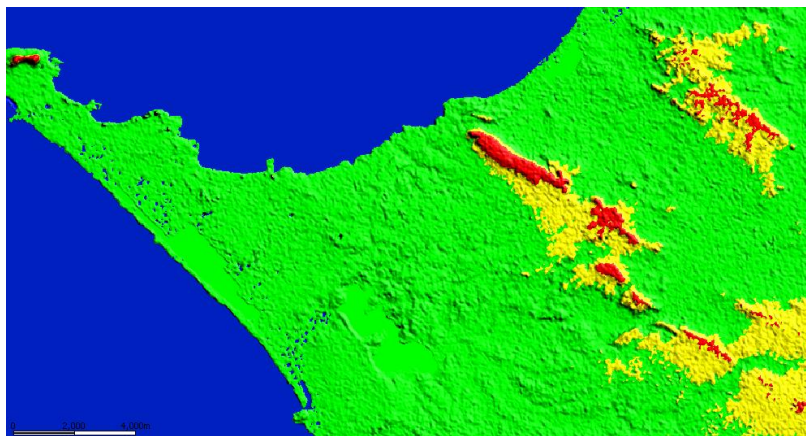


Figura 24. Mapa de relieve en la provincia de Santa Elena
Imagen elaborada por el autor

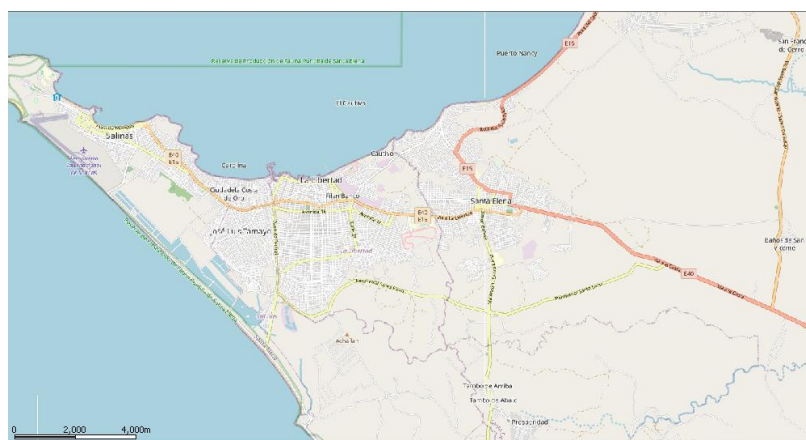


Figura 25. Mapa de calles en la provincia de Santa Elena
Imagen elaborada por el autor

4.2.4. Bandas de frecuencia

En Atoll se pueden seleccionar distintas bandas de frecuencias que van desde la banda 1 hasta la banda 43 con tecnología dúplex en TDD o FDD, esto es de beneficio para poder hacer uso de una red de telecomunicación. La red que seleccionaremos se encontrara como E-UTRA Band 4 - 10MHz, cuyas características principales se encuentran en la tabla 17. Se ha escogido el ancho de canal de 10 MHz debido a que este garantiza un buen rendimiento en capacidad y uso del espectro radio eléctrico.

Tabla 17. Datos de la E-UTRA Band 4 - 10MHz
Tabla elaborada por el autor

Dato	Descripción
Nombre	E-UTRA Band 4 - 10MHz
Duplexing Method	FDD
TDD: Start Frequency, FDD: DL Start Frequency (MHz)	2110

FDD: UL Start Frequency (MHz)	1710
Channel Width (MHz)	10
Number of Frequency Blocks	50
Sampling Frequency (MHz)	15.36
First channel	2000
Last channel	2300
Step	100
Adjacent Channel Suppression Factor (dB)	28.23

Para poder configurar los transmisores de los diferentes puntos en que se encuentran ubicadas las estaciones, estos se proceden a configurar de manera individual e independiente. La banda que se ha escogido es la E-UTRAN Band 4 con tecnología dúplex FDD, ya que las antenas desplegadas de manera oficial están configuradas con esta tecnología, tal y como se observa en la figura 26.

	1	*
Name	STE_LIB_AUTODROMO_L_1(0)	
ID		
Active	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Order		1
Layer	Macro Layer	
Cell Type	LTE	
Frequency Band	E-UTRA Band 4 - 10MHz	
Channel Number	2,000	
Channel Allocation Status	Not Allocated	

Figura 26. Configuración de banda 4 E-UTRAN en transmisor
Imagen elaborada por el autor.

4.2.5. Selección del modelo de propagación

Tomando en consideración lo mencionado en la sección de dimensionamiento sobre el modelo de propagación, cabe adicionar que aquellos son acontecimientos de expresiones matemáticas que se utilizan para poder mostrar características de radio dentro de una zona que se esté estudiando. En Atoll el modelo será escogido según la adaptación de las condiciones y entorno que presenta la provincia y zona de estudio. La tabla 18 muestra los modelos de propagación que ofrece Atoll.

Tabla 18. Modelos de propagación presentes en Atoll
Tabla elaborada por el autor

Nombre del modelo de propagación
Cost-Hata
Erceg-Greenstein (SUI)
ITU1546
ITU370
ITU526
ITU529
Longley-Rice
Microwave E-Band Propagation Model
Microwave ITU-R P.452 Model
Microwave Point-to-Area Model
Microwave Propagation Model
Okumura-Hata
Sakagami Extended
Standard Propagation Model
WLL

El modelo escogido para la simulación lleva de nombre Cost Hata, este se muestra como un modelo empírico en predecir la pérdida de trayectoria dentro de un entorno de propagación. Este modelo es muy detallado en realizar sus cálculos de atenuación tomando en cuenta las restricciones que se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. Restricciones del modelo Cost Hata
Tabla elaborada por el autor

Dato	Descripción
Frecuencia	800 – 2000 MHz
Altura de transmisor	4 – 50 m
Altura de receptor	1 – 3 m
Distancia entre transmisor y receptor	0.02– 50 km
Altura relativa del transmisor recto a los edificios	> 0 m

En Atoll el modelo de propagación puede ser seleccionado de manera general para todos los transmisores dentro de sus propiedades generales, también se debe tomar en consideración el radio de la zona de trabajo. Con el uso del software Google Earth pro se determina un radio aproximado de 4,000 m sobre el área de estudio. La configuración del modelo de propagación, radio y resolución se visualiza en la figura 27.

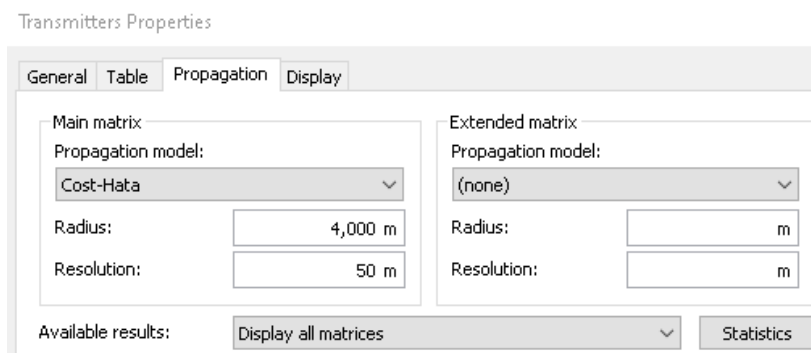


Figura 27. Asignación del modelo de propagación
Imagen elaborada por el autor

4.2.6. Parámetros globales del sistema LTE

Una vez ya establecido las configuraciones básicas para la red de la zona de estudio, se deberá de continuar con la estipulación de los parámetros globales del sistema LTE. La tabla 20 muestra la configuración de los parámetros globales, avanzados y de cálculos que tiene Atoll para el respectivo análisis en LTE.

Tabla 20. Parámetros globales del sistema LTE
Tabla elaborada por el autor

Radio network settings properties		
Global parameters	Default cyclic prefix	0 – normal
	Default PDCCH overhead	1
	Default PUCCH overhead	4 RB
Advanced parameters	RS EPRE	0
	Criterion	RSRP
	Method	Standard
	SU-MIMO criterion	RS C/N
	MU-MIMO criterion	RS C/N
	ASS criterion	RS C/N
	Uplink power adjustment – Margin	1 dB
Calculation parameters	Min interferer C/N threshold	-20 db
	Height/ground	1.5 m

4.2.7. Configuración de plantilla LTE

Dentro de este apartado se tiene previsto realizar la configuración de la plantilla LTE, esta plantilla se encuentra dentro de la pestaña *Parameters* de la carpeta *Radio Network Settings*. La configuración que se da a las propiedades LTE se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Parámetros plantilla LTE
Tabla elaborada por el autor

	Parámetro	Valor
General	Radio de hexágono	500 m
	Mecánico downtilt	0°
	Altura con respecto a la tierra	25 m
	Transmisión	2
	Recepción	2
	Modelo de propagación	Cost-Hata
	Radio principal	7,000 m
	Resolución principal	100 m
Transmitter	TMA	Default TMA equipment
	Feeder	1/2" at 2100 MHz
	Transmisor	Por defecto
	Feeder length/transmisión	5 m
	Feeder length/recepción	5 m
	Miscellaneous losses/transmisión	0 dB
	Miscellaneous losses/recepción	0 dB
LTE	Max power	46 dBm
	Frecuency band	E-UTRA Band 4 – 10 MHz
	LTE equipment	Default cell equipment
	Cell type	LTE
	Min RSRP	-140 dBm
	Carga de tráfico en DL	100%
	Carga de tráfico en UL	100%
	Carga de tráfico máximo en DL	100%
	Carga de tráfico máximo en UL	100%
	Aumento de ruido en UL	0 Db
Neighbours	Intra-technology	16
	Inter-technology	16

4.2.8. Establecimiento de nodos eNB

La ubicación geográfica de las torres transmisoras se presenta en la tabla 22 con datos de latitud y longitud, estos datos fueron recolectados de manera oficial en la que se comprueba el punto exacto en donde se encuentra la estación base transmisora por la corporación

nacional de telecomunicaciones. La tabla completa de los parámetros entregados por la empresa CNT se encuentran en el anexo 1, tabla 35.

*Tabla 22. Localización de nodos eNB
Tabla elaborada por el autor*

No.	Nombre	Provincia	Latitud	Longitud	Height(m)
1	LIB_PETROLEROS	Santa Elena	-2.21928	-80.894648	30
2	LIB_KENNEDY	Santa Elena	-2.222659	-80.912804	30
3	LIB_VALDIVIA	Santa Elena	-2.232729	-80.901092	30
4	LIB_NORESTE	Santa Elena	-2.226043	-80.905841	23.7
5	LIB_NORTE	Santa Elena	-2.22599	-80.91942	30
6	LIB_SUBURBIO	Santa Elena	-2.24074	-80.8993	30
7	LIB_AUTODROMO	Santa Elena	-2.2382	-80.8877	30.4
8	LIB_CALDERON	Santa Elena	-2.23372	-80.9143	24
9	LIB_SAN_RAYMUNDO	Santa Elena	-2.247197	-80.918902	35.5
10	LIB_VELASCO_IBARRA	Santa Elena	-2.24094	-80.92094	36
11	LIB_LA_LIBERTAD	Santa Elena	-2.220233	-80.90746	30
12	LIB_UPSE	Santa Elena	-2.22908	-80.87769	30
13	LIB_SURESTE	Santa Elena	-2.23092	-80.88897	27.5
14	LIB_SUROESTE	Santa Elena	-2.24178	-80.91224	24
15	LIB_SUR	Santa Elena	-2.23288	-80.90617	30

Todos los puntos de coordenadas detallados con anterioridad se encuentran ubicadas de manera estratégica por las empresas de telecomunicaciones, con el fin de poder aplicar como estrategia la reutilización de frecuencias. En la figura 28 se visualiza el despliegue de las radios bases transmisoras correspondientes en el mapa geográfico de la provincia de Santa Elena, adicionalmente las estaciones transmisoras se encuentran configuradas en relación con los datos proporcionados por la empresa CNT como son: azimuth, tilt mecánico y el tipo de antena.

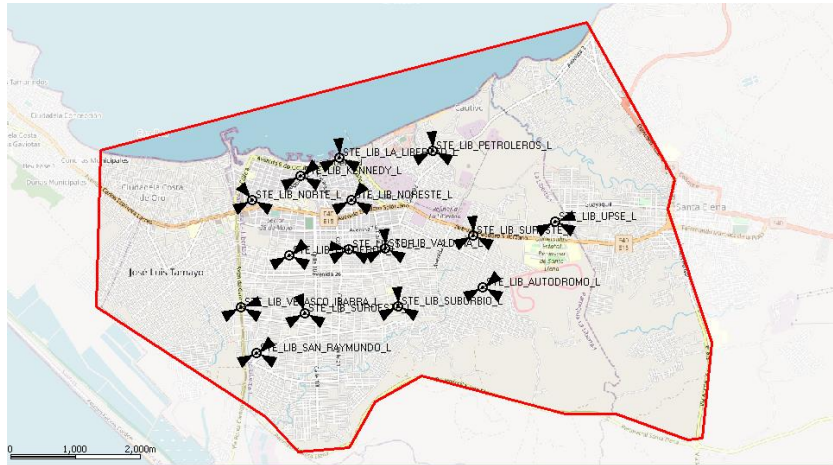


Figura 28. Despliegue de las estaciones bases en Atoll
Imagen elaborada por el autor

Una vez concluido el diseño de la red LTE se procede a evaluar los resultados en DL y UL como en la figura 29 para cada grupo sectorial en donde se encuentra ubicada la estación transmisora, este análisis no aplica optimización, ni estrategias de scheduler, ya que solo se requiere comparar valores de velocidad en el acceso al internet Mobile.

Para poder obtener los valores de velocidad se realizaron 15 grupos de simulaciones pertenecientes a cada estación base, en ellas Atoll le asigna un numero aleatorio de usuarios conectados a la red para poder ejecutar la simulación y así entregar los valores deseados.

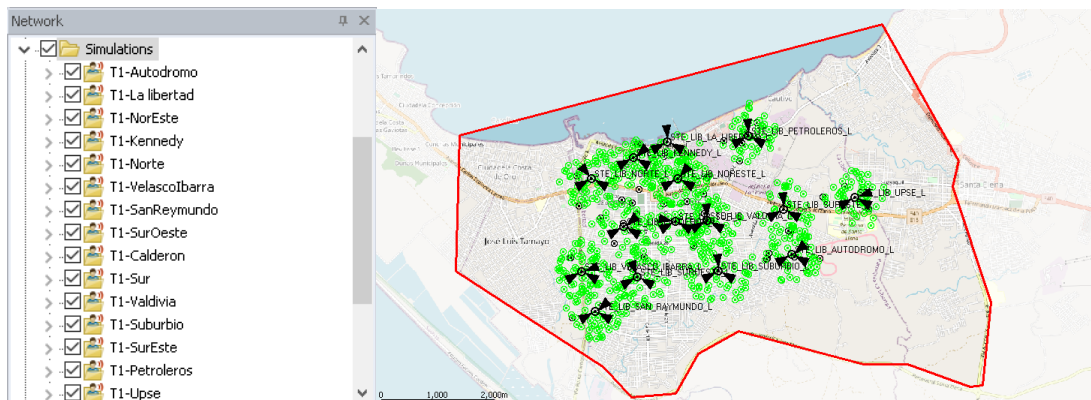


Figura 29. Asignación de usuarios por Atoll
Imagen elaborada por el autor

La tabla 23 muestra los valores que se obtienen en los grupos de simulación de Atoll, donde los valores a tomar referencia se conocen como: Peak RLC cumulated Throughput, Effective RLC Cumulated Throughput, Cumulated Application Throughput. Estos valores serán recolectados tanto para DL como par UL.

Tabla 23. Valores de DL y UL sin estrategias scheduler
 Tabla elaborada por el autor

Nombre de radio base transmisora	Downlink			Uplink		
	Peak RLC cumulated Throughput	Effective RLC Cumulated Throughput	Cumulated Application Throughput	Peak RLC cumulated Throughput	Effective RLC Cumulated Throughput	Cumulated Application Throughput
LIB_PETROLEROS	20.91 Mbps	20.85 Mbps	19.8 Mbps	7.68 Mbps	7.63 Mbps	7.25 Mbps
LIB_KENNEDY	26.25 Mbps	25.9 Mbps	24.6 Mbps	10.91 Mbps	10.8 Mbps	10.26 Mbps
LIB_VALDIVIA	20.59 Mbps	20.43 Mbps	19.43 Mbps	5.12 Mbps	5.08 Mbps	4.82 Mbps
LIB_NORESTE	12.95 Mbps	12.83 Mbps	12.19 Mbps	11.22 Mbps	11.15 Mbps	10.6 Mbps
LIB_NORTE	12.53 Mbps	12.45 Mbps	11.83 Mbps	13.94 Mbps	13.82 Mbps	13.13 Mbps
LIB_SUBURBIO	22.68 Mbps	22.33 Mbps	21.21 Mbps	10.79 Mbps	10.71 Mbps	10.18 Mbps
LIB_AUTODROMO	21 Mbps	20.92 Mbps	19.88 Mbps	10.24 Mbps	10.23 Mbps	9.71 Mbps
LIB_CALDERON	12.49 Mbps	12.41 Mbps	11.79 Mbps	8.96 Mbps	8.88 Mbps	8.44 Mbps
LIB_SAN_REYMUNDO	14.57 Mbps	14.37 Mbps	13.65 Mbps	6.4 Mbps	6.35 Mbps	6.03 Mbps
LIB_VELASCO_IBARRA	16.65 Mbps	16.55 Mbps	15.73 Mbps	8.96 Mbps	8.88 Mbps	8.43 Mbps
LIB_LA_LIBERTAD	15.52 Mbps	14.94 Mbps	14.19 Mbps	15.33 Mbps	15.2 Mbps	14.44 Mbps
LIB_UPSE	25.63 Mbps	25.43 Mbps	24.15 Mbps	6.95 Mbps	6.93 Mbps	6.59 Mbps
LIB_SURESTE	19.77 Mbps	19.69 Mbps	18.7 Mbps	4.98Mbps	4.94 Mbps	4.69 Mbps
LIB_SUROESTE	17.3 Mbps	16.97 Mbps	16.12 Mbps	7.68 Mbps	7.59 Mbps	7.21 Mbps
LIB_SUR	13.88 Mbps	13.76 Mbps	13.07 Mbps	7.68 Mbps	7.26 Mbps	7.28 Mbps

4.3. Resultados de simulación

En el apartado de este capítulo se analiza el estado actual de la red por medio de dos predicciones de Atoll (señal efectiva, cobertura por rendimiento), es importante mencionar que este análisis no aplica para las estrategias de scheduler ya que solo se desea tener una visión del comportamiento tanto a las señales de la red. Seguido se realiza un análisis comparativo de los resultados recolectados por medio de aplicaciones Android (G-NetTrack, Speedtest by Ookla) las cuales cumplen con la función de medir la velocidad de transmisión que tiene la operadora móvil con la finalidad de tener valores reales para poder continuar con los procesos de análisis y aplicación de las estrategias de Scheduling.

4.3.1. Análisis de señal efectiva

En este tipo de predicción se realiza un análisis de la señal efectiva en los canales físicos de enlace descendente y ascendente de la red que se encuentra desplegada.

4.3.1.1. Señal efectiva DL

El canal que se está analizando dentro de este apartado es conocido como PDSCH, debido a que es el que lleva la información y señalización del usuario. Este análisis muestra la cantidad de potencia de la señal que se está transmitiendo. De acuerdo con la figura 30, en ella se observa que los colores que resaltan entre amarillo y verde rodean al transmisor de señal, siendo la señal amarilla la aceptable para los usuarios. Del mismo modo, en la figura 31 se muestra los resultados de forma estadística, lo cual indica señal aceptable esta solo abarca poco km de distancia.

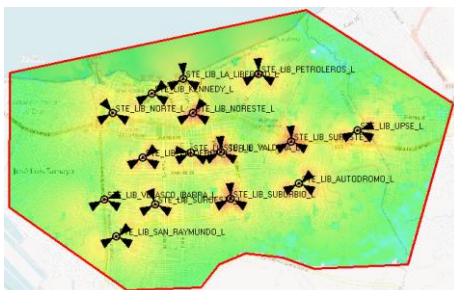


Figura 30. Effective signal analysis PDSCH (DL)
Imagen elaborada por el autor

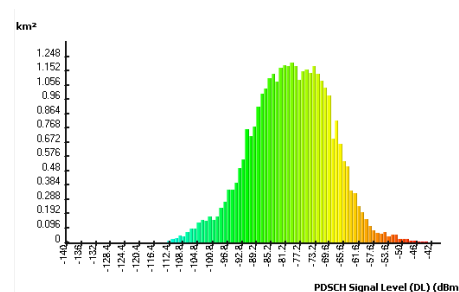


Figura 31. Histograma Effective signal analysis PDSCH (DL)
Imagen elaborada por el autor

A continuación, se realizó una predicción para el análisis de la relación portadora ruido (C/N) del canal PDSCH. Este valor hace referencia a la relación de la información vs el ruido y tiende a ser más alto a menores distancias de la estación base.

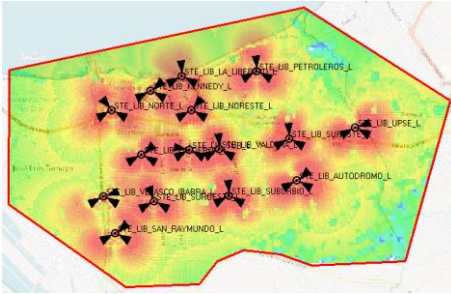


Figura 32. Effective signal analysis PDSCH C/N (DL)
Imagen elaborada por el autor

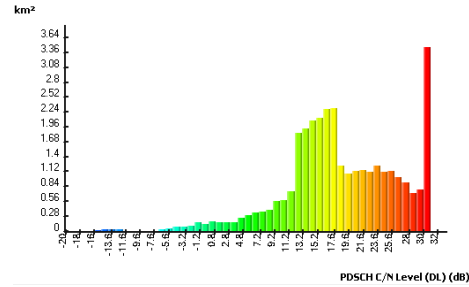


Figura 33. Histograma Effective signal analysis PDSCH C/N (DL)
Imagen elaborada por el autor

La figura 32 muestra el mismo patrón de colores que se ha presentado en el primer análisis de señal efectiva PDSCH, en donde se observa que el color rojo, amarillo y verde tienen la mayor parte de presencia en irradiar señal. Mientras que el histograma de la figura 33 da a conocer que los colores representativos a niveles C/N se encuentran entre los mayores a 10 dB, lo que significa que se recibe mayores señales PDSCH que de ruido, lo cual es recomendable en la transmisión de datos en una red implementada.

4.3.1.2. Señal efectiva UL

A continuación, se realiza el análisis de señal efectiva en el enlace ascendente de la misma manera en cómo se analizó el enlace descendente con respecto a la cantidad de potencia de la señal transmitida. Donde al momento de obtener los resultados se podrá observar en la figura 34 que las zonas que se encuentran más cercanas al transmisor otorgan mejor nivel de potencia.

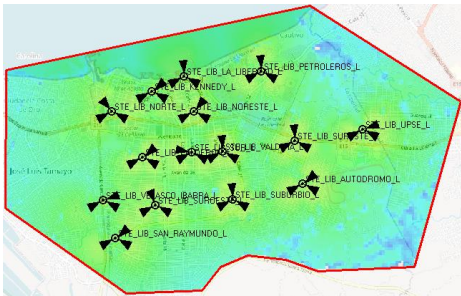


Figura 34. Effective signal analysis PUSCH & PUCCH (UL)
Imagen elaborada por el autor

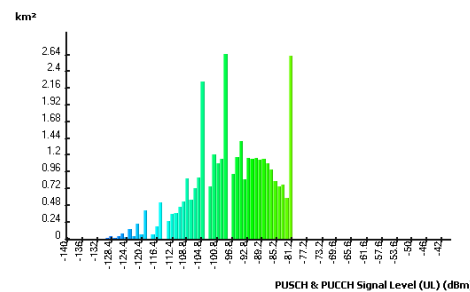


Figura 35. Histograma Effective signal analysis PUSCH & PUCCH (UL)
Imagen elaborada por el autor

En el histograma de la figura 35 de la señal efectiva PUSCH & PUCCH se puede observar que existen zonas con un mayor porcentaje donde se dispone de una potencia aceptable que va desde valores mayores a los -100.8 dbm, estas zonas se presentan en las barras de color verde. Sin embargo, también se puede apreciar que existen zonas que disponen menor nivel

de señal que van entre -132 y -104.8 dBm, estas se las observan en las barras de color celeste y azul, donde lo más probables es que no se recibe el servicio esperado por encontrarse distante de la estación base. De igual manera que en el downlink también se analiza el canal C/N de la señal PUSCH & PUCCH, los resultados respectivos se muestran en la figura 36 y 37, aquellos se muestran aceptables ya que abarcan desde los 7.2 dB hasta los 19.6 dB aproximadamente para el campo que se está analizando.

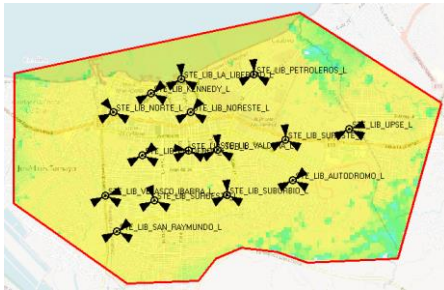


Figura 36. Effective signal Analysis PUSCH & PUCCH C/N (UL)
Imagen elaborada por el autor

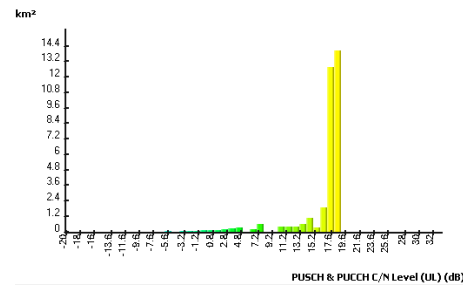


Figura 37. Histograma Effective signal Analysis PUSCH & PUCCH C/N (UL)
Imagen elaborada por el autor

4.3.2. Análisis de Rendimiento

El rendimiento en las predicciones del software Atoll se lo conoce como *coverage by throughput*, la misma que es dependiente de la carga, permitiendo calcular y mostrar el throughput y la capacidad de la celda basándose en el nivel de $C/(I+N)$. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el canal descendente y ascendente de la cobertura por rendimiento.

4.3.2.1. Rendimiento DL

Los resultados obtenidos sobre coverage by throughput (DL) se muestran en las figuras 38 y 39, en ellas se observa que las medidas de calidad de servicio en las bases transmisoras destacan un buen desempeño en un área pequeña que va con un de máximo 0.7 km^2 y como mínimo 0.06 km^2 para un rango de efectivo en el canal de rendimiento de 22,880 kbps a 52,001 kbps, mientras que en el rango de 2,080 kbps a 18,720 kbps el rendimiento de la cobertura no llega a ser satisfactorio.

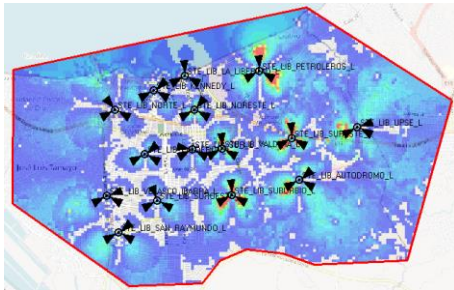


Figura 38. Peak RLC Channel Throughput (DL)
Imagen elaborada por el autor

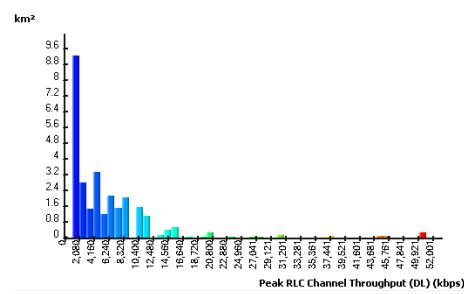


Figura 39. Histograma Peak RLC Channel Throughput (DL)
Imagen elaborada por el autor

4.3.2.2. Rendimiento UL

Finalmente, en la predicción Coverage by throughput de la figura 40 y 41 como enlace ascendente se interpreta que el rendimiento no es recomendable para los usuarios de la red debido a que este presenta una interacción muy baja que abarca desde rangos menores a 8,320 kbps y dentro del área de 14.4 km² se presenta un máximo de vacío en el ancho de banda. Por otro lado, cerca de las estaciones transmisoras se presenta un máximo en el ancho de banda de 50,000 kbps pero este abarca un área mínima de 1.2 km².

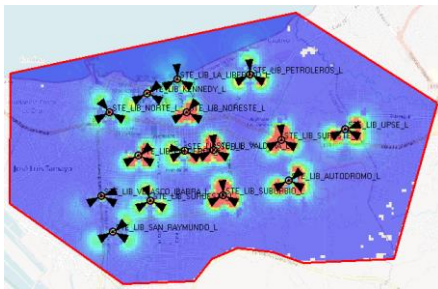


Figura 40. Coverage by Throughput (UL)
Imagen elaborada por el autor

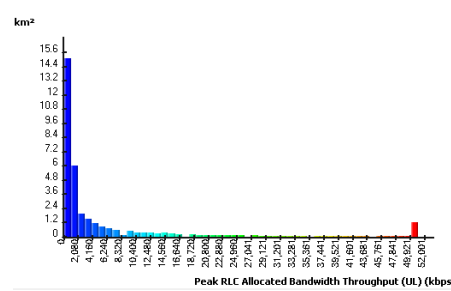


Figura 41. Histograma Coverage by Throughput (UL)
Imagen elaborada por el autor

Una vez concluida el análisis correspondiente tanto a la señal DL/UL y rendimiento DL/UL, se puede mencionar que los resultados que se analizan no están ajustados a lo que realmente se presenta en la zona de estudio por lo que es recomendable el estudio de campo con las herramientas Ookla y G-NetTrack, para la extracción de datos de las estaciones ubicadas correspondientes a la provincia de Santa Elena, para así poder tener un panorama de simulación ajustado a los parámetros reales de las radios bases transmisoras.

4.4. Mediciones en SpeedTest by Ookla y G-NetTrack

En este apartado se presentan dos aplicaciones totalmente gratuitas del sistema operativo Android que son de utilidad para poder obtener información sobre la red móvil, el servicio ofrecido, velocidad de descarga y carga con el dispositivo que se esté utilizando. Para la

recolección de esta información es necesario que el dispositivo móvil cuente con la operadora CNT debido a que son los parámetros que se están analizando.

4.4.1. SpeedTest by Ookla

Esta aplicación Android cuenta con un servicio gratuito para los usuarios, cumpliendo la finalidad de otorgar un análisis en las métricas de rendimiento del acceso a internet, tales como: la tasa de conexión de datos y latencia.

Dentro de la interfaz gráfica de SpeedTest by Ookla, nos podremos encontrar con diferentes características que cumplen con el objetivo de determinar un análisis en la calidad del servicio, estas buscan determinar la:

- Determinar la capacidad de aceleración en distancia de 15, 20 y 30 m.
- Determinar la velocidad máxima en distancias de 40, 50, 60 m.

El contenido de la tabla 24 muestra los datos recolectados de manera presencial por aplicación Speed Test by Ookla, en la toma de datos fue más que necesario recolectar la información en tres estaciones debido a que varían en un rango aproximado al de los extraídos.

*Tabla 24. Datos recolectados por SpeedTest by Ookla
Tabla elaborada por el autor*

SpeedTest by Ookla		
Estación	Downlink	Uplink
LIB LA LIBERTAD	15.7 Mbps	14.20 Mbps
LIB AUTODROMO	21.9 Mbps	11.21 Mbps
LIB NORESTE	13.5 Mbps	12.9 Mbps

4.4.2. G-NetTrack

Esta aplicación funciona como un monitor de red inalámbrica específicamente para dispositivos que cuentan con el sistema operativo Android.

- Monitorear y registrar los parámetros de la red móvil sin utilizar equipos avanzados.
- Obtener una mejor visión de la red mostrando información detallada.
- Presenta datos adicionales como la velocidad de descarga y de subida, cuyas mediciones son realizadas de manera continua.

En la interfaz principal de la aplicación G-NetTrack no podemos encontrar con diferentes funciones descritas en la tabla 25.

Tabla 25. Descripción de la ventana principal de G-NetTrack
Tabla elaborada por el autor

Dato	Descripción
Timestamp	Tiempo en que se realizó la muestra.
Longitude y latitude	Coordenadas GPS del dispositivo móvil.
Speed	Velocidad del dispositivo móvil expresados en km/h.
Operator name	Nombre de la operadora celular.
Cell ID	Célula de servicio para dispositivos móviles.
NetworkMode	Estándar de comunicación móvil (2G/3G/4G).
RSSI	Representa la potencia recibida que incluye una celda de servicio, la interferencia y el ruido de otras fuentes.
RSRP	Representa una potencia promedio sobre símbolos de referencia específicos de celda transportados dentro de distintos RE.
RSRQ	Representa una relación entre RSRP y el indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI).
SNR	Valor de la relación señal/ruido (dB).
DL_bitrate	Tasa de descarga medida en el dispositivo expresada en kbps.
UL_bitrate	Tasa de enlace ascendente medida en el dispositivo expresada en kbps.

El siguiente contenido de que presenta la tabla 26 son los datos recolectados de manera presencial por la aplicación móvil G-NetTrack.

Tabla 26. Datos recolectados por G-NetTrack
Tabla elaborada por el autor

G-NetTrack						
Estación	Cell ID	F DL	F UL	RSRP	RSRQ	RSSI
LA LIBERTAD	51625-2	2120,0 MHz	1720,0 MHz	-84 dBm	-13 dB	-55 dBm
AUTODROMO	51626-1	2120,0 MHz	1720,0 MHz	-100 dBm	-13 dB	-69 dBm
NORESTE	51612-3	2120,0 MHz	1720,0 MHz	-92 dBm	-13 dB	-55 dBm

4.4.3. Análisis comparativo

Para este análisis fue necesario el uso del método de campo en la recolección de información, siendo indispensable la herramienta móvil G-NetTrack con la que se pudo captura información relevante cerca de la estación transmisora, a máximo unos 10 m de distancia del eNB y el equipo usuario. La información recolectada se muestra en las figuras

42, 43 y 44. Siendo los niveles RSRP, RSRQ y RSSI a comparar con los resultados en Atoll.

La primera estación como objetiva fue la base La Libertad, la cual su coordenada y ubicación geográfica se encuentra en el anexo 2, figura 121.



G-NetTrack Lite				
v73				
Operador: CNT				
MCC: 740	MNC: 02	TAC: 30400	Tipo: LTE	
eNB: 51625	CID: 2	PCI: 88	TA: 1	
ARFCN: 2050	BAND: L4		BW:	
F DL: 2120,0 MHz			F UL: 1720,0 MHz	
RSRP: -84	RSRQ: -13	SNR: 14,0	CQI: -	RSSI: -55
Longitud: -8090754		Latitud: -2,220335		
Velocidad: 0 km/h	Dirección: 0° N		GPS Exactitud: 3m	
Alto: 10m	Altitud: 10m		Nivel del suelo: 0m	

Figura 42. Datos G-NetTrack: Estación La Libertad
Imagen elaborada por el autor

La segunda estación en donde los datos fueron recolectados es la base Autódromo, cuya ubicación geográfica se encuentra en el anexo 2, figura 122.



G-NetTrack Lite				
v73				
Operador: CNT				
MCC: 740	MNC: 02	TAC: 30510	Tipo: LTE	
eNB: 51626	CID: 1	PCI: 441	TA: 1	
ARFCN: 2050	BAND: L4		BW: 20	
F DL: 2120,0 MHz			F UL: 1720,0 MHz	
RSRP: -100	RSRQ: -13	SNR: 0,0	CQI: -	RSSI: -69
Longitud: -8088772		Latitud: -2,238131		
Velocidad: 1 km/h	Dirección: 334° NW		GPS Exactitud: 26m	
Alto: 52m	Altitud: 52m		Nivel del suelo: 0m	

Figura 43. Datos G-NetTrack: Estación autódromo
Imagen elaborada por el autor

La última estación en recolectar información para poder observar un comportamiento inicial es la base NorEste, cuya ubicación geográfica se observa en el anexo 2, figura 123.



G-NetTrack Lite				
v73				
Operador: CNT				
MCC: 740	MNC: 02	TAC: 30400	Tipo: LTE	
eNB: 51612	CID: 3	PCI: 146	TA: 0	
ARFCN: 2050	BAND: L4		BW: [20/15] CA	
F DL: 2120,0 MHz			F UL: 1720,0 MHz	
RSRP: -92	RSRQ: -13	SNR: 8,0	CQI: -	RSSI: -55
Longitud: -8090588		Latitud: -2,226260		
Velocidad: 0 km/h	Dirección: 0° N		GPS Exactitud: 4m	
Alto: 37m	Altitud: 37m		Nivel del suelo: 0m	

Figura 44. Datos G-NetTrack: Estación NorEste
Imagen elaborada por el autor

Del mismo modo, las velocidades de transferencia en el envío de información para enlaces ascendentes y descendentes son comparados por medio de información recolectada por la

aplicación SpeedTest by Ookla. Aquellos datos recolectados se presentan en las imágenes 45, 46 y 47.



Figura 45. Datos Ookla: Estación autódromo
Imagen elaborada por el autor



Figura 46. Datos Ookla: Estación La Libertad
Imagen elaborada por el autor



Figura 47. Datos Ookla: Estación NorEste
Imagen elaborada por el autor

La torre transmisora de nombre “STE_LIB_AUTODROMO” cuenta con una altura de 35.5 m y un azimuth a 50°. Para el primer análisis comparativo en los valores de cargar y descarga, se selecciona la predicción coverage by throughput para que se puedan mostrar datos de acuerdo con DL y UL en relación con la capa RLC, la cual es la que permite enviar de forma fiable los paquetes entre el eNodeB y el equipo usuario.

Atoll inicia realizando una simulación en donde se agrupa una lista máxima de usuarios de forma automática, los cuales estarán conectados y desconectados a la red.

Finalmente Atoll presenta los resultados con un numero aleatorio de 28 usuarios conectados a la red LTE, los resultados que se logran obtener en cargar y descarga en base a la capa RLC se observan en la tabla comparativa 27.

Tabla 27. Tabla comparativa: Estación autódromo
Tabla elaborada por el autor

Tabla comparativa: Estación autódromo		
	Datos obtenidos por Atoll	Datos obtenidos por Ookla
DL	Peak RLC cumulated throughput: 21 Mbps Effective RLC cumulated throughput: 20.92 Mbps Cumulated application throughput: 19.88 Mbps	21.9 Mbps
UL	Peak RLC cumulated throughput: 10.24 Mbps Effective RLC cumulated throughput: 10.23 Mbps Cumulated application throughput: 9.71 Mbps	11.21 Mbps

El nivel RSRP o nivel de potencia de la figura 48 y 49 de señal recibida tiene un valor de -100 dbm mostrado según la toma de datos por G-NetTrack. Los resultados de la simulación muestran un nivel de RSRP que abarca los -104.8° dbm hasta los -85.2 dbm.

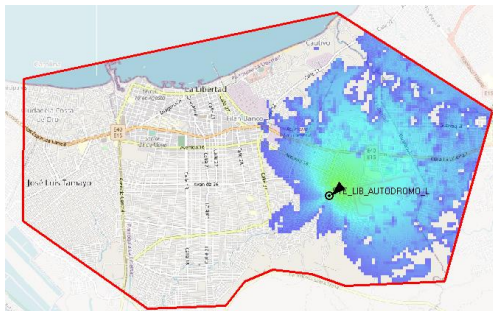


Figura 48. Nivel RSRP de la estación autódromo
Imagen elaborada por autor

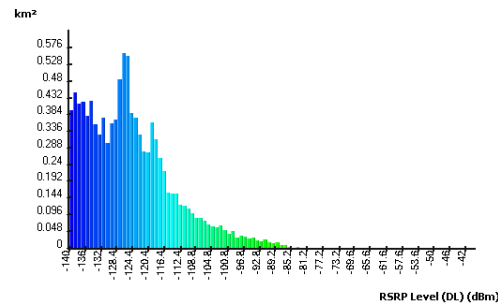


Figura 49. Histograma RSRP de la estación autódromo
Imagen elaborada por el autor

El nivel RSRQ o nivel de calidad de señal recibida de la figura 50 y 51 muestra con un valor de -13 db de los datos recolectados por G-NetTrack. Los resultados de la simulación según el nivel RSRQ muestra un rango aceptable que varía de -13.4 hasta los -12.7 db.

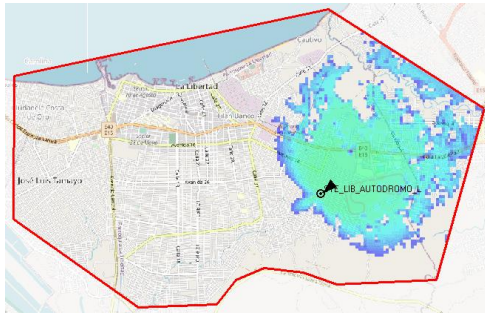


Figura 50. Nivel RSRQ de la estación autódromo
Imagen elaborada por el autor

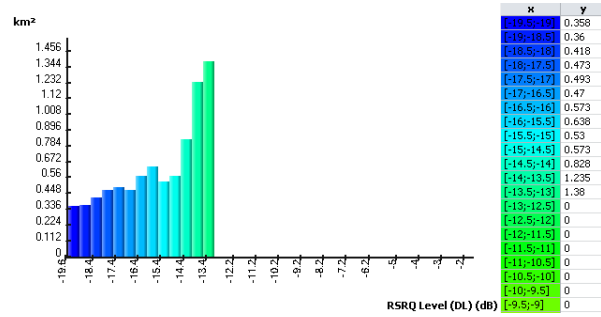


Figura 51. Histograma RSRQ de la estación autódromo
Imagen elaborada por el autor

El nivel RSSI o nivel de fuerza de la señal recibida de la figura 52 y 53 que presenta la estación, abarca -69 dbm según la toma de datos de G-NetTrack. Mientras, los resultados de simulación del nivel de fuerza de señal se muestran en un rango de -80 dbm hasta los -53 dbm.

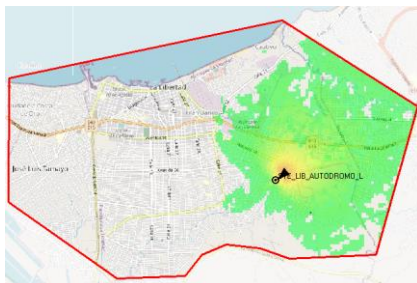


Figura 52. Nivel RSSI de la estación autódromo
Imagen elaborada por el autor

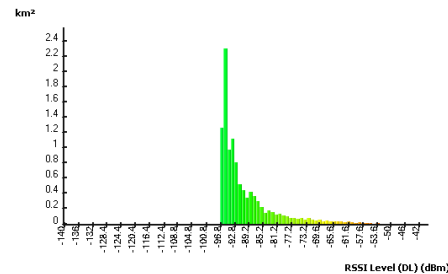


Figura 53. Histograma RSSI de la estación autódromo
Imagen elaborada por el autor

Para el siguiente análisis comparativo se lo realiza en la estación transmisora “STE_LA_LIBERTAD”, esta destaca una altura de 15 m con respecto a la superficie y un azimuth de 355°. La simulación que realiza Atoll en este análisis de rendimiento es de 34 usuarios conectados a la red LTE, con la cual destaca los siguientes resultados que se muestran en la tabla comparativa número 28.

Tabla 28. Tabla comparativa: Estación La Libertad
Tabla elaborada por el autor

Tabla comparativa: Estación La Libertad		
	Dato obtenido por Atoll	Dato obtenido por Ookla
DL	Peak RLC cumulated throughput: 15.52 Mbps Effective RLC cumulated throughput: 14.94 Mbps Cumulated application throughput: 14.19 Mbps	15.7 Mbps
UL	Peak RLC cumulated throughput: 15.33 Mbps Effective RLC cumulated throughput: 15.2 Mbps Cumulated application throughput: 14.44 Mbps	14.20 Mbps

El nivel RSRP o potencia de señal recibida de la figura 54 y 55 de la estación La Libertad tiene un valor de -84 dbm correspondiente a la recolección de datos por G-NetTrack. En los resultados de predicción el nivel RSRP varía en un valor aceptable de -100.8 dbm hasta los -81.2 dbm.



Figura 54. Nivel RSRP de la estación La Libertad
Imagen elaborada por el autor

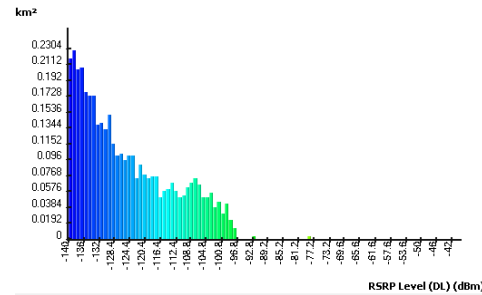


Figura 55. Histograma RSRP de la estación La Libertad
Imagen elaborada por el autor

El nivel de calidad de señal recibida de la figura 56 y 57 destaca un valor alrededor de -13 db de los datos recolectados por G-NetTrack. Los resultados de la simulación para el nivel RSRQ presenta un rango aceptable que varía de -13.4 hasta los -12.7 db.

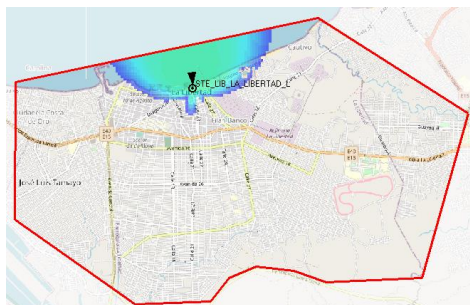


Figura 56. Nivel RSRQ de la estación La Libertad
Imagen elaborada por el autor

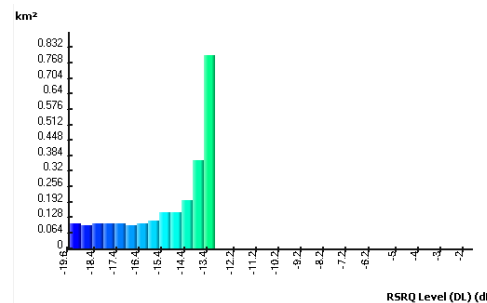


Figura 57. Histograma RSRQ de la estación La Libertad
Imagen elaborada por el autor

El nivel RSSI o de fuerza de señal recibida de la figura 58 y 59 que presenta la estación es de -55 dbm. Mientras, en los resultados de simulación el nivel de fuerza presenta un rango de -92 dbm a -50 dbm.



Figura 58. Nivel RSSI de la estación La Libertad
Imagen elaborada por el autor

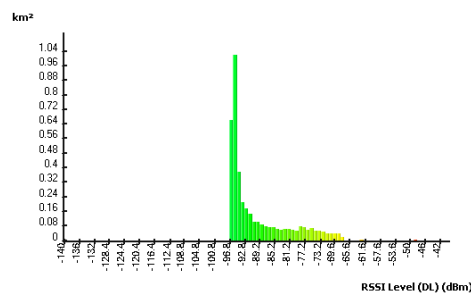


Figura 59. Histograma RSSI de la estación La Libertad
Imagen elaborada por el autor

Finalmente, la última estación a comparar lleva de nombre “STE_LIB_NORESTE_L”, su torre de transmisión lleva una altura de 12 m y su azimuth a 40 °. Los datos que presenta como resultado de simulación al rendimiento en downlink y uplink se muestran en la tabla 29.

Estos resultados se llevan a cabo por medio de una asignación automática de usuarios generados por Atoll, de los cuales 29 son usuarios conectados a la red LTE.

Tabla 29. Tabla comparativa: Estación NorEste
Tabla elaborada por el autor

Tabla comparativa: Estación NorEste		
	Dato obtenido de Atoll	Dato obtenido por Ookla
Downlink	Peak RLC cumulated throughput: 12.95 Mbps Effective RLC cumulated throughput: 12.83 Mbps Cumulated application throughput: 12.19 Mbps	13.5 Mbps
Uplink	Peak RLC cumulated throughput: 11.22 Mbps Effective RLC cumulated throughput: 11.15 Mbps Cumulated application throughput: 10.6 Mbps	12.9 Mbps

El nivel de potencia de señal recibida que se muestra en la estación NorEste de la figura 60 y 61 tiene un valor de -92 dbm según el análisis por G-NetTrack. La predicción que muestra Atoll para el nivel RSRP se muestra en un rango aceptable de -100.8 dbm hasta los -81.2 dbm.



Figura 60. Nivel RSRP de la estación NorEste
Imagen elaborada por el autor

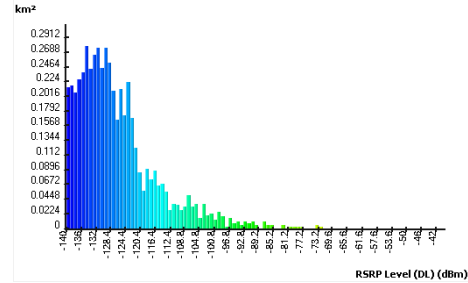


Figura 61. Histograma RSRP de la estación NorEste
Imagen elaborada por el autor

El nivel de calidad de señal recibida de la figura 62 y 63 muestra un valor de -13 db según el análisis realizado por G-NetTrack. Los resultados de la simulación para el nivel RSRQ muestra en un rango aceptable de -13.4 hasta los -12.7 db.



Figura 62. Nivel RSRQ de la estación NorEste
Imagen elaborada por el autor

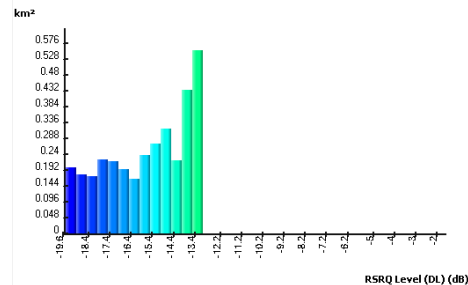


Figura 63. Histograma RSRQ de la estación NorEste
Imagen elaborada por el autor

El nivel de fuerza de señal recibida que se presenta en la estación transmisora de la figura 64 y 65 es de -55 dbm según el análisis realizado por G-NetTrack. Mientras, como resultado de predicción en Atoll para el nivel de fuerza, esta da como resultado un valor aceptable de -92.8 dbm hasta los -50 dbm.

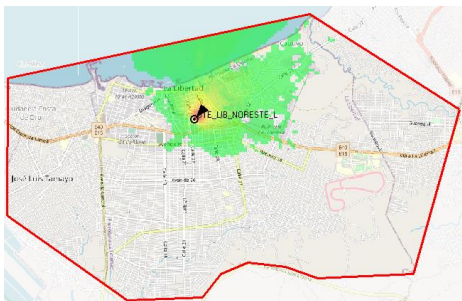


Figura 64. Nivel RSSI de la estación NorEste
Imagen elaborada por el autor

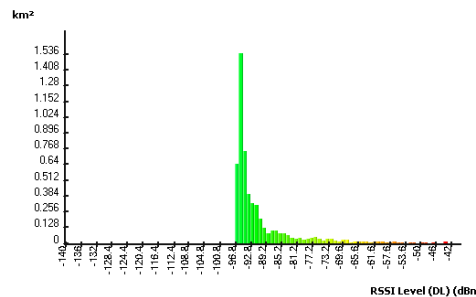


Figura 65. Histograma RSSI de la estación NorEste
Imagen elaborada por el autor

CAPÍTULO V

5. ESTUDIO DE LAS ESTRATEGIAS PACKET SCHEDULING RR Y PF

5.1. Análisis comparativo de las estrategias Packet Scheduling sin optimización

Dentro de este capítulo se aplican las estrategias de Packet Scheduling Round Robin y Proportional Fair para poder analizar su impacto sobre la cobertura de la red LTE. En este primer apartado no se tiene en consideración la optimización de la red, es decir, la simulación no cuenta con: Physical Cell ID, planificación de frecuencias, asignación de vecinos, mapas de tráfico y densidades del entorno.

Para presentar los resultados se realiza dos grupos de simulaciones, cada uno presentara cuatro resultados en relación con la cobertura en downlink y uplink. Los parámetros comunes para todas las predicciones que se realizan se presentan en la tabla 30.

*Tabla 30. Parámetros de simulación.
Tabal elaborado por el autor*

Dato	Descripción
Resolución	20 m
Load condition	Cell's table
Terminal	MIMO terminal
Service	Mobile Access internet

5.1.1. Aplicación de los Packet Scheduling

Para empezar a obtener las comparaciones de ambas estrategias los transmisores deben estar configurados de acuerdo con el scheduler sugerido. La configuración del scheduler se la realiza dentro de la Cell's table que contiene cada transmisor.

5.1.2. Análisis en downlink

La tabla 31 muestra a continuación contiene los valores modificados dentro de load condition para los dos grupos de simulación. El resto de los valores dentro de esta celda se mantienen normal según su plantilla de la red LTE.

Tabla 31. Parámetros de celda para predicciones.
Tabla elaborada por el autor

Parámetros de celda	Grupo 1	Grupo 2
Max traffic load DL	100%	50%
Max traffic load UL	100%	50%
Traffic load DL	100%	50%
Traffic load UL	100%	50%
Max UL noise rise	6 db	3 db

Las siguientes imágenes corresponden al análisis de predicción para la cobertura en downlink donde se aprovechan los recursos de tráfico al 100% para el grupo 1 y 50% para el grupo 2 aplicando la estrategia Proportional Fair.

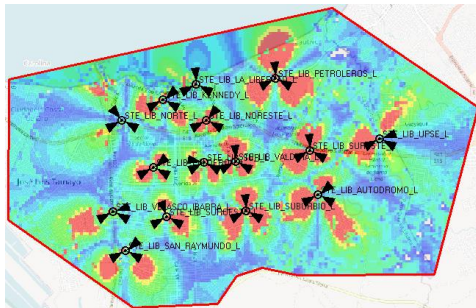


Figura 66. Downlink Coverage by throughput PF-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

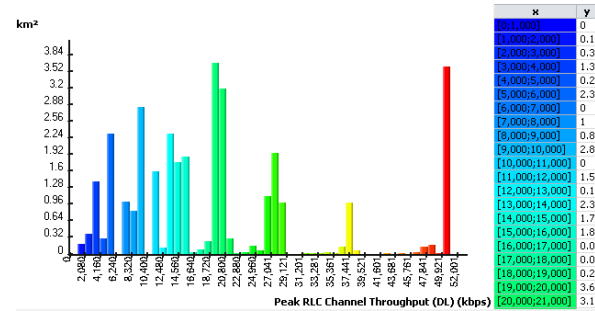


Figura 67. Histograma downlink Coverage by throughput PF-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

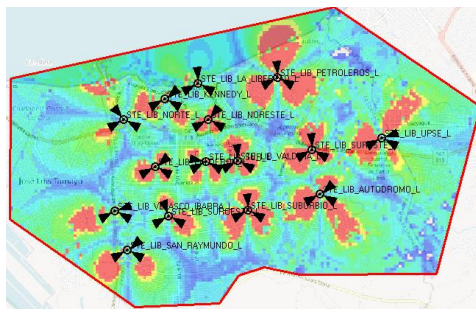


Figura 68. Downlink Coverage by throughput PF-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

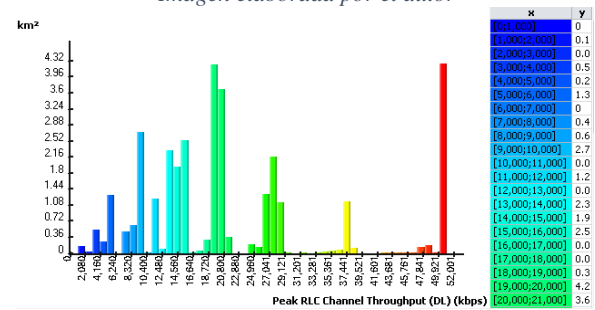


Figura 69. Histograma downlink Coverage by throughput PF-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

Los resultados que se muestran a continuación corresponden a la aplicación de la estrategia Round Robin con los recursos de tráfico al 100% para el grupo 1 y 50% para el grupo 2.

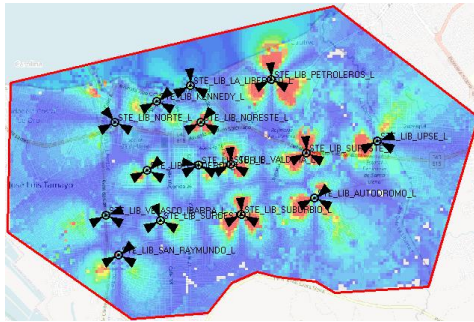


Figura 70. Downlink Coverage by throughput RR-grupo 1

Imagen elaborada por el autor

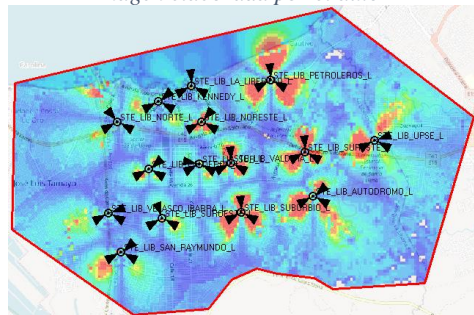


Figura 72. Downlink Coverage by throughput RR-grupo 2

Imagen elaborada por el autor

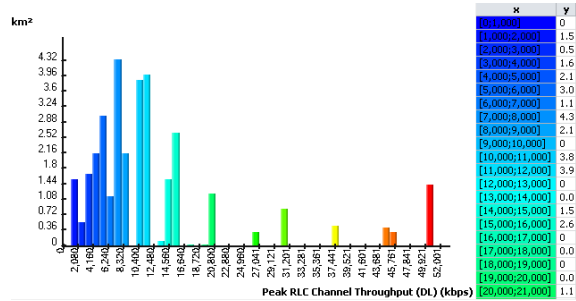


Figura 71. Histograma downlink Coverage by throughput RR-grupo 1

Imagen elaborada por el autor

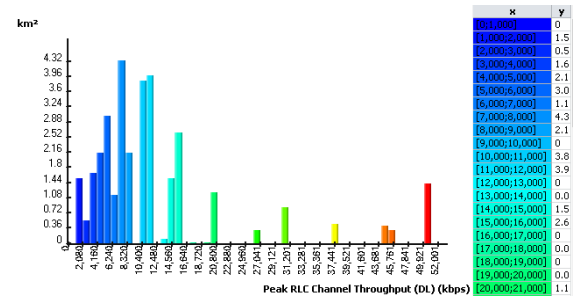


Figura 73. Histograma downlink Coverage by throughput RR-grupo 2

Imagen elaborada por el autor

Para proceder analizar estos resultados se toma en consideración graficar las curvas en función a la distribución acumulativa inversa en porcentajes o también llamado inverse CDF, que tiene como relación los kbps de rendimiento y la superficie del área determinada.

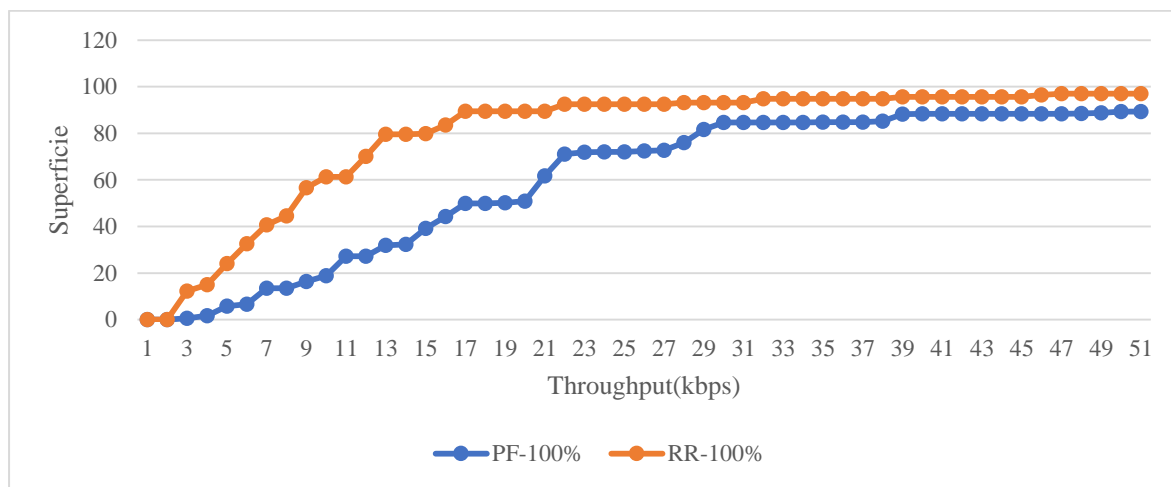


Figura 74. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load

Imagen elaborada por el autor

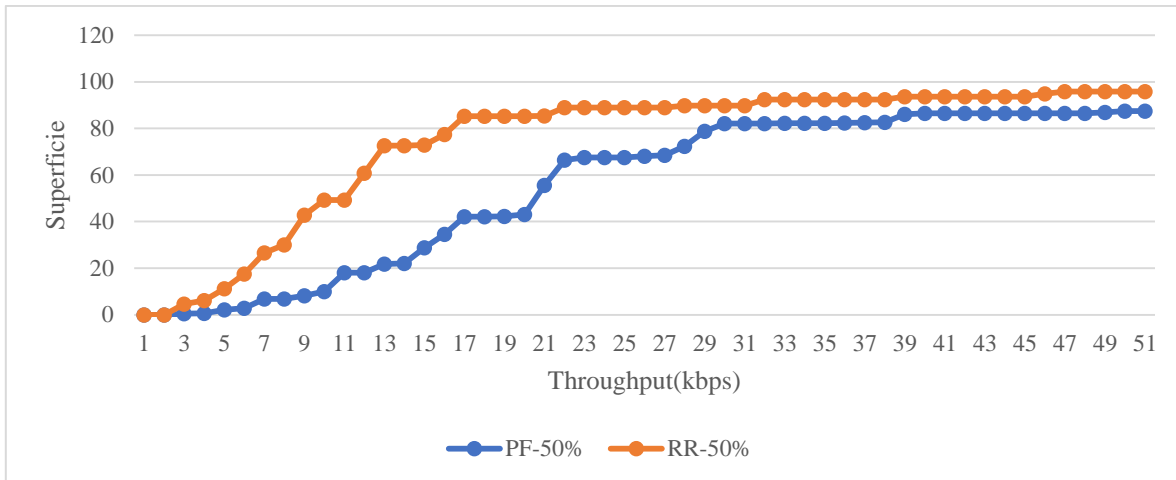


Figura 75. Comparación de las estrategias PF y RR con el 50% de traffic load
Imagen elaborada por el autor

Los primeros resultados obtenidos expresan una diferencia en la aplicación del scheduler PF, ya que se llega a observar que PF cubre más área que el scheduler RR, tanto para el 50% y el 100% de los recursos disponibles de traffic load.

5.1.3. Análisis uplink

De igual manera como se realizó el análisis para downlink, se analiza el porcentaje de throughput para uplink con la aplicación de las dos estrategias de Scheduling. Los resultados que se muestran a continuación corresponden a la aplicación de la estrategia Proportional Fair para los dos grupos de simulación.

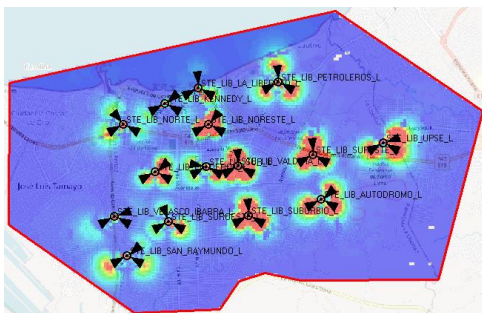


Figura 76. Uplink Coverage by throughput PF-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

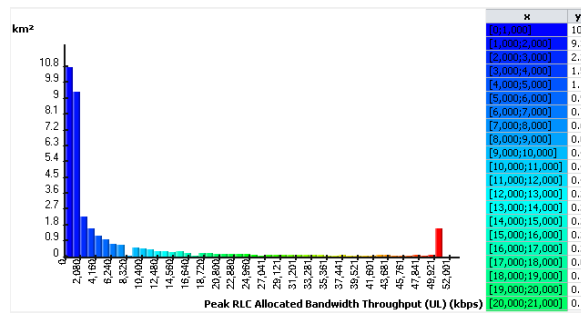


Figura 77. Histograma uplink Coverage by throughput PF-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

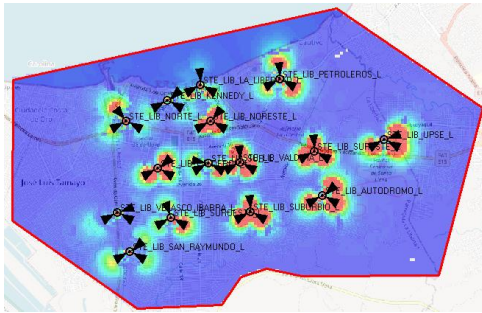


Figura 78. Uplink Coverage by throughput PF-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

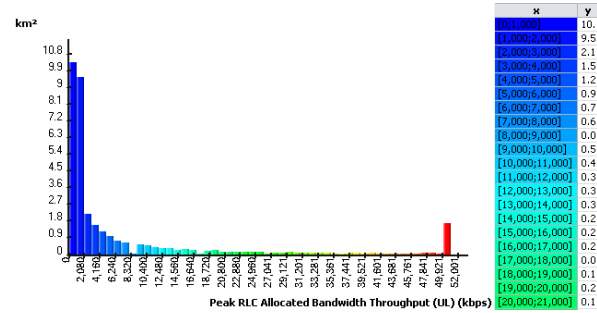


Figura 79. Histograma uplink Coverage by throughput PF-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

Seguido, podremos observar los resultados correspondientes al 100% de traffic load en el grupo 1 y el 50% para el grupo 2 aplicando la estrategia de Scheduling Round Robin.

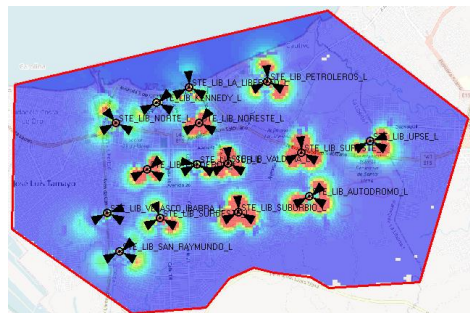


Figura 80. Uplink Coverage by throughput RR-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

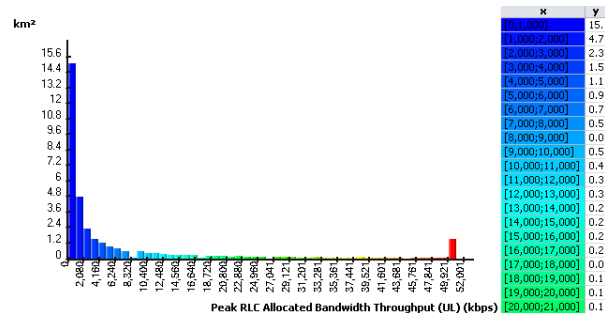


Figura 81. Histograma uplink Coverage by throughput RR-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

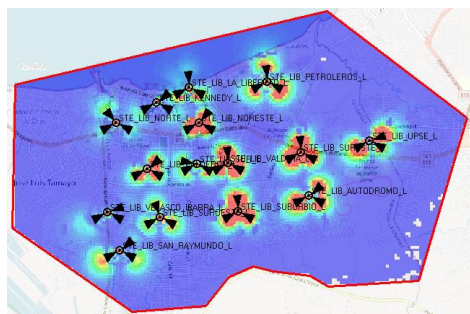


Figura 82. Uplink Coverage by throughput RR-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

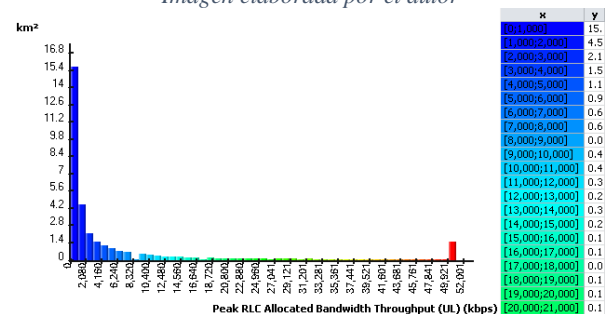


Figura 83. Histograma uplink Coverage by throughput RR-grupo
Imagen elaborada por el autor

Las imágenes que se presentan a continuación corresponden a una comparación de las dos estrategias con relación a la velocidad de throughput y la superficie por medio de la curva inverse CDF.

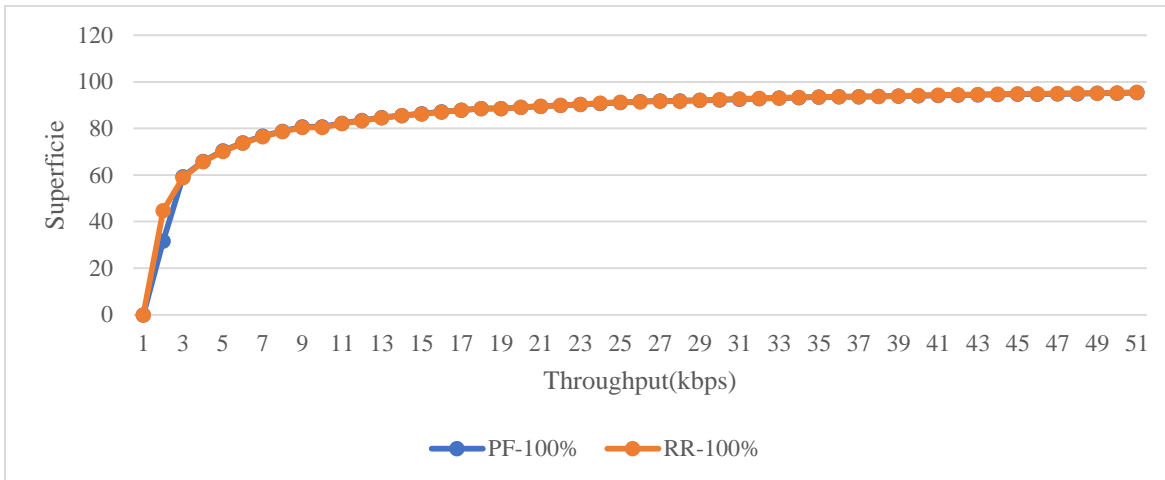


Figura 84. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load
Imagen elaborada por el autor

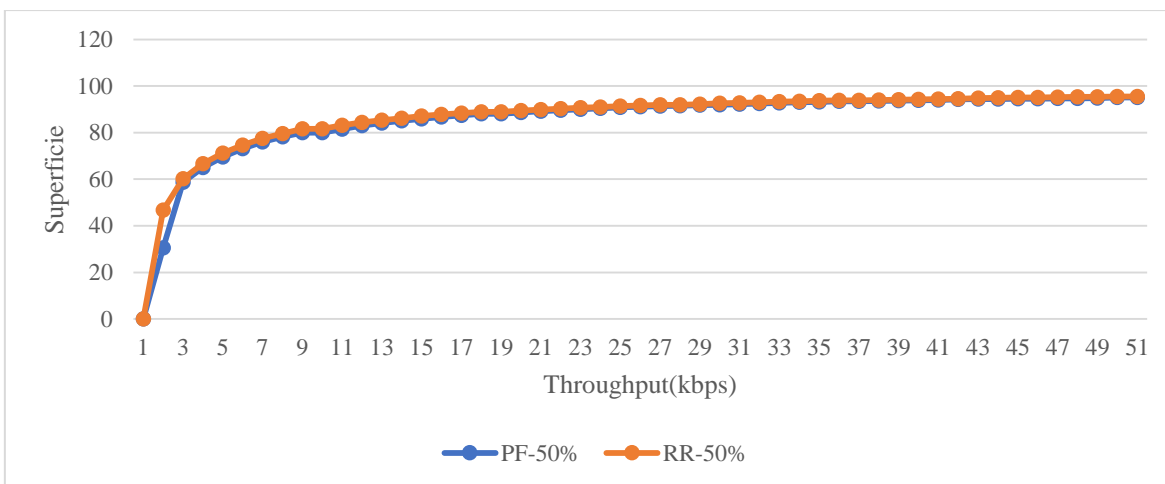


Figura 85. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load
Imagen elaborada por el autor

Para el análisis en uplink se observa que las diferencias no son tan evidentes como en downlink, pero aun así por medio de los datos estadísticos de la curva inverse CDF la estrategia PF obtienen mejores resultados cuando las celdas utilizan el 100% de recursos disponibles.

5.1.4. Datos comparativos de Packet Scheduling sin optimización

Es importante observar el comportamiento de velocidades (Mbps) en carga y descarga de las estaciones transmisoras una vez aplicando las estrategias de Packet Scheduling. En la tabla 32 se han descrito los resultados estadísticos de:

Peak RLC cummulated throughput: mayor rendimiento agregado de la red local.

Effective RLC cumulated throughput: rendimiento acumulado en RLC.

Cummulated application throughput: rendimiento de aplicación agregado.

Tabla 32. Resultados downlink y uplink sin optimización
Tabla elaborada por el autor

Nombre de radio base transmisora	Scheduling	Downlink			Uplink		
		Peak RLC cummulated throughput	Effective RLC cumulated throughput	Cumulated application throughput	Peak RLC cummulated throughput	Effective RLC cumulated throughput	Cumulated application throughput
LIB_PETROLEROS	PF	25.99 Mbps	25.99 Mbps	24.69 Mbps	8.96 Mbps	8.92 Mbps	8.47 Mbps
	RR	18.8 Mbps	18.7 Mbps	17.76 Mbps	11.12 Mbps	10.87 Mbps	10.33 Mbps
LIB_KENNEDY	PF	19.3 Mbps	19.12 Mbps	18.16 Mbps	10.48 Mbps	10.41 Mbps	9.89 Mbps
	RR	16.18 Mbps	16.09 Mbps	15.29 Mbps	7.04 Mbps	6.97 Mbps	6.62 Mbps
LIB_VALDIVIA	PF	24.39 Mbps	24.04 Mbps	22.84 Mbps	11.27 Mbps	11.2 Mbps	10.64 Mbps
	RR	25.29 Mbps	24.72 Mbps	23.48 Mbps	7.68 Mbps	7.63 Mbps	7.25 Mbps
LIB_NORESTE	PF	23.01 Mbps	22.91 Mbps	21.76 Mbps	10.1 Mbps	10.05 Mbps	9.55 Mbps
	RR	18.88 Mbps	18.73 Mbps	17.8 Mbps	9.95 Mbps	9.88 Mbps	9.39 Mbps
LIB_NORTE	PF	19.46 Mbps	18.69 Mbps	17.76 Mbps	12.51 Mbps	12.43 Mbps	11.81 Mbps
	RR	16.29 Mbps	15.99 Mbps	15.19 Mbps	9.11 Mbps	8.94 Mbps	8.49 Mbps

LIB_SUBURBIO	PF	27.72 Mbps	27.69 Mbps	26.31 Mbps	12.49 Mbps	12.46 Mbps	11.84 Mbps
	RR	29.29 Mbps	29 Mbps	27.55 Mbps	12.95 Mbps	12.9 Mbps	12.25 Mbps
LIB_AUTODROMO	PF	28.93 Mbps	28.76 Mbps	27.32 Mbps	7.07 Mbps	7 Mbps	6.65 Mbps
	RR	25.18 Mbps	25.1 Mbps	23.84 Mbps	12.47 Mbps	12.42 Mbps	11.8 Mbps
LIB_CALDERON	PF	16.31 Mbps	16.15 Mbps	15.34 Mbps	12.66 Mbps	12.58 Mbps	11.95 Mbps
	RR	20.03 Mbps	19.88 Mbps	18.89 Mbps	14.92 Mbps	14.82 Mbps	14.08 Mbps
LIB_SAN_REYMUNDO	PF	24.47 Mbps	24.13 Mbps	22.92 Mbps	11.23 Mbps	11.13 Mbps	10.58 Mbps
	RR	16.14 Mbps	16.05 Mbps	15.25 Mbps	7.68 Mbps	7.6 Mbps	7.22 Mbps
LIB_VELASCO_IBARRA	PF	16.39 Mbps	16.14 Mbps	15.33 Mbps	10.94 Mbps	10.89 Mbps	10.35 Mbps
	RR	10.12 Mbps	9.8 Mbps	9.31 Mbps	19.34 Mbps	19.2 Mbps	18.24 Mbps
LIB_LA_LIBERTAD	PF	18.81 Mbps	18.58 Mbps	17.65 Mbps	9.85 Mbps	9.77 Mbps	9.28 Mbps
	RR	14.95 Mbps	14.61 Mbps	13.88 Mbps	8.82 Mbps	8.74 Mbps	8.3 Mbps
LIB_UPSE	PF	23.33 Mbps	22.88 Mbps	21.74 Mbps	11.12 Mbps	10.96 Mbps	10.42 Mbps
	RR	25.49 Mbps	25.21 Mbps	23.95 Mbps	11.52 Mbps	11.44 Mbps	10.87 Mbps
LIB_SURESTE	PF	23.12 Mbps	22.9 Mbps	21.75 Mbps	12.42 Mbps	12.37 Mbps	11.75 Mbps
	RR	25.84 Mbps	25.53 Mbps	24.25 Mbps	7.68 Mbps	7.62 Mbps	7.24 Mbps
LIB_SUROESTE	PF	23.48 Mbps	23.34 Mbps	22.17 Mbps	8.35 Mbps	8.28 Mbps	7.86 Mbps
	RR	23 Mbps	22.82 Mbps	21.68 Mbps	6.26 Mbps	6.23 Mbps	5.92 Mbps
LIB_SUR	PF	20.47 Mbps	20.31 Mbps	19.3 Mbps	11.37 Mbps	11.29 Mbps	10.73 Mbps
	RR	19.16 Mbps	18.93 Mbps	17.99 Mbps	8.96 Mbps	8.94 Mbps	8.49 Mbps

5.2. Análisis comparativo de las estrategias Packet Scheduling con optimización

En este apartado se realiza el análisis de rendimiento con las estrategias de Packet Scheduling Round Robin y Proportional Fair a la red LTE optimizada, con la finalidad de identificar la mejor estrategia de scheduler con todos los recursos de red cargados al máximo.

En Atoll la optimización de la red LTE está constituida por medio de la asignación de vecinos, Physical Cell ID's y la planificación de frecuencias con el propósito de otorgar un mayor rendimiento a la red LTE.

5.2.1. Asignación de vecinos

La asignación de vecinos se realiza de manera automática por medio de la función Automatic Neighbours Allocation de Atoll, la cual otorga un numero aleatorio de 16 vecinos, estos cálculos se realizan con un 10% mínimo de área cubierta de la que se pretende analizar.

5.2.2. Asignación de Physical cell ID's

La asignación de los Physical Cell ID's considera los vecinos ya existentes, la matriz de interferencia y una distancia de reutilización mínima de 100m del borde de la celda.

Initial Physical Cell ID	Physical Cell ID	Initial PSS ID	PSS ID	Initial SSS ID	SSS ID	Cost	SSS ID status
33	21	0	0	11	7	0	Allocated
34	4	1	1	11	1	9.298324	Allocated
35	22	2	1	11	7	0	Allocated
2	296	2	2	0	98	0	Allocated
1	295	1	1	0	98	0	Allocated
0	294	0	0	0	98	0	Allocated
15	6	0	0	5	2	2.014636	Allocated
17	8	2	2	5	2	0	Allocated
16	7	1	1	5	2	0	Allocated
29	11	2	2	9	3	0	Allocated
27	9	0	0	9	3	0	Allocated
28	10	1	1	9	3	0	Allocated
8	25	2	1	2	8	0	Allocated
7	26	1	2	2	8	0	Allocated
6	24	0	0	2	8	0	Allocated
43	280	1	1	14	93	0	Allocated
42	279	0	0	14	93	0	Allocated
44	281	2	2	14	93	0	Allocated
26	37	2	1	8	12	0	Allocated
24	38	0	2	8	12	8.773803	Allocated

Figura 86. Asignación de Physical Cell ID's
Imagen elaborada por el autor

5.2.3. Asignación de frecuencias

De la misma forma en que se asignan los Physical Cell ID's, se pueden asignar los canales de frecuencias de 5MHz, 10MHz y 15MHz con el propósito de reducir las interferencias del entorno LTE.

5.2.4. Análisis en el downlink

Para el análisis de rendimiento en downlink y uplink las simulaciones se realizan en dos grupos, el grupo 1 considera un traffic load al 100% y el grupo 2 al 50%, aquellas restricciones se observan en la tabla 31.

Los siguientes resultados de predicción corresponden al análisis en la cobertura por rendimiento en downlink para la estrategia Proportional Fair. La comparación de ambas graficas muestra que la estrategia tiene un comportamiento similar para los recursos al 50% y 100%.

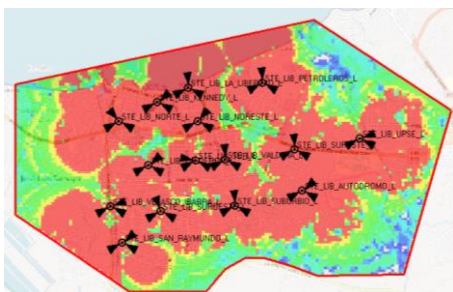


Figura 87. Downlink coverage by throughput PF-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

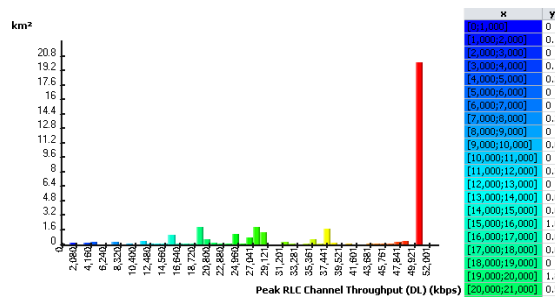


Figura 88. Histograma downlink coverage by throughput PF-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

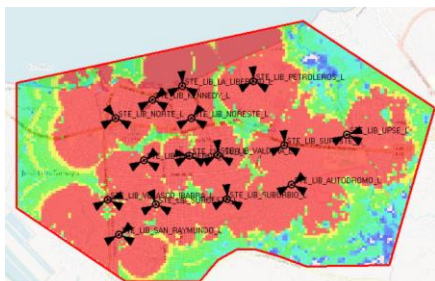


Figura 89. Downlink coverage by throughput PF-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

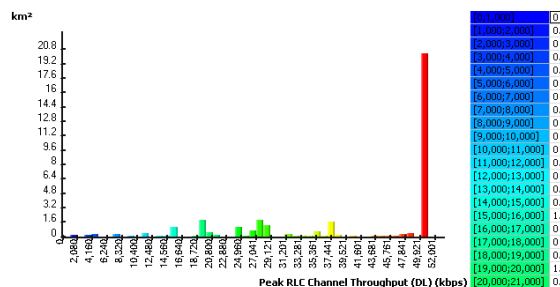


Figura 90. Histograma downlink coverage by throughput PF-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

De igual manera se presentan las predicciones correspondientes a la estrategia de Packet Scheduling Round Robin, con las simulaciones al 50% y 100% para las condiciones de traffic load. Visualmente en comparación a la estrategia PF, aplicando la estrategia RR se observa que llega a existir áreas donde el rendimiento de la cobertura no abastece y esto se refleja en las estadísticas del histograma presentes en la figura 84 y 86.

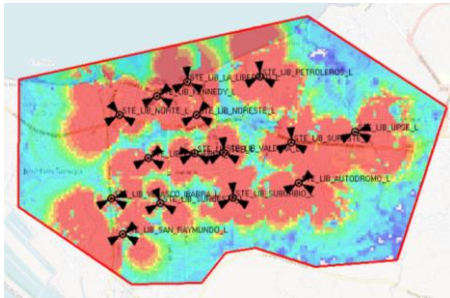


Figura 91. Downlink coverage by throughput RR-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

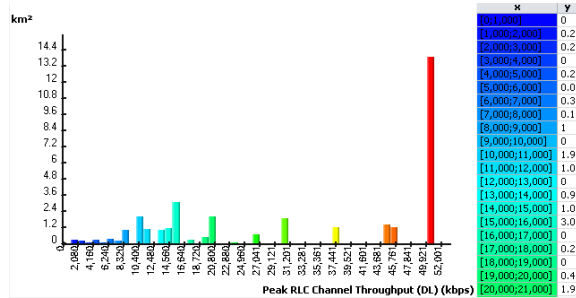


Figura 92. Histograma downlink coverage by throughput RR-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

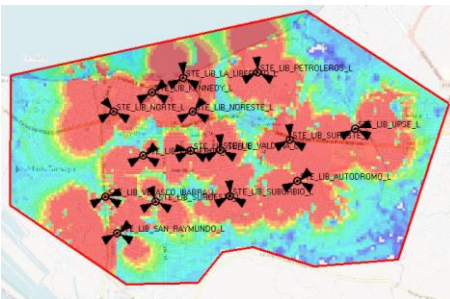


Figura 93. Downlink coverage by throughput RR-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

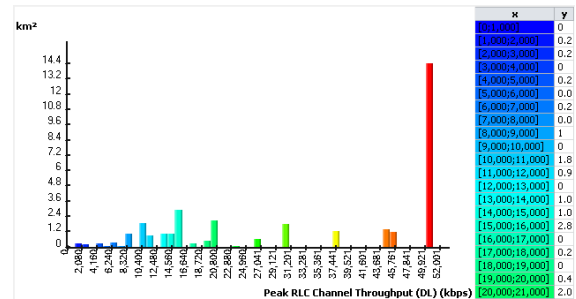


Figura 94. Histograma downlink coverage by throughput RR-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

El comportamiento de ambos scheduler tiende a tener una mejor respuesta con los recursos optimizados de la red. En el primer análisis se observa que PF llega a cubrir un área de 19.2 km^2 cerca de su máximo kbps, mientras que RR cubre un área de 13.2 km^2 .

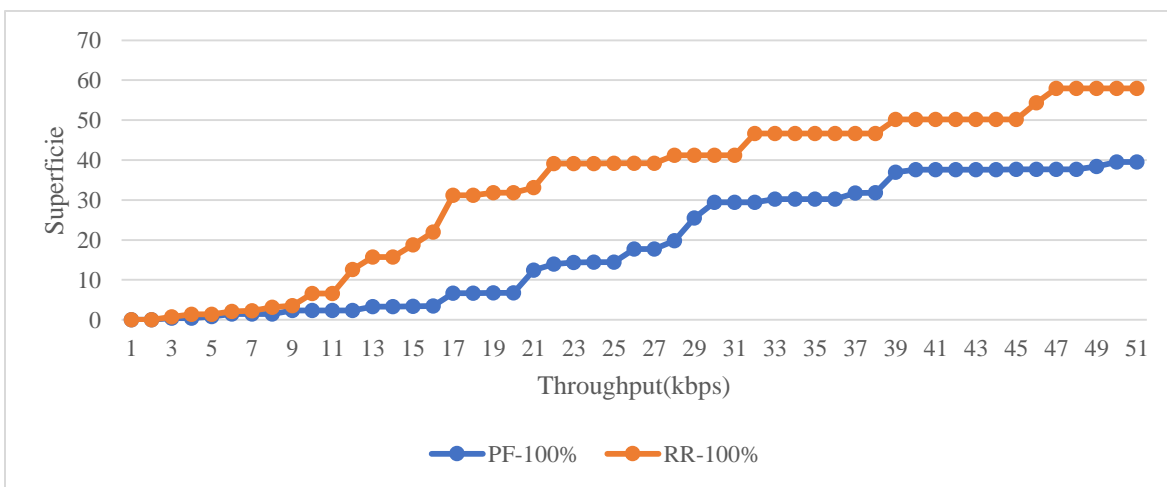


Figura 95. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load
Imagen elaborada por el autor

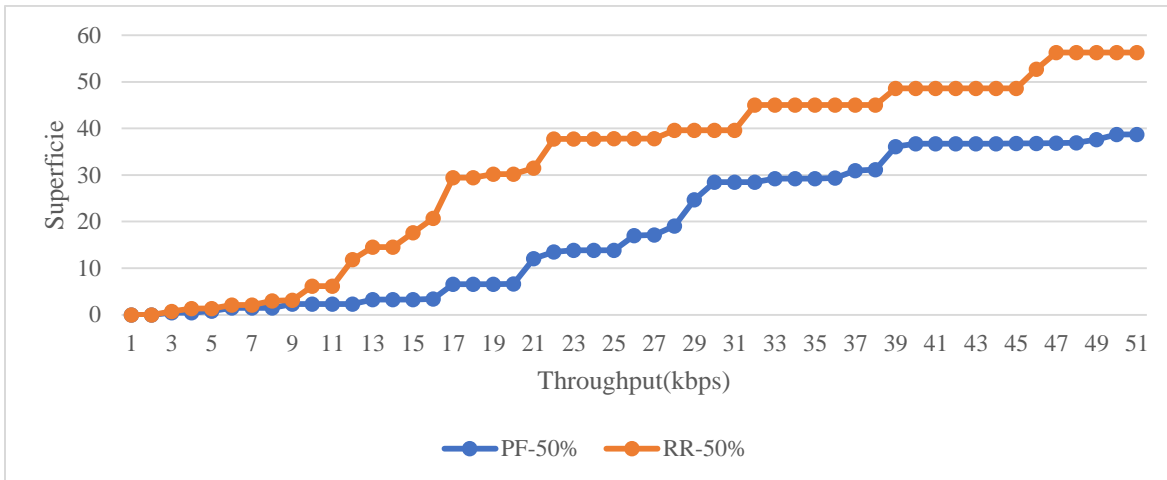


Figura 96. Comparación de las estrategias PF y RR con el 50% de traffic load
Imagen elaborada por el autor

Los datos que muestra la curva CDF con relación al porcentaje de throughput destaca que los resultados son más factibles al usar el 100% de los recursos.

5.2.5. Análisis en el uplink

Como se realizó en el análisis para downlink con los parámetros de la red optimizados, se realiza el mismo análisis en el rendimiento de la cobertura para uplink.

Las imágenes a continuación resaltan el contenido de las pruebas realizadas en el comportamiento de las estrategias de Packet Scheduling, estas primeras imágenes corresponden a la estrategia Proportional Fair e indica que se están entregando valores máximos de 50,001 kbps dentro del área más cerca de donde se encuentra la estación transmisora, el comportamiento se observa similar para los dos grupos de simulación.

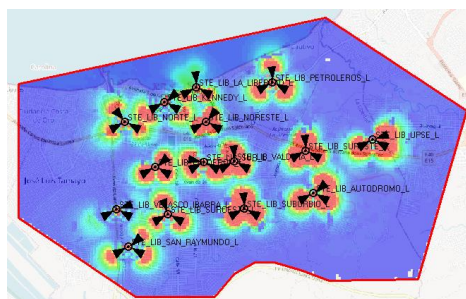


Figura 97. Uplink coverage by throughput PF-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

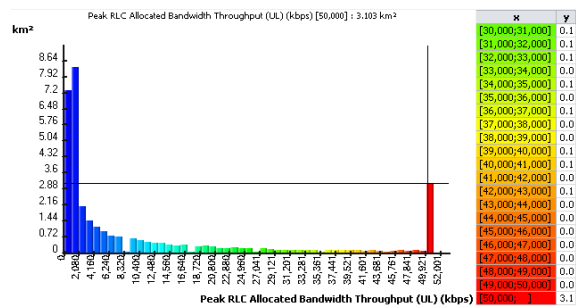


Figura 98. Histograma uplink coverage by throughput PF-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

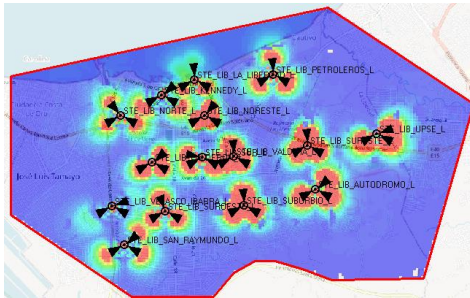


Figura 99. Uplink coverage by throughput PF-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

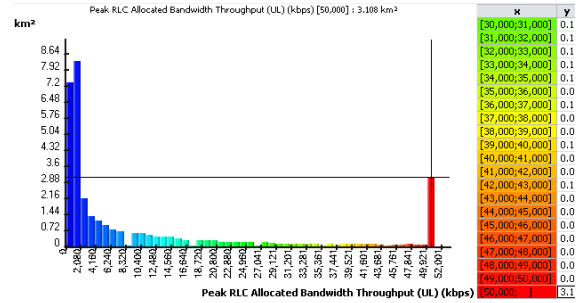


Figura 100. Histograma uplink coverage by throughput PF-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

Para la aplicación de la estrategia Round Robin se observa un cambio diferente a la estrategia analizada con anterioridad en consideración a los kbps, ya que estadísticamente suele abarcar en un área menor dentro de la estación transmisora con mayor concentración.

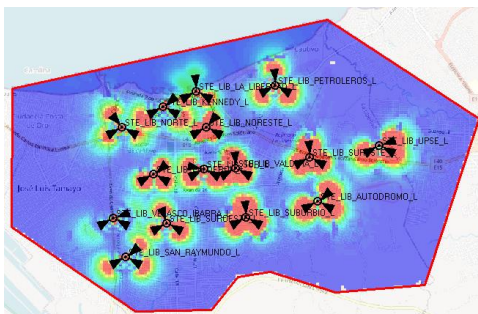


Figura 101. Uplink coverage by throughput RR-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

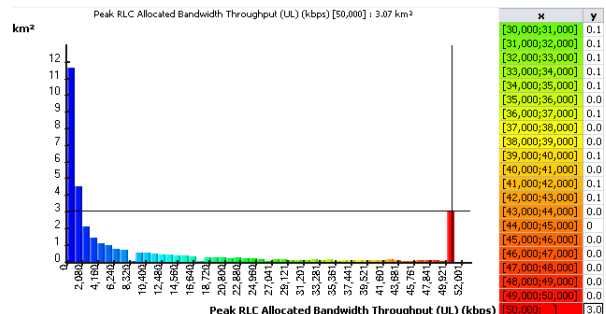


Figura 102. Histograma uplink coverage by throughput RR-grupo 1
Imagen elaborada por el autor

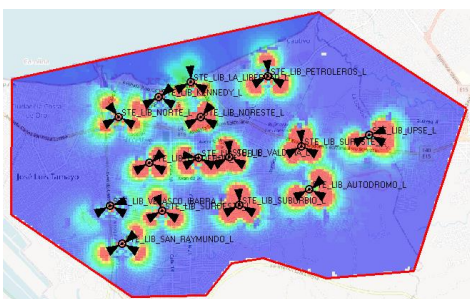


Figura 103. Uplink coverage by throughput RR-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

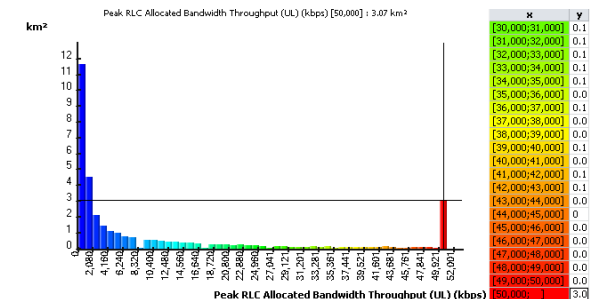


Figura 104. Histograma uplink coverage by throughput RR-grupo 2
Imagen elaborada por el autor

Finalmente comparamos las dos estrategias de manera estadística con la inversa de la función distributiva acumulativa (CDF) con a la superficie del área que cubre el rendimiento del sistema, con la finalidad de observar los mínimos detalles en el comportamiento estadístico.

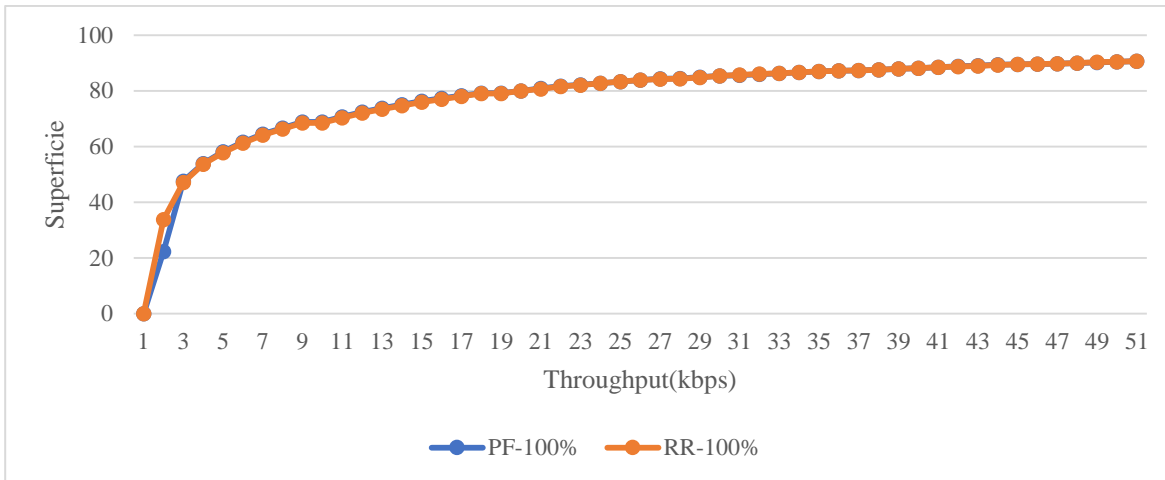


Figura 105. Comparación de las estrategias PF y RR con el 100% de traffic load
Imagen elaborada por el autor

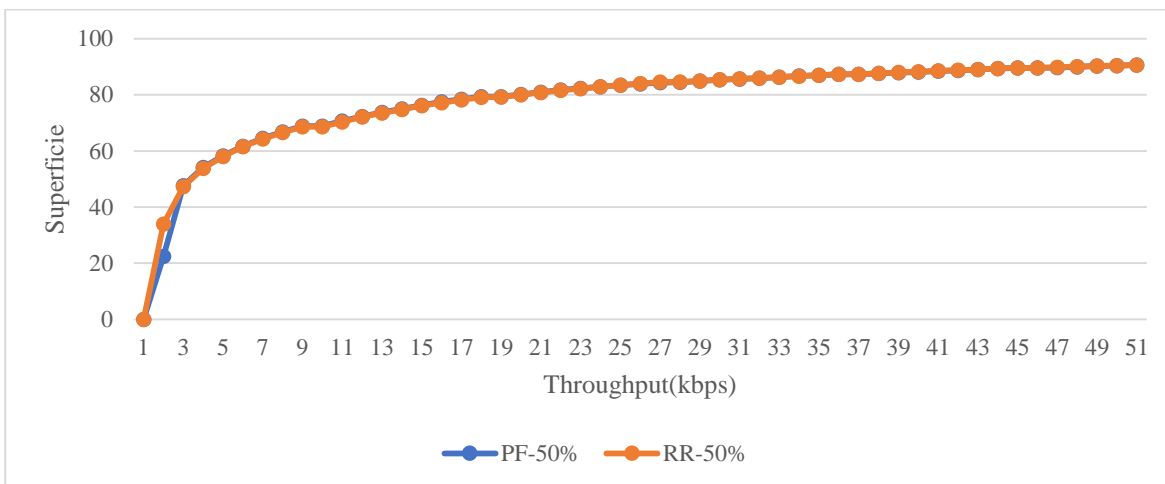


Figura 106. Comparación de las estrategias PF y RR con el 50% de traffic load
Imagen elaborada por el autor

A diferencia que en downlink, en uplink los detalles son muy similares debido a que ambas estrategias son factibles para el comportamiento en esta trama de este apartado. Aun así, la estrategia PF llega a abastecer su rendimiento dentro de un área de 3.103 km^2 y la estrategia RR en un área de 3.065 km^2 de la estación transmisora.

5.2.6. Datos comparativos de Packet Scheduling con optimización

En este apartado se muestran los resultados obtenidos del servicio al acceso de internet móvil para las estaciones de la provincia, considerando la optimización de la red y aplicación de las estrategias Packet Scheduling. A continuación en la tabla 33 se observan detalles estadísticos de acuerdo con:

Peak RLC cummulated throughput: mayor rendimiento agregado de la red local.

Effective RLC cumulated throughput: rendimiento acumulado en RLC.

Cummulated application throughput: rendimiento de aplicación agregado.

*Tabla 33. Resultados downlink y uplink con optimización
Tabla elaborada por el autor*

Nombre de radio base transmisora	Scheduling	Downlink			Uplink		
		Peak RLC cummulated throughput	Effective RLC cumulated throughput	Cumulated application throughput	Peak RLC cummulated throughput	Effective RLC cumulated throughput	Cumulated application throughput
LIB_PETROLEROS	PF	62.79 Mbps	62.55 Mbps	59.42 Mbps	17.78 Mbps	17.62 Mbps	16.74 Mbps
	RR	60.96 Mbps	60.95 Mbps	57.9 Mbps	12.48 Mbps	12.37 Mbps	11.75 Mbps
LIB_KENNDEY	PF	64.8 Mbps	64.61 Mbps	61.38 Mbps	17.67 Mbps	17.53 Mbps	16.65 Mbps
	RR	79.86 Mbps	79.65 Mbps	75.67 Mbps	20.8 Mbps	20.61 Mbps	19.58 Mbps
LIB_VALDIVIA	PF	84.65 Mbps	84.62 Mbps	80.39 Mbps	8.32 Mbps	8.3 Mbps	7.88 Mbps
	RR	70.98 Mbps	70.93 Mbps	67.39 Mbps	16.64 Mbps	16.54 Mbps	15.71 Mbps
LIB_NORESTE	PF	70.02 Mbps	69.92 Mbps	66.42 Mbps	17.67 Mbps	17.61 Mbps	16.73 Mbps
	RR	69.51 Mbps	66.03 Mbps	66.03 Mbps	31.2 Mbps	31.08 Mbps	29.52 Mbps
LIB_NORTE	PF	68.02 Mbps	68.02 Mbps	64.61 Mbps	8.32 Mbps	8.21 Mbps	7.8 Mbps

	RR	66.42 Mbps	66.34 Mbps	63.03 Mbps	7.38 Mbps	7.32 Mbps	6.95 Mbps
LIB_SUBURBIO	PF	91.72 Mbps	91.41 Mbps	86.84 Mbps	14.56 Mbps	14.42 Mbps	13.7 Mbps
	RR	76.47 Mbps	76.23 Mbps	72.42 Mbps	10.4 Mbps	10.3 Mbps	9.79 Mbps
LIB_AUTODROMO	PF	68.25 Mbps	68.25 Mbps	64.84 Mbps	19.12 Mbps	19.05 Mbps	18.1 Mbps
	RR	56.52 Mbps	56.31 Mbps	53.49 Mbps	18.72 Mbps	18.63 Mbps	17.7 Mbps
LIB_CALDERON	PF	56.16 Mbps	55.83 Mbps	53.03 Mbps	10.4 Mbps	10.4 Mbps	9.88 Mbps
	RR	52.47 Mbps	52.41 Mbps	49.79 Mbps	8.32 Mbps	8.28 Mbps	7.87 Mbps
LIB_SAN_REYMUNDO	PF	65.99 Mbps	65.88 Mbps	62.59 Mbps	4.16 Mbps	4.1 Mbps	3.9 Mbps
	RR	58.84 Mbps	58.57 Mbps	55.64 Mbps	20.8 Mbps	20.68 Mbps	19.65 Mbps
LIB_VELASCO_IBARRA	PF	66.7 Mbps	66.42 Mbps	63.1 Mbps	6.24 Mbps	6.23 Mbps	5.91 Mbps
	RR	62.22 Mbps	61.65 Mbps	58.56 Mbps	6.24 Mbps	6.2 Mbps	5.89 Mbps
LIB_LA_LIBERTAD	PF	59.69 Mbps	59.67 Mbps	56.69 Mbps	29.31 Mbps	29.09 Mbps	27.64 Mbps
	RR	57.69 Mbps	57.63 Mbps	54.75 Mbps	28.18 Mbps	27.97 Mbps	26.57 Mbps
LIB_UPSE	PF	73.28 Mbps	72.98 Mbps	69.33 Mbps	7.73 Mbps	7.73 Mbps	7.34 Mbps
	RR	69.68 Mbps	69.53 Mbps	66.05 Mbps	10.8 Mbps	10.75 Mbps	10.22 Mbps
LIB_SURESTE	PF	68.25 Mbps	68.25 Mbps	64.84 Mbps	19.39 Mbps	19.24 Mbps	18.27 Mbps
	RR	64.74 Mbps	64.72 Mbps	61.48 Mbps	16.64 Mbps	16.55 Mbps	15.72 Mbps
LIB_SUROESTE	PF	63.27 Mbps	63 Mbps	59.85 Mbps	4.16 Mbps	4.16 Mbps	3.95 Mbps
	RR	71.72 Mbps	71.64 Mbps	68.06 Mbps	7.27 Mbps	7.22 Mbps	6.86 Mbps
LIB_SUR	PF	59.94 Mbps	59.79 Mbps	56.8 Mbps	18.72 Mbps	18.65 Mbps	17.72 Mbps
	RR	70.48 Mbps	70.41 Mbps	66.89 Mbps	6.24 Mbps	6.2 Mbps	5.89 Mbps

Finalmente se presenta una tabla comparativa con el objetivo de analizar y ver el comportamiento de las dos estrategias de Packet Scheduling Proportional Fair y Round Robin durante el transcurso de optimización del sistema, la tabla 34 se da en función al Peak RLC para observar el máximo throughput en el envío de paquetes entre el eNodeB y equipo usuario.

Tabla 34. Tabla comparativa en relación con Peak RLC
Tabla elaborada por el usuario

		Sin optimización		Con optimización	
		Peak RLC throughput	cummulated	Peak RLC throughput	cummulated
Nombre de radio base transmisora	Scheduling	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
LIB_PETROLEROS	PF	25.99 Mbps	8.96 Mbps	62.79 Mbps	17.78 Mbps
	RR	18.8 Mbps	11.12 Mbps	60.96 Mbps	12.48 Mbps
LIB_KENNEDY	PF	19.3 Mbps	10.48 Mbps	64.8 Mbps	17.67 Mbps
	RR	16.18 Mbps	7.04 Mbps	79.86 Mbps	20.8 Mbps
LIB_VALDIVIA	PF	24.39 Mbps	11.27 Mbps	84.65 Mbps	8.32 Mbps
	RR	25.29 Mbps	7.68 Mbps	70.98 Mbps	16.64 Mbps
LIB_NORESTE	PF	23.01 Mbps	10.1 Mbps	70.02 Mbps	17.67 Mbps
	RR	18.88 Mbps	9.95 Mbps	69.51 Mbps	31.2 Mbps
LIB_NORTE	PF	19.46 Mbps	12.51 Mbps	68.02 Mbps	8.32 Mbps
	RR	16.29 Mbps	9.11 Mbps	66.42 Mbps	7.38 Mbps
LIB_SUBURBIO	PF	27.72 Mbps	12.49 Mbps	91.72 Mbps	14.56 Mbps
	RR	29.29 Mbps	12.95 Mbps	76.47 Mbps	10.4 Mbps
LIB_AUTODROMO	PF	28.93 Mbps	7.07 Mbps	68.25 Mbps	19.12 Mbps
	RR	25.18 Mbps	12.47 Mbps	56.52 Mbps	18.72 Mbps
LIB_CALDERON	PF	16.31 Mbps	12.66 Mbps	56.16 Mbps	10.4 Mbps
	RR	20.03 Mbps	14.92 Mbps	52.47 Mbps	8.32 Mbps
LIB_SAN_REYMUNDO	PF	24.47 Mbps	11.23 Mbps	65.99 Mbps	4.16 Mbps
	RR	16.14 Mbps	7.68 Mbps	58.84 Mbps	20.8 Mbps
LIB_VELASCO_IBARRA	PF	16.39 Mbps	10.94 Mbps	66.7 Mbps	6.24 Mbps
	RR	10.12 Mbps	19.34 Mbps	62.22 Mbps	6.24 Mbps
LIB_LA_LIBERTAD	PF	18.81 Mbps	9.85 Mbps	59.69 Mbps	29.31 Mbps
	RR	14.95 Mbps	8.82 Mbps	57.69 Mbps	28.18 Mbps
LIB_UPSE	PF	23.33 Mbps	11.12 Mbps	73.28 Mbps	7.73 Mbps
	RR	25.49 Mbps	11.52 Mbps	69.68 Mbps	10.8 Mbps
LIB_SURESTE	PF	23.12 Mbps	12.42 Mbps	68.25 Mbps	19.39 Mbps
	RR	25.84 Mbps	7.68 Mbps	64.74 Mbps	16.64 Mbps
LIB_SUROESTE	PF	23.48 Mbps	8.35 Mbps	63.27 Mbps	4.16 Mbps
	RR	23 Mbps	6.26 Mbps	71.72 Mbps	7.27 Mbps
LIB_SUR	PF	20.47 Mbps	11.37 Mbps	59.94 Mbps	18.72 Mbps
	RR	19.16 Mbps	8.96 Mbps	70.48 Mbps	6.24 Mbps

Como se puede observar en los resultados sin optimización, el acceso al internet móvil determina que el mejor rendimiento lo tiene la estrategia Proportional Fair, pero en determinadas estaciones Round Robin también suele tener buenos resultados, pero aun así la diferencia es mínima entre las dos estrategias.

Mientras tanto, en los resultados optimizados se presenta una diferencia en cuanto a las celdas se encuentran al máximo de los recursos suministrados, presentando valores en downlink que bordan los 90 Mbps y en uplink se observan valores máximos de 20 Mbps. Esto debido a la cantidad multiusuario que puede estar conectada a la red, ya que los usuarios desean pasar más tiempo en internet y descargar información. Ambas estrategias cumplen con el objetivo de mejorar el rendimiento de la red LTE para la provincia, pero al comparar las estrategias se observa que la mejor opción es la estrategia Proportional Fair, ya que mayor mente esta estrategia de Scheduling obtiene mejores resultados en la mayoría de las estaciones transmisoras que la estrategia Round Robin.

5.3. Optimización de la red LTE

Esta última sección se desempeña en cumplir con el objetivo final de este trabajo de investigación. Para aquello el siguiente desarrollo a seguir se basa en, una vez seleccionado la estrategia de scheduler con mejores resultados en el estudio de las radios bases transmisoras desplegadas en el área de Santa Elena se observa que aunque exista una mejoría por la aplicación del scheduler, aun se suelen mostrar sectores en donde la cobertura no llega a ser la mejor, ni esta misma llega a cubrir con ciertas áreas que se encuentran dentro del área de estudio. Para aquello se opta por modificar parámetros de las radios bases transmisoras tomando en consideración la aplicación del scheduler óptimo.

Para este caso, el scheduler más óptimo llega a ser la estrategia Proportional Fair, debido a que durante el análisis esta misma cubre más área que la estrategia Round Robin, obtiene mayor throughput y maximiza la capacidad de la celda y por tanto de la red.

Para poder determinar el máximo rendimiento en los parámetros de los transmisores se debe cumplir con los dos objetivos de niveles del sistema LTE del Automatic Cell Planning. En primera instancia se había obtenido un valor inicial del 44.11% para la zona de evaluación en LTE RSRP, y un 93.60% para el nivel LTE RSRQ, estos valores se mostraban insuficiente ya que se debe cumplir en LTE RSRP un valor mayor o igual al

90% para la zona de evaluación y mayor igual al 85% para LTE RSRQ. La figura 107 a continuación corresponde al reporte estadístico de la optimización de los parámetros LTE.

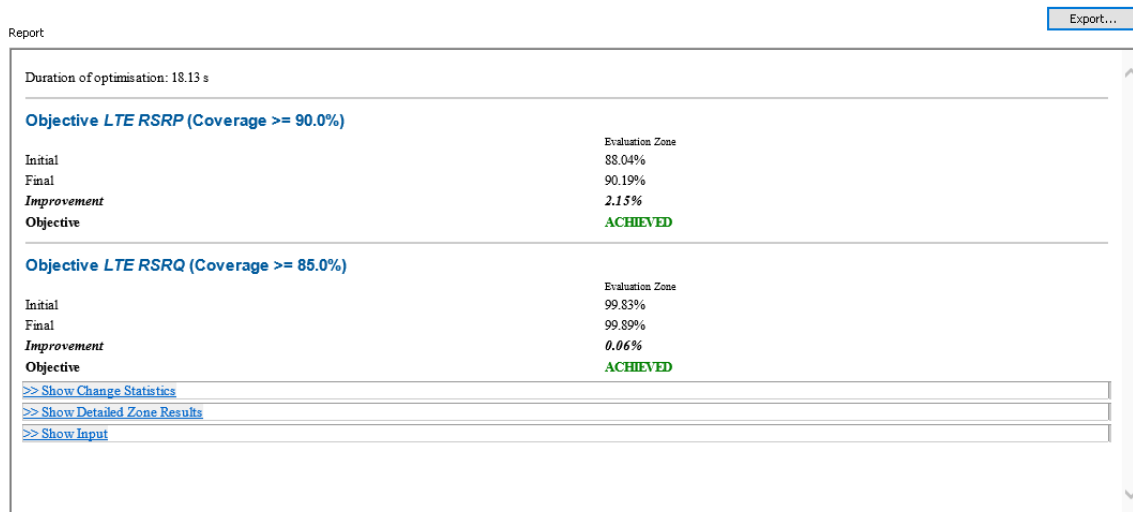


Figura 107. Automatic cell Planning
Imagen elaborada por el autor

Las imágenes siguientes corresponden al nivel de señal de cobertura dentro del área de estudio, la comparación de estos dos resultados muestra como al modificar los parámetros de los transmisores se logra mejorar el rendimiento de la señal de forma general, abarcando más territorio y por consecuencia aumentando los niveles de kbps.

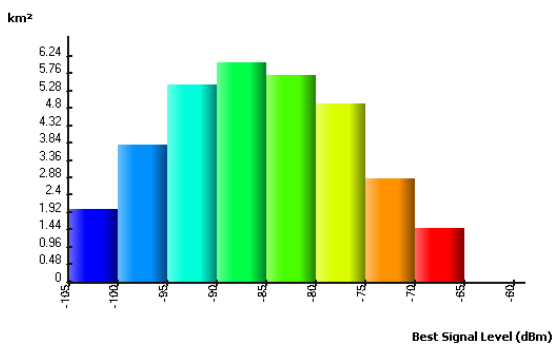


Figura 108. Coverage by signal level – PF
Imagen elaborada por el autor

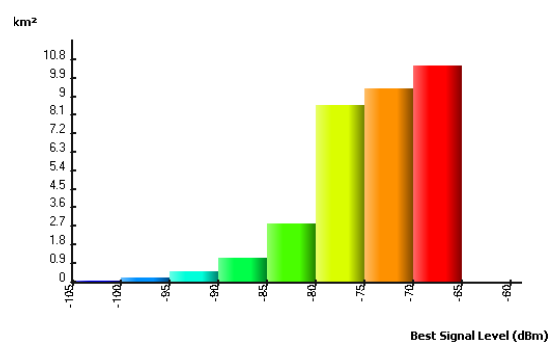


Figura 109. Coverage by signal level – PF (optimizado)
Imagen elaborada por el autor

La cobertura por rendimiento con los parámetros ya optimizados mejora en consideración a la dirección que tiene los azimuth, tilt eléctrico y tilt mecánico.

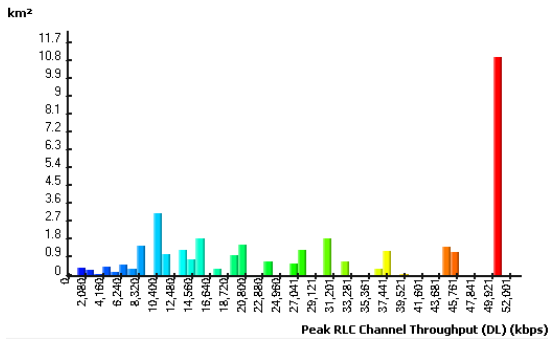


Figura 110. Coverage by throughput DL – PF
Imagen elaborada por el autor

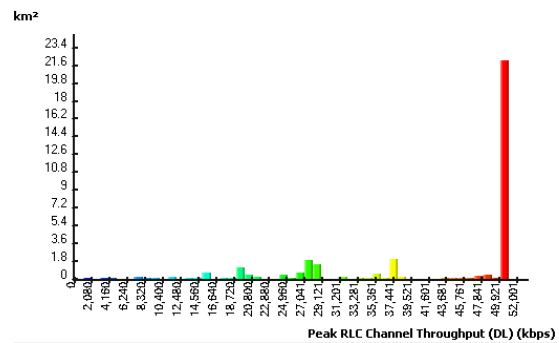


Figura 111. Coverage by throughput DL – PF (optimizado)
Imagen elaborada por el autor

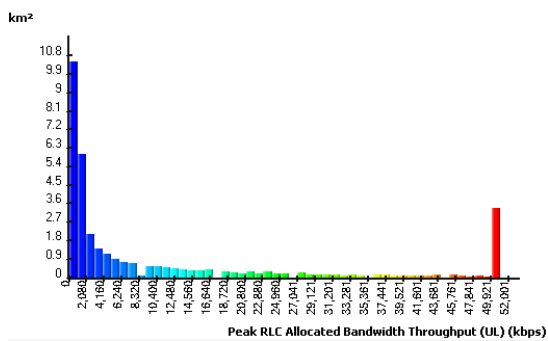


Figura 112. Coverage by throughput UL – PF
Imagen elaborada por el autor

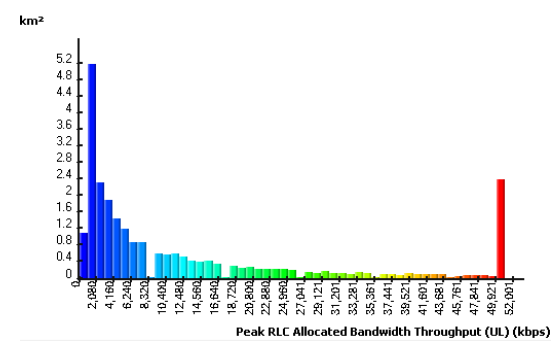


Figura 113. Coverage by throughput UL – PF (optimizado)
Imagen elaborada por el autor

También es importante observar cómo han cambiado los valores de RSRP. Los siguientes resultados corresponden a los niveles de potencia de cada transmisor observados de una perspectiva general. El nivel RSRP indica que los niveles que abarca un rango de -80 dBm a -100 dBm son excelente.

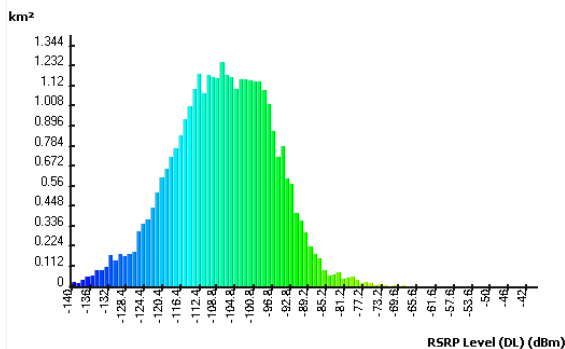


Figura 114. Histograma nivel RSRP – PF
Imagen elaborada por el autor

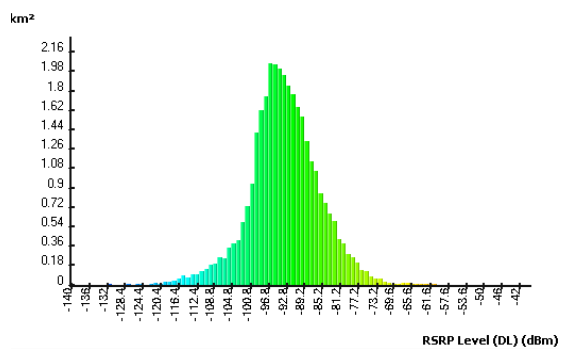


Figura 115. Histograma nivel RSRP – PF (optimizado)
Imagen elaborada por el autor

A continuación se observan los resultados con respecto a la calidad de la señal (RSRQ), aquella también presenta un mejoramiento de forma general, ya que en el rango de -12 dB

a -13.5 dB se considera una buena señal y para el rango de -15 a -20 dB indica que no se recibe señal.

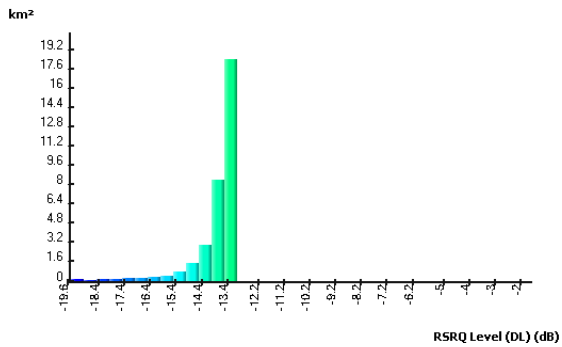


Figura 116. Histograma nivel RSRQ - PF
Imagen elaborada por el autor

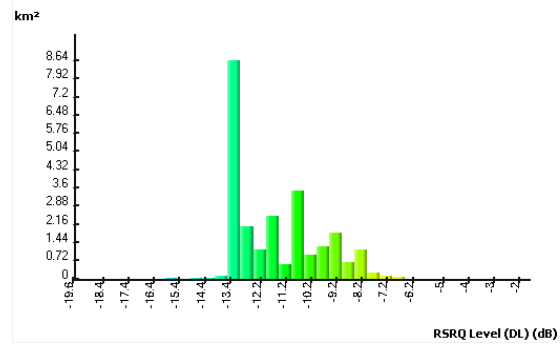


Figura 117. Histograma nivel RSRQ - PF (optimizado)
Imagen elaborada por el autor

Los parámetros modificados para cada estación transmisora se encuentran en el anexo 1, tabla 36, donde se muestran los parámetros iniciales en donde se realizaban las fases de pruebas y los parámetros finales en donde el enlace tiene un máximo rendimiento y el sistema LTE se encuentra optimizado.

CONCLUSIONES

- Tal y como se pudo cumplir con los estudios del sistema de red LTE en la provincia de Santa Elena, analizando el rendimiento de la cobertura y la conexión al servicio de internet móvil, se ha podido concluir que las técnicas de Packet Scheduling mejoran con eficiencia la calidad del servicio de la red LTE en los diferentes sectores de las estaciones base transmisoras establecidas en la provincia de Santa Elena.
- Se ha podido comprobar que el uso de las estrategias de Packet Scheduling en el primer sistema, en donde no se aplica optimización, es decir que no se considera la planificación de Physical cell ID, asignación de vecinos y asignación de frecuencias. Ambas contribuyen al aumento de velocidad en downlink/uplink y mejora al sistema, considerando el primer grupo de simulación con los recursos de tráfico al 100% y analizando el downlink en cobertura por rendimiento se determina que, la estrategia Proportional Fair obtiene un máximo de 50,000 kbps con respecto a un área de 3.52 km^2 , mientras que para Round Robin el máximo de 50,000 kbps solo se representa en un área de 1.44 km^2 .
- Mediante el análisis de downlink en cobertura por rendimiento, con el sistema optimizado y los recursos de tráfico al 100%, se llega a observar que la estrategia Proportional Fair en su máximo de 50,000 kbps representa el área de un 19.5 km^2 en su totalidad, mientras que para la estrategia Round Robin el máximo de 50,000 kbps se ve solamente representado en un área de 13.5 km^2 .
- Finalmente se puede deducir que la aplicación de ambas estrategias de Packet Scheduling mejoran el sistema de rendimiento de la red LTE, pero se llega a determinar que la estrategia Proportional Fair obtiene mejores resultados, como en downlink se llegó a obtener un 84.65 Mbps en comparación a un 70.98 Mbps al aplicar la estrategia Round Robin. Mientras que para el caso de uplink los valores varían de 4 a 18 Mbps. Llegada a esta conclusión se determina Proportional Fair como mejor opción para la optimización del sistema y configuración de los parámetros de cada estación base.

RECOMENDACIONES

- Antes de iniciar cualquier prueba de simulación se debe determinar bien el área de cálculo según el mapa de tráfico donde se desea analizar el rendimiento de cada estación transmisora de la provincia de Santa Elena.
- Es importante destacar los niveles de potencia que presenta la señal LTE. En el principio de la investigación se analizaron los canales PDSCH en el downlink y el canal PUSCH y PUCCH en el uplink debido a que estos transportan señales de usuario y datos, y así poder comprobar un nivel de potencia aceptable, de igual forma se estudiaron los niveles RSRQ y RSRP al principio y final de la investigación, comprobando así que la calidad de la señal pasa de tener -19.6 dB (no se recibe señal) a -13 dB (buena señal).
- Para futuras investigaciones y pruebas se pueden implementar nuevas radio bases en los sectores huecos de cobertura donde la zona se muestra deficiente y carece de rendimiento.
- Es recomendable aplicar la estrategia Proportional Fair en el sistema de redes LTE debido a que esta maximiza el rendimiento de la red aplicando un reparto equitativo de los recursos, y aquellos resultados se destacan en los niveles pico, efectivo y acumulativo de throughput en Mbps.
- Las simulaciones que se realizan en Atoll suelen tener muchas respuestas en consideración a la búsqueda de la mejor estabilidad en los parámetros de los transmisores como azimuth, tilt mecánico y eléctrico, lo cual puede causar una inconsistencia en los resultados que se suelen esperar, por lo tanto se evalúa de forma individual cada estación transmisora para análisis en el comportamiento de downlink y uplink que presenta la estación cuando los usuarios se conectan a la red LTE.

ANEXOS

Anexo 1. Tablas de datos

No.	Nombre de estación transmisora	Latitud	Longitud	Height(m)	Azimuth(°)	Tilt E	Tilt M	Antena
1	LIB_PETROLEROS	-2.21928	-80.894648	30	355	7	1	APXVRR13-C
2	LIB_KENNEDY	-2.222659	-80.912804	30	50	4	2	TDJH-182018DE-65F
3	LIB_VALDIVIA	-2.232729	-80.901092	30	355	9	4	TDJH-182018DE-65F
4	LIB_NORESTE	-2.226043	-80.905841	23.7	40	8	1	TDJH-182018DE-65F
5	LIB_NORTE	-2.22599	-80.91942	30	320	6	0	TDJH-182018DE-65F
6	LIB_SUBURBIO	-2.24074	-80.8993	30	355	4	2	TDJH-182018DE-65F
7	LIB_AUTODROMO	-2.2382	-80.8877	30.4	50	2	1	TDJH-182018DE-65F
8	LIB_CALDERON	-2.23372	-80.9143	24	50	3	0	TDJH-182018DE-65F
9	LIB_SAN_RAYMUNDO	-2.247197	-80.918902	35.5	50	6	3	TDJH-182018DE-65F
10	LIB_VELASCO_IBARRA	-2.24094	-80.92094	36	70	4	0	TDJH-182018DE-65F
11	LIB_LA_LIBERTAD	-2.220233	-80.90746	30	355	6	0	TDJH-182018DE-65F
12	LIB_UPSE	-2.22908	-80.87769	30	70	5	0	TDJH-182018DE-65F
13	LIB_SURESTE	-2.23092	-80.88897	27.5	355	2	2	TDJH-182018DE-65F
14	LIB_SUROESTE	-2.24178	-80.91224	24	340	3	0	TDJH-182018DE-65F
15	LIB_SUR	-2.23288	-80.90617	30	280	7	0	TDJH-182018DE-65F

Tabla 35. Parámetros de las estaciones transmisoras proporcionado por la empresa CNT
 Tabla elaborada por el autor

Nombre de estación transmisora	Total power(dBm)		Azimuth(deg)		Mechanical Tilt(deg)	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
STE_LIB_AUTODROMO_L_1(0)	43	46	70	70	1	0
STE_LIB_AUTODROMO_L_2(0)	43	61	155	155	1	0
STE_LIB_AUTODROMO_L_3(0)	43	58	220	220	1	0
STE_LIB_CALDERON_L_1(0)	43	43	50	50	0	0
STE_LIB_CALDERON_L_2(0)	43	43	120	120	0	0
STE_LIB_CALDERON_L_3(0)	43	52	260	260	0	0
STE_LIB_KENNEDY_L_1(0)	43	55	5	5	2	4
STE_LIB_KENNEDY_L_2(0)	43	46	120	120	2	0
STE_LIB_KENNEDY_L_3(0)	43	58	300	300	2	3
STE_LIB_LA_LIBERTAD_L_1(0)	43	43	355	355	0	0
STE_LIB_LA_LIBERTAD_L_2(0)	43	46	100	100	0	0
STE_LIB_LA_LIBERTAD_L_3(0)	43	43	240	240	0	0
STE_LIB_NORESTE_L_1(0)	43	43	40	40	1	1
STE_LIB_NORESTE_L_2(0)	43	43	140	140	1	1
STE_LIB_NORESTE_L_3(0)	43	43	240	240	1	1
STE_LIB_NORTE_L_1(0)	43	58	285	285	0	0
STE_LIB_NORTE_L_2(0)	43	43	140	140	0	0
STE_LIB_NORTE_L_3(0)	43	61	255	255	0	0
STE_LIB_PETROLEROS_L_1(0)	43	58	45	45	1	1
STE_LIB_PETROLEROS_L_2(0)	43	58	75	75	1	0
STE_LIB_PETROLEROS_L_3(0)	43	58	240	240	1	0
STE_LIB_SAN_RAYMUNDO_L_1(0)	43	46	45	45	3	3
STE_LIB_SAN_RAYMUNDO_L_2(0)	43	61	120	120	3	0
STE_LIB_SAN_RAYMUNDO_L_3(0)	43	51	225	225	3	1
STE_LIB_SUBURBIO_L_1(0)	43	43	10	10	2	2
STE_LIB_SUBURBIO_L_2(0)	43	58	160	160	2	0
STE_LIB_SUBURBIO_L_3(0)	43	55	205	205	2	0
STE_LIB_SURESTE_L_1(0)	43	58	20	20	2	2
STE_LIB_SURESTE_L_2(0)	43	43	130	130	2	2
STE_LIB_SURESTE_L_3(0)	43	51	245	245	2	3
STE_LIB_SUROESTE_L_1(0)	43	43	350	350	0	0
STE_LIB_SUROESTE_L_2(0)	43	49	80	80	0	0
STE_LIB_SUROESTE_L_3(0)	43	43	240	240	0	0
STE_LIB_SUR_L_1(0)	43	43	300	300	0	0
STE_LIB_SUR_L_2(0)	43	46	140	140	0	0
STE_LIB_SUR_L_3(0)	43	46	220	220	0	0
STE_LIB_UPSE_L_1(0)	43	58	25	25	0	0
STE_LIB_UPSE_L_2(0)	43	58	140	140	0	0
STE_LIB_UPSE_L_3(0)	43	58	300	300	0	0

STE_LIB_VALDIVIA_L_1(0)	43	46	355	355	4	0
STE_LIB_VALDIVIA_L_2(0)	43	55	100	100	4	0
STE_LIB_VALDIVIA_L_3(0)	43	43	240	240	4	4
STE_LIB_VELASCO_IBARRA_L_1(0)	43	49	50	50	0	1
STE_LIB_VELASCO_IBARRA_L_2(0)	43	46	120	120	0	0
STE_LIB_VELASCO_IBARRA_L_3(0)	43	58	275	275	0	0

Tabla 36. Parámetros optimizados para la estrategia Proportional Fair.
 Tabla elaborada por el autor

Anexo 2. Figuras



Figura 118. Estación transmisora "La Libertad"
 Imagen elaborada por el autor



Figura 119. Estación transmisora "NorEste"
 Imagen elaborada por el autor



Figura 120. Estación transmisora "Autódromo"
 Imagen elaborada por el autor

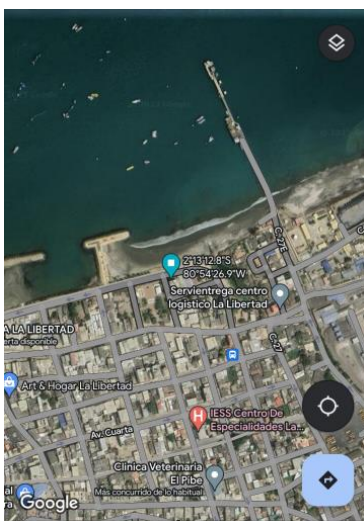


Figura 121. Coordenadas de la estación "La Libertad"
 Imagen elaborada por el autor



Figura 122. Coordenadas de la estación "NorEste"
 Imagen elaborada por el autor

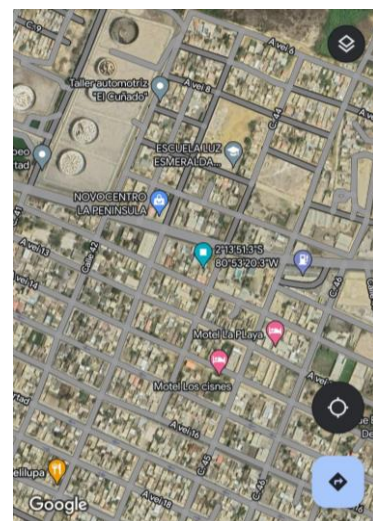


Figura 123. Coordenadas de la estación "Autódromo"
 Imagen elaborada por el autor

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] . J. D. Analuisa Muso, «Diseño de una red 4G Long Term Evolution (LTE) en redes móviles,» Ambato, 2014.
- [2] L. i. Quiñones, «Planificación y optimización de una red LTE con la herramienta Atoll,» Catalunya, 2016.
- [3] B. E. Solórzano Yagual, «Análisis de cobertura de una red de banda ancha móvil (LTE) para catón Chone mediante software Atoll,» Guayaquil, 2018.
- [4] A. R. Comes, F. B. Álvarez, F. C. Palacio, R. F. Ferre, J. P. Romero y O. S. Roig, LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles, Barcelona: Fundacion Vodafone, 2010.
- [5] S. Sesia, I. Toufik y M. Baker, LTE: The UMTS Long Term Evolution, Segunda edición ed., John Wiley & Sons Ltd, 2011, p. 794.
- [6] Anónimo, «Universal mobile telecommunications Systema (UMTS); LTE; Requirements for evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN),» vol. 8.0.0, p. 20, 2009.
- [7] Anónimo, Atoll: RF Planning & Optimisation Software, vol. 2.8.2, Forsk, 2016, p. 1390.
- [8] V. Buenestado García, «Optimización de la cobertura y la capacidad en redes LTE mediante procesado de eventos complejos,» UMA Editorial, Málaga, 2017.
- [9] M. Gorricho Moreno y J. L. Gorricho Moreno, Comunicaciones móviles, Edicions UPC, 2002.
- [10] E. d. E. e. C. y. Tecnología, «universidadviu,» 21 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g>.
- [11] S. Sahagun, «logicbus,» 21 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/blog/control-de-sistemas-gsm/#:~:text=En%20una%20red%20celular%2C%20cada,pueden%20usar%20la%20misma%20frecuencia..>
- [12] C. López Jurado, «Red GSM: qué es, 2G, para qué sirve y cómo funciona,» 31 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://es.ccm.net/aplicaciones-e-internet/museo-de-internet/enciclopedia/11304-que-es-la-red-gsm-y-como-funciona/>.
- [13] J. L. Valenzuela González, A. C. Ramón y O. S. Roig, Principios de comunicaciones móviles, Barcelona: UPC, 2003.
- [14] J. Korhonen, Introduction to 3G Mobile Communications., Segunda edición ed., Boston: Artech House, 2003.

- [15] B. Walke, M. Althoff y P. Seidenberg, UMTS: The fundamentals, Wiley Online Library, 2003.
- [16] E. M. Corvera Ventura, «Monografía sobre HSPA,» Soyapango, 2009.
- [17] C. E. Guinand Salas, «planificación de una red LTE con la herramienta atoll y análisis del impacto de las estrategias de packet scheduling,» Catalunya, 2012.
- [18] E. Dahlman , S. Parkvall, J. Skold y P. Beming, 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband, Segunda edición ed., San Diego: Academic Press, 2008.
- [19] A. P. Guevara Toledo y V. G. Vásquez Alarcón, «Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica,» Cuenca, 2013.
- [20] R. Hatoum, A. Hatoum, A. Ghaith y G. Pujolle, «QoS-based Joint Resource Allocation with Link Adaptation for SC-FDMA Uplink in Heterogeneous Networks,» 2014.
- [21] «¿Cuál es la diferencia entre FDD-LTE y TDD-LTE?,» 16 Julio 2021. [En línea]. Available: <http://es.fmuser.net/content/?8841.html>.
- [22] «telecomunicaciones.gob.ec,» [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/negociacion-de-espectro-radioelectrico-para-implementacion-de-tecnologia-4g-busca-que-beneficie-a-todos-los-ecuatorianos/>.
- [23] C. A. Serra Jimenez y F. R. Marante Rizo, «Arquitectura general del sistema LTE,» vol. 12, nº 2, p. 10, 2013.
- [24] Ipv6go, «E-UTRAN y EVOLVED PACKET CORE,» 2014. [En línea]. Available: http://www.ipv6go.net/lte/eutran_epc.php.
- [25] A. V. Gómez, «Toward to design of 5G Optical Communications,» Barcelona, 2017.
- [26] M. Carugi, «Key features and requirements of 5G/IMT-2020 networks,» Algeria, 2018.
- [27] G. D. Proaño Calderón, «Planificación, diseño e implementación de LTE-4G, bajo estándar LTE-FDD para Santo Domingo De Los Tsáchilas,» Quito, 2016.
- [28] P. R. Gómez Suárez, «Diseño de una red de cuarta generación LTE (long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P. provincia de Santa Elena,» La Libertad, 2013.
- [29] Anónimo, «ecured.cu,» [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_Santa_Elena_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_Santa_Elena_(Ecuador)). [Último acceso: 15 Abril 2023].
- [30] «bcexplorer.ec,» [En línea]. Available: <https://bcexplorer.ec/santa-elena/>.
- [31] «arcotel.gob.ec,» [En línea]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec/1-preguntas-generales/>.

- [32] D. C. Alvarez Paredes, «Diseño de una red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP,» Ibarra, 2014.
- [33] C. K. Logroño Llumiquinga, «Diseño de una red lte para la parroquia de Iñaquito utilizando la herramienta atoll,» Quito, 2014.
- [34] A. Pérez Gallosa, «Estudio del software Atoll como propuesta docente a la asignatura Sistemas de Radio I,» Santa Clara, 2013.
- [35] T. Janevski y K. Jakimoski, «Comparative Analysis of Packet Scheduling Schemes for HSDPA Cellular Networks,» *Telfor Journal*, vol. 1, n° 1, p. 4, 2009.
- [36] J. Muñoz Gualda, «Estudio de la arquitectura de protocolos de LTE,» Catalunya, 2016.
- [37] H. R. Meza Soria y L. F. Santin Diaz, «Estudio y diseño de una celda base de acceso inalámbrico con tecnología 4G LTE para el sector Iñaquito de la ciudad de Quito,» Quito, 2014.
- [38] V. A. Guanchan Morales y P. J. Cajias Castillo, «Estudio de factibilidad y diseño de una red LTE (Long Term Evolution) en la zona norte de Quito - Ecuador,» Quito, 2014.
- [39] L. A. López, «tot4blog,» 11 Julio 2013. [En línea]. Available: <http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>.

MUÑOZ RODRIGUEZ JAVIER

MAURICIO-PROYECTO DE TITULACION

2%
 Similitudes

2% Texto entre comillas
 < 1% similitudes entre comillas
1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: MUÑOZ RODRIGUEZ JAVIER
 MAURICIO-PROYECTO DE TITULACION.docx
 ID del documento: 83c828c03cd24725517eed532bcfae06160c13a
 Tamaño del documento original: 36,04 MB

Depositante: DANIEL ARMANDO JARAMILLO CHAMBA
 Fecha de depósito: 6/7/2023
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 6/7/2023

Número de palabras: 25.673
 Número de caracteres: 167.851

Ubicación de las similitudes en el documento:








Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 repositorio.upse.edu.ec Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena: ... https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/1571 9 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (114 palabras)
2	 localhost Análisis de cobertura de una red de banda ancha móvil (LTE) para cantón... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/10220/3/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-270.pdf.txt 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (125 palabras)
3	 repositorio.upse.edu.ec Diseño de una red de cuarta generación lte (long term evo... http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/bitstream/46000/1571/3/DISEÑO_DE_UNA_RED_DE_CUARTA_G... 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (96 palabras)
4	 repositorio.upse.edu.ec Análisis y diseño de infraestructura de comunicaciones pa... http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/bitstream/46000/3900/6/UPSE-TST-0001-2017.pdf.txt 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (84 palabras)
5	 localhost Autoevaluación de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la F... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/redug/16960/3/BFILO-TMPE-12M24.pdf.txt 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (75 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 Documento de otro usuario #793615 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (32 palabras)
2	 Documento de otro usuario #23654a El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (18 palabras)
3	 Documento de otro usuario #bdec71 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (16 palabras)
4	 Documento de otro usuario #560eb4 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (15 palabras)
5	 repositorio.upse.edu.ec Las destrezas con criterio de desempeño en la optimizació... http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/bitstream/46000/4247/6/UPSE-TEB-2017-0011.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (24 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

-  <https://es.ccm.net/aplicaciones-e-internet/museo-de-internet/enciclopedia/11304-que-es-la-red-gsm-y-como-funciona/>
-  <http://es.fmuser.net/content/78841.html>
-  <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/negociacion-de-espectro-radioelectrico-para-implementacion-de-tecnologia-4g-busca-que-beneficie-a-todos-los-ecuatorianos/>
-  http://www.ipv6go.net/lte/eutran_epc.php
-  [https://www.ecured.cu/Cantón_Santa_Elena_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Cantón_Santa_Elena_(Ecuador))