



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: ANÁLISIS DE PARÁMETROS (INITIAL TUNING) Y  
OPTIMIZACIÓN DE ESTACIONES BASE CELULARES EN  
ENTORNOS REALES EN REDES DE  
TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR: NORMA ELIZABETH BENALCAZAR ALVAREZ**

**DIRECTOR: ING. DARWIN ALULEMA MSc**

**SANGOLQUÍ**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certificó que el trabajo de titulación, “ANÁLISIS DE PARÁMETROS (INITIAL TUNING) Y OPTIMIZACIÓN DE ESTACIONES BASE CELULARES EN ENTORNOS REALES EN REDES DE TELECOMUNICACIONES”, realizado por la Sra. NORMA ELIZABETH BENALCAZAR ALVAREZ, ha sido revisado en su totalidad y analizado en el Software anti-plagio, el mismo cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la Sra. NORMA ELIZABETH BENALCAZAR ALVAREZ para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Febrero del 2017.



Ing. Darwin Alulema MSe.  
DIRECTOR.



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, NORMA ELIZABETH BENALCAZAR ALVAREZ, con cédula de identidad # 1721475497 declaro que este trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE PARÁMETROS (INITIAL TUNING) Y OPTIMIZACIÓN DE ESTACIONES BASE CELULARES EN ENTORNOS REALES EN REDES DE TELECOMUNICACIONES**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado derechos intelectuales de terceros, considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, Febrero del 2017.



Norma Elizabeth Benalcázar Alvarez.

C.C. 1721475497



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, NORMA ELIZABETH BENALCAZAR ALVAREZ, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca virtual de la Institución el presente trabajo de titulación “ANÁLISIS DE PARÁMETROS (INITIAL TUNING) Y OPTIMIZACIÓN DE ESTACIONES BASE CELULARES EN ENTORNOS REALES EN REDES DE TELECOMUNICACIONES”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Febrero del 2017.

Norma Elizabeth Benalcázar Alvarez.

C.C. 1721475497

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a...*

*A mi creador, quien ha sido mi fortaleza y soporte para continuar, gracias a él mi camino ha sido llevadero y he logrado cosechar grandes triunfos.*

*A mi mamita Ceci, la mujer que me dio la vida y la sigue dando día a día por mí, por sus su amor y paciencia desde que era una pequeña, por formarme con buenos sentimientos y valores y sobre todo por no soltar jamás mi mano.*

*A mi papito Fer, por luchar cada día de su vida por nosotros su familia, por enseñarme a luchar, perseverar y recordarme siempre lo valiosa, importante y capaz que soy. Porque es y será mi ejemplo de amar.*

*A mi hermano Esteban, mi primer amigo de vida y cómplice de juegos. Quien a pesar de las mil y un peleas ha sabido apoyarme, entenderme y amarme siempre.*

*A mí querido esposo Christian que ha sido mi motivación y soporte durante toda mi carrera, quien con su infinito amor ha sabido apoyarme, mi amigo y compañero inseparable, fuente de serenidad, paciencia y consejo en todo momento.*

*A mi amada familia; mis abuelitos papá Riguito, mamá Marthitha, papá Douglas y mamá Lolita; mis queridos tíos Douglas, Paola, Hugui, Mundy y Santy; mis primitos Mary, Huguito, Amira, Douglitas, Francis, José, Kiara, Santiaguito y Julián. Porque de una u otra forma siempre han estado muy pendientes de mí.*

*Mis entrañables amigos, con quienes he reído y llorado; Miguel Jaramillo, Diego Pozo, Patricio Jácome, Reims Lanchimba, Denisse Torres, Julia Lozada.*

*Norma Elizabeth Benalcázar Alvarez*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a...*

*Dios mi creador por cubrir de bendiciones mi vida y permitirme estar en el lugar en el que él desea. Por darme las fuerzas necesarias para superar los inconvenientes que se presentaron durante los años de estudios.*

*A mis padres, por brindarme todos los recursos necesarios para alcanzar cada una de mis metas, por respetar mis decisiones y apoyar siempre mis ideas.*

*A mi hermano por, por su compañía hoy y siempre. Porque hasta el día de hoy siempre has estado dispuesto a colaborar en lo que he necesitado.*

*A mi esposo por su comprensión y paciencia que me permitieron alcanzar el día de hoy una de mis metas, por luchar de mi mano en busca de nuestros anhelos y deseos.*

*A mis profesores, por el gran esfuerzo que hicieron para que sus conocimientos hoy sean también los míos. El día de hoy más que mis profesores son mis amigos.*

*A mi director de tesis, Ing. Darwin Alulema, por extender su mano de ayuda y soporte, por su tiempo y dedicación.*

*Norma Elizabeth Benalcázar Alvarez*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Antecedentes.....	1
1.2    Justificación e Importancia.....	3
1.3    Objetivos.....	5
1.3.1    General .....	5
1.3.2    Específicos .....	5
1.4    Alcance del proyecto. ....	6
1.5    Estado del Arte. ....	8
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1.    Evolución de las redes de telecomunicaciones móviles .....	11
.....	11
Fuente: (Cruz, 2004).....	12
2.2.    Arquitectura de red UMTS .....	12
2.2.1.    Equipo de usuario (UE) .....	13
2.2.2.    Red central de la arquitectura UMTS (CN) .....	14
2.2.3.    Red de acceso de radio terrestre (UTRAN) .....	16
2.2.3.1.    Radio Network Controller (RNC).....	17
2.2.3.2.    Nodo B .....	17

2.3.	Arquitectura de protocolos del interfaz radio en una red UMTS .....	17
2.4.	Canales físicos, lógicos y de transporte de una red UMTS.....	19
2.4.1.	Canales físicos .....	19
2.4.2.	Canales lógicos .....	20
2.4.3.	Canales de transporte .....	21
2.5.	Conceptos generales y elementos de la de telefonía celular.....	22
2.5.1.	Celdas celulares .....	22
2.5.1.1.	Tipos de celdas celulares.....	23
2.5.2.	Cluster o racimo.....	24
2.5.3.	Cobertura celular.....	25
2.5.4.	Capacidad celular.....	26
2.5.5.	Trafico en una red celular .....	26
2.5.6.	Interferencia Co-canal.....	27
2.6.	Proceso de Initial Tuning.....	28
2.6.1.	Propósito del Tuning Inicial .....	28
2.6.2.	Tipos de estaciones celulares incluidas en el proceso de Initial Tuning .	29
2.6.3.	Drive test.....	29
2.6.3.1.	Parámetros UMTS relevantes en las mediciones de drive test .....	30
2.6.3.1.1.	Received signal code power “RSCP”.....	30
2.6.3.1.2.	Chip Energy over Noise “Ec/Io”.....	31
2.6.3.1.3.	Scrambling Code (SC).....	31
2.6.3.1.4.	Block Error Ratio “BLER DL” .....	32
2.6.3.1.5.	RLC Throughput DL .....	32
2.6.3.1.6.	Channel Quality Indicator “CQI”.....	34
2.6.3.1.7.	HSDPA/HSPA+ Throughput. ....	35
2.6.3.1.8.	HSUPA Throughput .....	36
2.6.3.1.9.	Ping Round Trip Time (RTT).....	37
2.6.4.	Optimización de redes celulares. ....	38
2.6.4.1.	Optimización física de una estación base celular.....	39
2.6.4.2.	Optimización lógica del nuevo nodo.....	41
2.6.5.	Indicadores de desempeño de la red celular. ....	42
2.6.5.1.	Call Success Rate – Tasa de llamadas exitosas.....	42

2.6.5.2.	Call Drop Rate – Tasa de llamadas caídas .....	43
3.1.1.	Soft Handover (SHO) Success Rate – Tasa de Soft Handover exitosos .	43
<b>PROTOCOLO DE INITIAL TUNING Y OPTIMIZACIÓN DE ESTACIONES</b>		
<b>BASE CELULARES UMTS. ....</b>		<b>45</b>
3.1.	Afinamiento inicial para el Initial Tuning .....	45
3.1.1.	Drive test.....	45
3.1.2.	Configuración inicial de las celdas. ....	46
3.1.3.	Definición de la ruta de evaluación. ....	48
3.2.	Evaluación Inicial - Drive test después de la integración de la nueva estación base celular. ....	49
3.3.	Optimización de la estación base celular.....	50
3.4.	.Evaluación de verificación - Drive test después de la optimización de la nueva estación base celular. ....	51
3.5.	Pruebas en puntos estáticos. ....	52
3.6.	Pruebas de Single Site Verification (SSV). ....	52
3.6.1.	Preparativos para la prueba de Single Site Verification (SSV). ....	53
3.6.2.	Proceso del Single Site Verification (SSV). ....	54
3.7.	Zonas de exclusión, predicciones y análisis de cobertura .....	55
3.8.	Resumen de indicadores estadísticos.....	57
<b>INITIAL TUNING Y OPTIMIZACIÓN EN LA ESTACIÓN BASE CELULAR</b>		
<b>ESMERALDAS_PARAISO .....</b>		<b>58</b>
4.1.	Definición de la estación base celular ESMEALDAS_PARAISO. ....	58
4.2.	Drive test - Afinamiento inicial para el initial tuning.....	59
4.2.1.	Configuración inicial de las celdas. ....	59
4.2.2.	Configuración de los equipos utilizados en el proceso de Initial Tuning.	60
4.2.3.	Definición de la ruta de evaluación. ....	61
4.3.	Drive test después de la integración del nodo ESMEALDASPARAISO. ....	62
4.3.1.	RSCP obtenido de la llamada larga. ....	62
4.3.2.	Ec/Io obtenido de la llamada larga. ....	63
4.3.3.	Scrambling Code (SC) obtenido por el escáner del mejor servidor. ....	65
4.4.	Análisis inicial del drive test preliminar.....	66
4.5.	Optimización física del nuevo nodo .....	70

4.6.	Drive test después de la optimización física del nodo ESME_PARAISO..	71
4.6.1.	RSCP obtenido de la llamada larga. ....	72
4.6.2.	Ec/Io obtenido de la llamada larga. ....	74
4.6.3.	Scrambling Code (SC) obtenido por el escáner del mejor servidor. ....	76
4.6.4.	BLER DL.....	78
4.6.5.	RLC Throughput DL .....	79
4.6.6.	CQI.....	80
4.7.	Pruebas en puntos estáticos. ....	81
4.7.1.	PS Release99 Throughput.....	82
4.7.2.	HSDPA/HSPA+ Throughput en pruebas estáticas .....	83
4.7.3.	HSUPA Throughput .....	84
4.7.4.	Ping Round Trip Time (RTT).....	85
4.8.	Pruebas de SSV .....	86
4.9.	Zonas de exclusión, predicciones y análisis de cobertura .....	89
4.10.	Resumen de indicadores estadísticos .....	90
4.11.	Análisis de resultados .....	92
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>96</b>
5.1.	Conclusiones.....	96
5.2.	Recomendaciones .....	98
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>100</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Evolución de las redes de comunicaciones móviles. ....	11
Tabla 2 Descripción general de los canales de una red UMTS.....	19
Tabla 3 Descripción de canales físicos que llevan un canal de transporte.....	20
Tabla 4 Descripción de canales físicos requeridos para operación del sistema.....	20
Tabla 5 Descripción de canales de control.....	21
Tabla 6 Descripción de canales de tráfico.....	21
Tabla 7 Descripción de canales comunes.....	21
Tabla 8 Descripción de canales dedicados.....	22
Tabla 9 Características de entorno celular .....	24
Tabla 10 Rango de mediciones de RSCP.....	31
Tabla 11 Rango de mediciones de Ec/Io.....	31
Tabla 12 Rango de mediciones de RLC Throughput DL .....	33
Tabla 13 Categorización de mediciones de CQI.....	35
Tabla 14 Velocidad de datos HSDPA.....	36
Tabla 15 Velocidad de datos HSUPA.....	37
Tabla 16 Base de datos con la configuración de las radiobases Corporación Nacional de Telecomunicaciones.....	53
Tabla 17 Preparativos para la prueba SSV.....	49
Tabla 18 Proceso del SSV.....	55
Tabla 19 Verificación de servicios de datos .....	58
Tabla 20 Ubicación de la estación ESMERALDAS_PARAISO.....	60
Tabla 21 Configuración inicial de las celdas .....	60
Tabla 22 Configuración de los equipos.....	62
Tabla 23 Resultados de niveles de RSCP tomados por la llamada larga. ....	64
Tabla 24 Resultados de niveles de Ec/Io tomados por la llamada larga. ....	66
Tabla 25 Identificación de Celdas por Scrambling Code.....	70
Tabla 26 Optimización física. ....	74
Tabla 27 Resultados de niveles de RSCP tomados por el MS1.....	76
Tabla 28 Resultados de niveles de Ec/Io tomados por el MS1 .....	77

Tabla 29 Resultados del Scrambling Code .....	78
Tabla 30 Resultados de las mediciones de BLER.....	80
Tabla 31 Resultados de las mediciones de RLC throughput DL. ....	80
Tabla 32 Resultados de RLC throughput DL.....	81
Tabla 33 Resultado de las mediciones de CQI.....	82
Tabla 34 Puntos estáticos evaluados.....	83
Tabla 35 RLC Throughput DL.....	84
Tabla 36 Resultado de las mediciones de HSDPA/HSPA+ Throughput en el punto estático. ....	85
Tabla 37 Resultado de las mediciones de HSUPA throughput en el punto estático..	86
Tabla 38 Resultado de las mediciones de ping RTT en el punto estático.....	91
Tabla 39 Resultados de call success rate.....	91
Tabla 40 Resultados de call drop rate .....	91
Tabla 41 Estadísticas de soft handover .....	92
Tabla 42 Parámetros finales de calidad y cobertura del nodo ESMEPARAISO.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de la red UMTS. ....	12
Figura 2. Etapas de la Arquitectura de la red UMTS. ....	13
Figura 3. User Equipment (UE). ....	14
Figura 4. Central Network (CN). ....	15
Figura 5. Red de acceso de radio terrestre (UTRAN). ....	16
Figura 6. Arquitectura de Protocolos del Interfaz Radio. ....	18
Figura 7. Canales de una red UMTS. ....	19
Figura 8. Celda o Célula. ....	22
Figura 9. Cluster de células. ....	25
Figura 10. Medición de Throughput DL en FTP. ....	34
Figura 11. Cálculo de Ping RTT. ....	38
Figura 12. Actividades de optimización de redes celulares. ....	39
Figura 13. Inclinación o downtilt. ....	40
Figura 14. Tilt mecánico y eléctrico. ....	40
Figura 15. Optimizaciones físicas de una red. ....	41
Figura 16. Soft handover. ....	44
Figura 17. Definición del polígono de evaluación en Google Earth. ....	49
Figura 18. Ventana Serving/Active set and neighboring cells. ....	50
Figura 19. RLC Throughput Genex Probe. ....	52
Figura 20. Predicción de cobertura Genex-Unet. ....	56
Figura 21. Ruta de evaluación para drive test. ....	61
Figura 22. Niveles de RSCP obtenido en la llamada larga. ....	63
Figura 23. Niveles de Ec/Io obtenido en la llamada larga. ....	64
Figura 24. Scrambling Code obtenido por el scanner. ....	65
Figura 25. Ventana Serving/Active Set and Neighboring cells: MS1. ....	67
Figura 26. Niveles de RSCP del nodo ESMERALDAS_GATAZO3 ....	67
Figura 27. Ventana Serving/Active Set and Neighboring cells: MS1. ....	67

Figura 28. Niveles de RSCP del nodo ESMERALDAS_3_REFINERIA3. ....	68
Figura 29. Niveles de RSCP del nodo ESMERALDAS_PARAISO2. ....	69
Figura 30. Niveles de RSCP del nodo ESMERALDAS_PARAISO3. ....	70
Figura 31. Ruta de prueba del drive test en Google Earth. ....	71
Figura 32. Ruta de prueba del drive test. ....	72
Figura 33. Niveles de RSCP - Drive test después de la integración del nodo .....	73
Figura 34. Niveles de RSCP - Drive test después de la optimización física.....	73
Figura 35. Niveles de RSCP tomados por el MS1 (Llamada Larga). ....	74
Figura 36. Niveles de Ec/Io - Drive test después de la integración del nodo. ....	75
Figura 37. Niveles de Ec/Io - Drive test después de la optimización física.....	75
Figura 38. Niveles de Ec/Io tomados por el UE1 (Llamada Larga).....	76
Figura 39. Scrambling Code detectado por el escáner. ....	77
Figura 40. Mediciones de BLER tomados por el UE1 (Llamada Larga).....	78
Figura 41. Mediciones de RLC Throughput DL del Módem. ....	79
Figura 42. Niveles de CQI tomada por el MS3 (datos).....	81
Figura 43. Ubicación Geográfica del Punto Estático (SP). ....	82
Figura 44. PS R99 RLC Throughput DL. ....	83
Figura 45. HSDPA/HSPA+ RLC Throughput DL.....	84
Figura 46. HSUPA RLC Throughput UL. ....	85
Figura 47. Round Trip Time (RTT). ....	86
Figura 48. HSDPA/HSPA+ Throughput DL ESME_PARAISO1.....	87
Figura 49. HSUPA RLC Throughput UL ESME_PARAISO1 .....	87
Figura 50. HSDPA/HSPA+ Throughput DL ESME_PARAISO2.....	88
Figura 51. HSUPA RLC Throughput UL ESME_PARAISO2. ....	88
Figura 52. HSDPA/HSPA+ Throughput DL ESME_PARAISO3.....	89
Figura 53. HSUPA RLC Throughput UL ESME_PARAISO3. ....	89
Figura 54. Predicción de la estación base celular ESME_PARAISO.....	90
Figura 55. Distribución de la cobertura del nodo ESME_PARAISO. ....	93
Figura 56. Mediciones de RSCP en zona evaluada. ....	94
Figura 57. Perfil topográfico en la zona de exclusión con respecto al nodo ESME_PARAISO. ....	94

Figura 58. Perfil topográfico en la zona de exclusión con respecto al nodo

ESMERALDAS\_3\_REFINERIA..... 95

## RESUMEN

El presente proyecto es un análisis de parámetros (initial tuning) y optimización de estaciones base celulares en entornos reales en redes de telecomunicaciones. Se ha desarrollado una investigación propia del diseño y la creación de la metodología del proceso de initial tuning en cada una de sus etapas. Definiendo diez fases dentro proceso de initial tuning que son: afinamiento inicial, configuración de equipos, drive test después de la integración del nodo, análisis inicial del drive test preliminar, optimización física del nuevo nodo, drive test después de la optimización del nodo, pruebas en puntos estáticos, pruebas de SSV, zonas de exclusión, predicciones y análisis de cobertura, resumen de indicadores estadísticos. Dicho proceso se ha implementado en la estación base celular Esmeraldas Paraiso, nodo que fue instalado en una zona de alto tráfico en el barrio El Paraiso de la ciudad de Esmeraldas, en el cual se realizaron evaluaciones al servicio de voz y datos mediante llamadas, carga y descarga de paquetes de datos. La optimización física y lógica en las antenas de la estación ha permitido generar mejoras en el estado de la red con tecnología UMTS. Los niveles de cobertura y calidad evaluados como RSCP, Ec/Io, Throughput DL y UL, CQI, entre otros, garantizan el servicio de la operadora en la estación ESME\_PARAISO.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **INITIAL TUNING**
- **UMTS**
- **CALIDAD**
- **COBERTURA**
- **OPTIMIZACIÓN**

## **ABSTRACT**

The present project is an analysis of parameters (initial tuning) and optimization of cellular base stations in real environments in telecommunications networks. It has developed its own investigation of the design and creation of the methodology of the initial tuning process in each of its stages. Defining ten phases within initial tuning process are: initial tuning, equipment configuration, drive test after node integration, preliminary analysis of the preliminary drive test, physical optimization of the new node, drive test after node optimization, tests in static points, SSV tests, exclusion zones, predictions and coverage analysis, summary of statistical indicators. This process has been implemented in the cellular base station Esmeraldas Paraiso, a node that was installed in a high-traffic area in the El Paraiso neighborhood of Esmeraldas city, where evaluations were made to the voice and data service through calls, and downloading of data packets. The physical and logical optimization in the antennas of the station has allowed to generate improvements in the state of the network with technology UMTS. The levels of coverage and quality evaluated as RSCP, Ec / Io, Throughput DL and UL, CQI, among others, guarantee the service of the operator in the station ESME\_PARAISO.

### **KEYWORDS:**

- **INITIAL TUNING**
- **UMTS**
- **QUALITY**
- **COVERAGE**
- **OPTIMIZATION**

## **CAPÍTULO 1**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

En el Ecuador, la estructura en el sector de las telecomunicaciones ha tenido cambios importantes en los últimos años, tanto en las empresas proveedoras de servicios, como en las instituciones de política sectorial y regulación. Cabe recalcar que la telefonía móvil ha tenido un crecimiento promedio anual entre el 2007 y 2015 del 38%.

El servicio de telefonía móvil en Ecuador, es ofrecido por 3 empresas, OTECEL, CONECEL y CNT EP que han tenido un crecimiento muy marcado. Estas operadoras de telefonía celular se desenvuelven en un ambiente altamente competitivo donde cada una de ellas busca brindar más y nuevos servicios, siendo su principal objetivo el mantener comunicados a los usuarios en cualquier lugar y en todo momento. (Agarwal, 2015 )

Hoy en día, el Gobierno Nacional, dentro del Plan Nacional del Buen Vivir menciona la Política No 2.7: “Promover el acceso a la información y a las nuevas tecnologías de la información y comunicación para incorporar a la población a la sociedad de la información y fortalecer el ejercicio de la ciudadanía”. Dicha política busca fomentar la integración de la sociedad y las tecnologías de información y comunicación, obligando a que las telecomunicaciones en el Ecuador estén a la par con la evolución, estableciendo políticas claras, elaborando planes, proyectos y acciones concretas que permitan fortalecer a los sectores existentes, desarrollar otros, especialmente en las áreas marginadas con el objeto de mejorar la calidad de vida de nuestros habitantes y garantizar un desarrollo armónico de la sociedad. (Valero, 2008)

De igual manera, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, señala dentro del Título III “Derechos y Obligaciones”, Capítulo II “Prestadores de Servicios de Telecomunicaciones”, Artículo 24. ”Obligaciones de los prestadores de servicios de telecomunicaciones - Prestar el servicio de forma obligatoria, general, uniforme, eficiente, continua, regular, accesible y responsable, cumpliendo las regulaciones que dicte la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones y lo establecido en los títulos habilitantes.” Mismo que busca controlar, exigir y garantizar a los prestadores de servicios contratados, el cumplimiento de los parámetros de calidad, viabilizando la conformación de la Sociedad de la Información y del Conocimiento. (Arroyo, 2015)

La necesidad de certificar su rendimiento y reflejar la calidad de servicio al usuario, ha provocado que las operadoras busquen mecanismos que ayuden a determinar la operatividad de sus estaciones de telefonía. Actualmente se investigan diferentes procesos de evaluación previa a la puesta al aire de los nodos correspondientes a la red.

Dentro de estos estudios se encuentra las evaluaciones de ”Initial Tuning”; mismas que comprenden pruebas de drive test y análisis de parámetros de cobertura y calidad, estudio de los criterios para desarrollar cambios físicos y lógicos en las antenas de interés, optimización de la red, observación de indicadores de desempeño de comportamiento necesarios para la puesta a punto de una estación celular nueva en la red, enfocada en la consecución de los objetivos de diseño de la misma sin afectar el entorno de red y garantizando la mejor calidad al cliente. (Cedeño, 2015)

En la actualidad se encuentran desarrollados trabajos investigativos por parte de empresas como Huawei y ZTE referentes a análisis específicos de nodos celulares en funcionamiento denominados *Single Site Verification* (SSV). Estos estudios y pruebas son parte de la optimización de una red WCDMA, que permiten garantizar funciones básicas de estaciones celulares normales, tales como el acceso de llamada, calidad de la llamada, etc. (Valencia, 2010)

Cabe recalcar que todos estos estudios han sido desarrollados para buscar soluciones y mejoramiento en transmisiones que ya se encuentran al aire. Sin embargo hoy en día las operadoras buscan metodologías y procesos que les permita actuar sobre una estación celular antes de que la misma sea puesta en funcionamiento.

El diagnóstico correcto de la red permite que un operador de telefonía móvil pueda tomar correctivas adecuadas y/o acciones preventivas y alinear los esfuerzos para alcanzar una meta establecida. Para obtener resultados que reflejen el estado real de la red, se estudian y analizan parámetros significativos que identifican problemas que impiden el buen funcionamiento de las celdas. (León, 2010)

## **1.2 Justificación e Importancia**

Conscientes de la necesidad de mejorar y garantizar el servicio de las telecomunicaciones, día a día la ciencia desarrolla procesos y mecanismos que permiten captar, analizar y renovar la señal brindada por cada una de las operadoras. Estudios elaborados por expertos en el área de radio frecuencia han encontrado procesos de obtención de mediciones de RF muy acertadas.

Inicialmente se han establecido pruebas que deben ser realizadas en los sistemas de radio frecuencia y transmisiones en estaciones nuevas, marcadas por el aumento de la capacidad de transmisión de datos y el número de usuarios. Sin embargo, con el constante crecimiento de las redes, nos hemos visto obligados a buscar nuevos y mejores mecanismos que permitan evaluar la calidad de servicio generado por las operadoras de telefonía móvil.

Mediante el presente estudio se pretende investigar, determinar y establecer un proceso completo de Initial Tuning con el fin de diseñar una metodología clara y precisa que evalúe y cubra todos los patrones necesarios para garantizar un servicio de calidad con altos niveles de cobertura en una estación base celular previo a su lanzamiento al aire.

Al generar este proceso estructurado, con base en la investigación y el estudio de la telefonía móvil de la mano con la radio frecuencia, se podrá definir y estandarizar la manera más eficiente y correcta para optimizar una red móvil obteniendo excelentes resultados frente a los objetivos propuestos. Mediante este estudio se logrará indagar de forma profunda los conceptos y parámetros que envuelven las redes de telecomunicaciones reales, así como establecer rangos de mediciones tolerables que definan resultados aceptables ante la puesta al aire de una nueva estación celular.

La presente investigación brindará nuevas perspectivas para que empresas operadoras mejoren sus procesos buscando estar a la vanguardia de los avances tecnológicos y brindando servicios de calidad. Como se ha mencionado anteriormente, existen grandes empresas orientadas a las telecomunicaciones como Huawei y ZTE, mismos que día a día ponen todos sus esfuerzos en estudios de procesos buscando generar mejores y nuevos servicios.

Cabe agregar que los abonados, clientes y usuarios de estos servicios de telecomunicaciones siempre tendrán derecho a disponer y recibir los servicios de telecomunicaciones contratados de forma continua, regular, eficiente, con calidad y eficacia, así como a exigir a los prestadores de los servicios contratados, el cumplimiento de los parámetros de calidad aplicables.

Con la finalidad de ofrecer a la ciencia y quien le sea de utilidad este proceso, se ha propuesto la presente investigación, ya que hoy en día no es un lujo disponer de servicios de telefonía móvil, pensando que la calidad de vida del ser humano marca el desarrollo de la sociedad.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

- Analizar los parámetros de Initial Tuning y optimización para garantizar el correcto desempeño eficiente de estaciones celulares en entornos reales mediante la elaboración de una metodología estandarizada.

### **1.3.2 Específicos**

- Realizar estudio del estado del arte sobre el proceso Initial Tuning que permita obtener las bases necesarias para conocer los parámetros que van a influir en el desarrollo.
- Realizar estudio del estado del arte de cada una de las etapas que comprende el proceso de Initial Tuning.
- Diseñar, establecer y crear una metodología concreta del proceso Initial Tuning.
- Desarrollar el Initial Tuning y optimización en la estación base celular ESMERALDAS PARAISO mediante la recolección de información del comportamiento de dicho nodo.
- Ejecutar el drive test inicial en la zona de interés de la red evaluada.
- Proponer cambios físicos y lógicos necesarios para la etapa de optimización de la red evaluada.
- Ejecutar el drive test final en la zona de interés de la red evaluada.
- Obtener datos estadísticos de calidad y cobertura de las pruebas realizadas.
- Verificar el cumplimiento de los parámetros de calidad y desempeño de la estación celular.
- Determinar y recomendar posibles soluciones que ayuden a mejorar la calidad de señal de telefonía móvil.

#### 1.4 Alcance del proyecto.

El presente trabajo abordó una investigación detallada del proceso denominado Initial Tuning y optimización en redes móviles para tecnología UMTS, con el objetivo de estudiar a profundizar cada uno de los aspectos, procedimientos y parámetros necesarios para garantizar el óptimo desempeño de una estación celular antes de su puesta al aire.

Cada uno de los puntos de esta investigación nos permitió diseñar y crear una metodología clara y precisa del proceso de Initial Tuning, la cual establece la dirección o el camino a seguir en futuros procesos de Initial Tuning, todo esto como un aporte para mejorar el servicio de las operadoras telefónicas y al estudio de las telecomunicaciones.

Como se mencionó, el proceso de Initial Tuning y la optimización se lo debe realizó inmediatamente después de la instalación de una estación celular, para permitir detectar problemas o corregir errores que se pudieron presentar al momento de entrar en servicio, además de asegurar que la nueva estación tuviese un impacto positivo en la red y que no degrade el servicio.

Para desarrollar este trabajo, se afrontó el estudio del arte del proceso de Initial Tuning en sus diferentes fases; que conforman la preparación y evaluación inicial de los nodos a investigar, las pruebas de *single site verification* y drive test iniciales, el proceso de optimización y ajuste de parámetros físicos y lógicos de las estaciones base, la segunda ronda de drive test y finalmente el análisis de los indicadores clave de rendimiento de la red (KPI). (Jaramillo, 2014)

En la preparación y evaluación inicial de los nodos, se definió la información y los parámetros de la red recomendados para iniciar el estudio. Dentro de esta fase también se investigaron zonas geográficas y su relación con la transmisión e interferencias de señal. Se examinaron los criterios para precisar rutas de drive test y se establecieron los objetivos de los ajustes que requieren de manera general las estaciones base. (Pazmiño, 2014)

Para las pruebas de *single site verification* y drive test iniciales, se detalló el tipo de pruebas a realizarse según los requerimientos emitidos durante la evaluación inicial, las mediciones que se debieron recopilar en campo, los equipos de hardware y software indicados para la recepción de la señal, etc.

Fue de vital importancia desarrollar un procedimiento de manejo del software (GENEX Probe) empleado para las pruebas requeridas.

Además se buscó y definió la mejor manera para realizar el análisis de la señal emitida por la operadora, misma que fue obtenida durante el drive test inicial en las zonas de interés una vez que fue instalada la estación.

Este análisis ayudó en el progreso de la fase de optimización y ajuste de parámetros físicos y lógicos de los nodos existentes en la población, considerando aspectos fundamentales que se tomaron en cuenta al momento de optimizar la red, tales como: la orientación, potencias, y ubicación de antenas, estudiadas mediante las mediciones efectuadas en el software de drive test. (Herrera, 2011)

Una vez estudiados los métodos para generar cambios físicos y lógicos, mismos que debieron ser implementados en cada una de las estaciones celulares analizadas, se desarrolló una segunda ronda de drive test, para conocer el comportamiento de la nueva estación con los nodos aledaños y con la red, concluyendo con una más de las fases de este proceso. (Trejo, 2010)

Para finalizar el Initial Tuning se procesó y analizó los parámetros de interés definidos inicialmente (RSCP, EC/IO, etc), mensajería y las estadísticas de los indicadores de rendimiento “KPI’s”, todo esto con la finalidad de que esta metodología permitiera garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados por las operadoras durante el diseño de la nueva estación. (Ecuador, 2015)

Todas estas etapas fueron de gran ayuda para visualizar de manera estratégica la investigación de un óptimo proceso de Initial Tuning.

Como complemento y soporte de prueba de la teoría estudiada y la metodología establecida, al finalizar la investigación de este proceso se llevó a cabo un trabajo práctico en el cual se pudo verificar los procedimientos establecidos en cada una de las fases del Initial Tuning y optimización en redes móviles para tecnología UMTS. Para esto se desarrolló dicho proceso en la estación base celular Esmeraldas\_Paraiso, misma que fue instalada en una zona de alto tráfico en el barrio El Paraiso de la ciudad de Esmeraldas. Cabe agregar que la infraestructura de la estación celular Esmeraldas\_Paraiso fue implementada dentro de la red constituida por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.

Para el desarrollo de las pruebas complementarias, se contó con todos los equipos necesarios, proporcionados por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP; esto incluye, software de muestreo (GENEX Probe, GENEX Assistant), scanners (antena RF, GPS), teléfonos de ingeniería, modem, sim cards activas, laptop, cables y hub de usb, los mismos que nos permitieron recolectar datos de parámetros en las áreas de nuestro interés.

### **1.5 Estado del Arte.**

Con la crecida competencia en el mundo de las telecomunicaciones y el levantamiento de nuevas tecnologías y servicios, los operadores están forzadas a ofrecer a los usuarios servicios sólidos y competitivos tratando de conservar sus posiciones de liderazgo en la industria.

Hoy en día Huawei ofrece la evolución SingleRAN y las soluciones de evolución convergente GSM / UMTS / LTE para satisfacer las necesidades de los operadores en la evolución de la red hacia redes UMTS / LTE. Con la evolución de la plataforma y la actualización de la versión, Huawei ayuda a los operadores a construir rápidamente las redes UMTS / LTE, reducir al máximo los costes de construcción de la red y construir redes convergentes, basadas en banda ancha, inteligentes y orientadas al futuro. Actualmente Huawei basa sus estudios del área de Radiofrecuencia en

proyectos de modernización y optimización de la red, proyectos de SFT (Single Cell Function Test), Trouble Tickets (pruebas en zonas específicas reportadas con quejas), etc. (Huawei, 2015)

Desde el año 2015, la Amity University de Noida - India, desarrolla estudios para Ericsson Global India Pvt. Ltd. Dichos estudios denominados “Initial Tuning Methodology of LTE Network” y “Robust Physical Optimization for LTE Network” se establecen en base a nuevas propuestas del proceso de Initial Tuning específicamente para redes LTE, más conocido como LTE RAN tuning. Los trabajos mencionados intentan analizar parámetros propios y nuevos en la tecnología 4G. (Insights, 2014 )

La empresa WRAY CASTLE LIMITED dedicada a la capacitación empresarial en el mundo de las telecomunicaciones, se encuentra desarrollando estudios de “LTE Parameters and Tuning”. Sus esfuerzos se sustentan en el deseo de obtener mayor información en el campo LTE. Sus propuestas muestran análisis de su arquitectura, funcionamiento, protocolos, parámetros que le permitan elaborar un proceso de Initial tuning confiable y seguro. (Castle, 2016)

La Universidad Politécnica Salesiana, despliega el estudio denominado “Automatización de herramientas de post procesamiento de la información de Drive-test que permitan determinar los parámetros de QoS de las redes GSM/GPRS/EDGE/UMTS de los sistemas móviles avanzados”, el mismo que percibe de forma general la estructura, arquitectura, servicios de la red fija y móvil, detallando sus funcionalidades así como la evolución de la telefonía móvil. (Cueva C. , 2010)

En la Universidad Superior Politécnica de Chimborazo, se elabora la investigación “Análisis de las Mediciones de Drive Test Realizadas por la SUPERTEL en la Red de Servicio Móvil de la Ciudad de Riobamba para Proponer Mejoras en los Niveles de Cobertura y Calidad de Servicio” , el cual se enfoca en la exploración de las medidas de drive test elaboradas por la Superintendencia de Telecomunicaciones en el sistemas de red móvil de Riobamba para exponer adelantos en los niveles de cobertura y calidad

de prestación que favorecerá a los usuarios, empleando métodos analíticos. (Orozco, 2016)

La Universidad Católica de Colombia, ha dedicado tiempo en la investigación “Estudio de Campo para hacer el análisis de variables de potencia, calidad y velocidad del comportamiento de la red móvil LTE”, basada en la recolección de datos manejando de la técnica drive test en la red LTE de la ciudad de Bogotá, enfocada en variables como potencia, calidad y velocidad, planteando progresos de servicio con un constante incremento de usuarios. (Guerra, 2016)

La Pontificia Universidad Católica del Ecuador, presenta el estudio nominado “Estudio y propuesta de medición de parámetros de calidad del servicio de datos en las redes SMA, utilizando equipos de drive test existentes en el mercado”. Dicho trabajo expone la necesidad de establecer los parámetros necesarios para la valoración de la calidad del servicio de datos en redes SMA (Servicio Móvil Avanzado), usualmente destacado como servicio de datos en telefonía celular. Toda esta investigación se basa en operaciones de evaluación con implementos de medición en puntos estáticos o en ensayos en movimiento (drive test). (Troya, 2016)

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1.Evolución de las redes de telecomunicaciones móviles

La evolución de las redes de telecomunicaciones se ha desarrollado durante varias décadas, cada una de ellas buscando el crecimiento tecnológico y el aporte a la humanidad. A continuación, en la Tabla 1, se detallan las etapas de la evolución de las redes de comunicaciones móviles. (Cruz, 2004)

Tabla 1:

Evolución de las redes de comunicaciones móviles.

	Año de creación	Tecnología	Características	Velocidad	Modulación	Estándares
<b>Primera Generación: 1G</b>	1970 - 1980	Analógica	Únicamente para servicio de voz con muy mala calidad de los enlaces.	-	FDMA	AMPS, TACS y NMT
<b>Segunda Generación: 2G</b>	1990	Digital	Soportan velocidades más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos, inicia la mensajería SMS.			
<b>Generación 2.5: 2.5G</b>	1997	Digital	Mejoran las tasas de transferencia de datos permitiendo transmitir datos y voz paralelamente.	32 kbps	GMSK	GPRS, HSCSD, EDGE, IS-136B, IS-95B.



<b>Tercera Generación: 3G</b>	2000	Digital Banda Ancha	Convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet y aplicaciones multimedia.	384 kbps a 2 Mbps	QPSK, BPSK	UMTS, cdma2000, IMT-2000, ARIB, UWC-136.
<b>Cuarta Generación: 4G</b>	2011	Digital banda ancha multimedia	Altas velocidades de acceso, servicios de televisión móvil, web 2.0, videoconferencias y demás	100 Mbps -1 Gbps	QPSK, 16QAM, 64QAM	LTE, LTE-A
<b>Quinta Generación: 5G</b>	2020	Digital banda ancha	Mayor capacidad de transmisión de datos, ser más rápidas, mayor eficiencia de energía y ser menos costosas	10Gbps	NOMA, FBMC, Zero-tail DFT-S-OFDM, SCMA, UFOFDM	LTE-Advance, LTE-B, LTE-C

**Fuente: (Cruz, 2004)**

## 2.2.Arquitectura de red UMTS

La red UMTS presenta una arquitectura basada en el UE o equipo de usuario, UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y la CN (Core Network) o Red Central, como se muestra en la Figura 1. (Hanzo, 2008 )

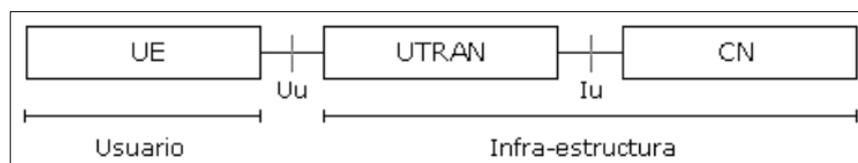


Figura 1. Arquitectura de la red UMTS.

Fuente: (García, 2012)

La UE (User Equipment), es el terminal móvil .Su módulo de identidad de servicios o USIM es el semejante al SIM card en los terminales GSM.

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) o red de acceso de radio UMTS. Está conformada por uno o varios nodos y RNC's (*Radio Network Controller*) los cuales se encargan de procesar todas las funciones relacionadas con los accesos de radio desde la UE hasta el RNC. (García, 2012)

CN (Core Network) o núcleo de red, se encarga de procesar los requerimientos de red como llamadas de voz y transferencia de datos dentro de la red UMTS, además de realizar la conmutación y enrutamiento de los mismos.

Parte de esta estructura son las redes de transmisión empleadas para enlazar los diferentes elementos que integran esta arquitectura, estos son los protocolos UU y IU. La Figura 2 a continuación presenta una visión más detallada de esta arquitectura. (Herrera, 2011)

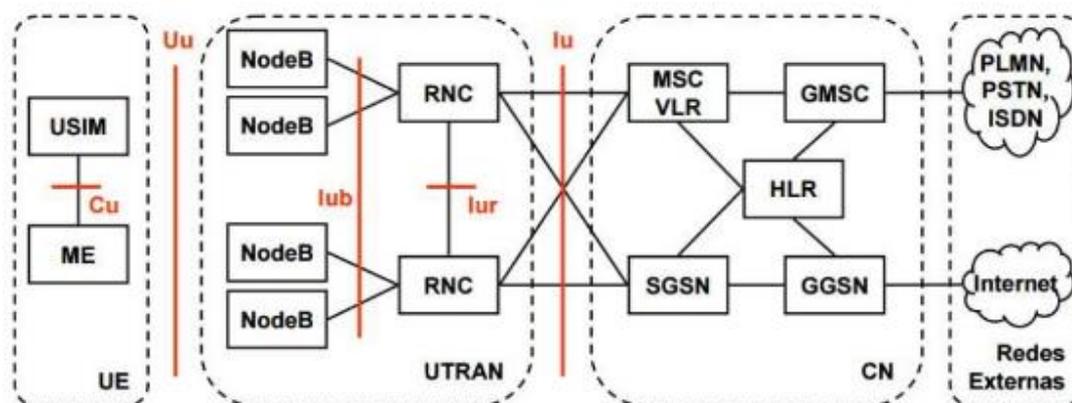


Figura 2. Etapas de la Arquitectura de la red UMTS.

Fuente: (Herrera, 2011)

### 2.2.1. Equipo de usuario (UE)

El equipo de usuario o UE, también llamado móvil, es el equipo que el usuario trae consigo para lograr la comunicación con una estación base en el momento que lo requiera y en el sitio en donde exista cobertura como se observa en la Figura 3. Los requerimientos del UE pueden variar en sus características físicas, sin embargo debe soportar el estándar y los protocolos de diseño. Si un móvil trabaja bajo el sistema

UMTS, debe acceder a la red UTRAN mediante la tecnología WCDMA para lograr la comunicación con otro móvil, tanto para voz como para datos. (Kreher, 2010 )

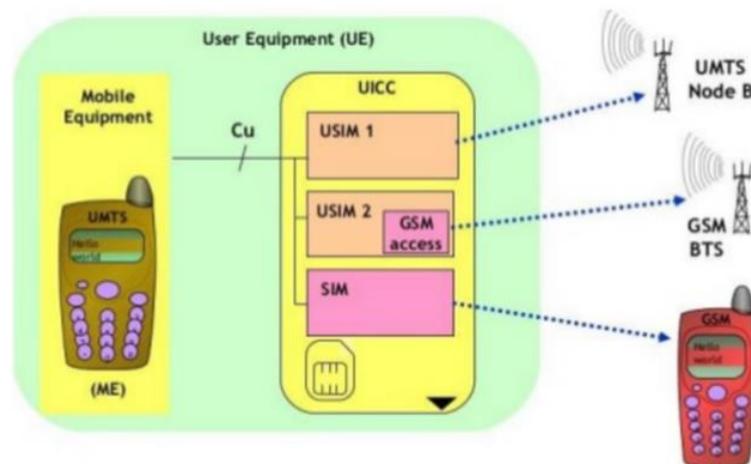


Figura 3. User Equipment (UE).  
Fuente: (Kreher, 2010 )

### 2.2.2. Red central de la arquitectura UMTS (CN)

El CN se encarga del procesamiento de los requerimientos, sea para voz o para transmisión de datos. El CN se divide en dos tipos de procesamientos:

- Dominio de conmutación de circuitos (CS) para servicios de voz.
- Dominio de conmutación de paquetes (PS) para servicios de datos.

Algunos elementos de red como EIR, VLR, HLR, y AuC tienen compatibilidad con el dominio de conmutación de circuitos y de paquetes como se puede verificar en la Figura 4.

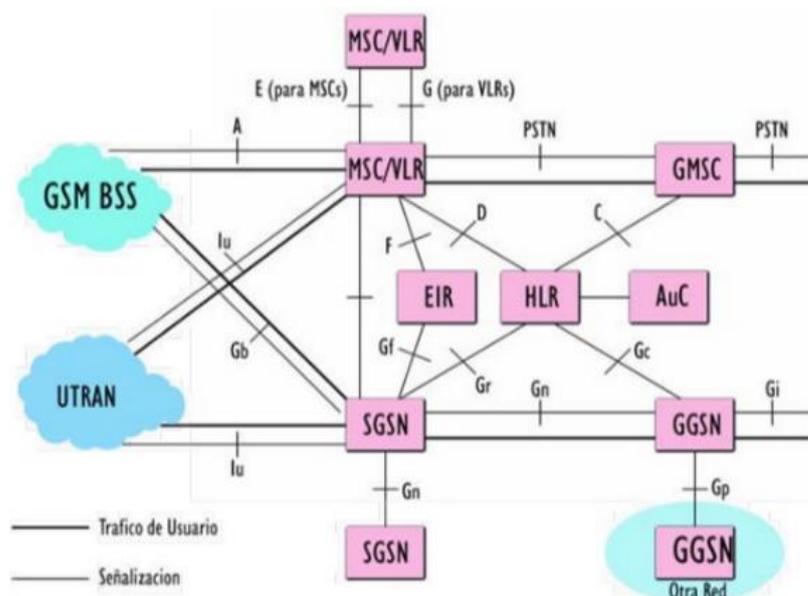


Figura 4. Central Network (CN).

Fuente: (Nandakuma, 2009)

**EIR.-** es una base de datos con información del estado del dispositivo móvil (IMEI), lo conforman las siguientes listas:

- Lista Blanca: los equipos que no tienen inconvenientes en recibir y enviar llamadas.
- Lista Gris: equipos que pueden recibir y enviar llamadas, pero se encuentran monitoreados por el ente regular para revelar la identidad del cliente.
- Lista Negra: equipos que tienen negación sobre servicio móvil, no pueden ejecutar ni recibir llamadas.

**VLR.-** es una base de datos con información de todas las visitas que se encuentran en la red, con la ubicación de los abonados que se registraron en el área de servicio. Este registro se borra cuando el usuario cambia a otra área de servicio.

**HLR.-** es una base de datos con información del abonado, la cual indica la preferencia que tiene ante el servicio celular.

**AuC.-** Es el centro de autenticación donde el cliente accede y se conecta al servicio de la red. La autenticación se efectúa mediante la identificación y la confirmación de la tarjeta SIM. (Nandakuma, 2009)

### 2.2.3. Red de acceso de radio terrestre (UTRAN)

UTRAN es la nueva red de acceso de radio trazada para el sistema UMTS, proyectada para desplegar altas velocidades de transmisión, con diferentes y renovados tipos de transferencias y algoritmos de transmisión. Trabaja con dos interfaces que lo conectan con la red central (Iu) y con el equipo de usuario (Uu).

La red UTRAN está conformada por los RNC (*Radio Network Controller*) y los Node B (las estaciones base ó Nodo B), que juntos forman el RNS (*Radio Network Subsystem*).

Las interfaces internas de UTRAN incluyen la interfaz Iub la cual se encuentra entre el Nodo B y el RNC y la interfaz Iur que conecta a los RNC entre sí. (Ottosson, 2012)  
En la Figura 5 se detalla la estructura de la UTRAN.

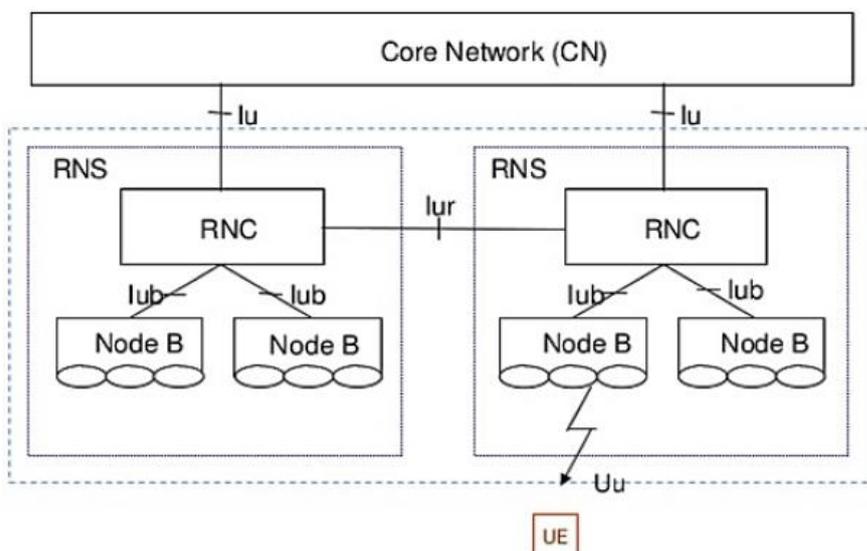


Figura 5. Red de acceso de radio terrestre (UTRAN).

Fuente: (Ottosson, 2012)

### **2.2.3.1. Radio Network Controller (RNC)**

El RNC controla a uno o varios Nodos B. El RNC se conecta con el MSC (Mobile Switching Center) mediante la interfaz IuCS o con un SGSN mediante la interfaz IuPs. La interfaz entre dos RNC's es lógica y es la interfaz Iur. Dentro de las funciones ejecutadas por el RNC están:

- Manejo de los recursos de transporte de la interfaz Iu.
- Control de los recursos lógicos OM del Nodo B.
- Manejo de tráfico en los canales comunes.
- *Soft Handover*
- Asignación de códigos de canalización en el enlace de bajada.
- Control de potencia de lazo abierto para el enlace de subida.
- Control de potencia para el enlace de bajada.
- Control de admisión.
- Manejo del tráfico. (Rosell, 2010)

### **2.2.3.2. Nodo B**

El nodo B crea, mantiene, y envía un enlace de radio en cooperación con el UE. Es el componente responsable de la transmisión y recepción radio entre el terminal móvil y una o más celdas UMTS. Algunas de las funciones ejecutadas por Nodo B son:

- Transmisión de los mensajes de información del sistema.
- Reportar las mediciones en el enlace de subida y de la potencia en el enlace de bajada. (Herrera, 2011)

## **2.3. Arquitectura de protocolos del interfaz radio en una red UMTS**

La interfaz radio UMTS está distribuida en base al FDD (Frequency-Division Duplexing) y TDD (Time-Division Duplexing). Uno de los aspectos que intervienen está la estructura del protocolo de radio, que se establece conforme al modelo OSI.

De las capas OSI, las que actúan en el protocolo de radio son:

- Capa Física L1
- Capa de Enlace L2
- Capa de Red L3

La estructura se concluye con una división vertical en dos planos: de control (C) y de usuario (U). El plano C sujeta información afín a la señalización del sistema, el plano U comprende lo referente al cambio de información de tráfico entre usuarios. (Valero, 2008)

En la Figura 6 se muestra la arquitectura de protocolos del interfaz radio válido tanto para el móvil como para la red.

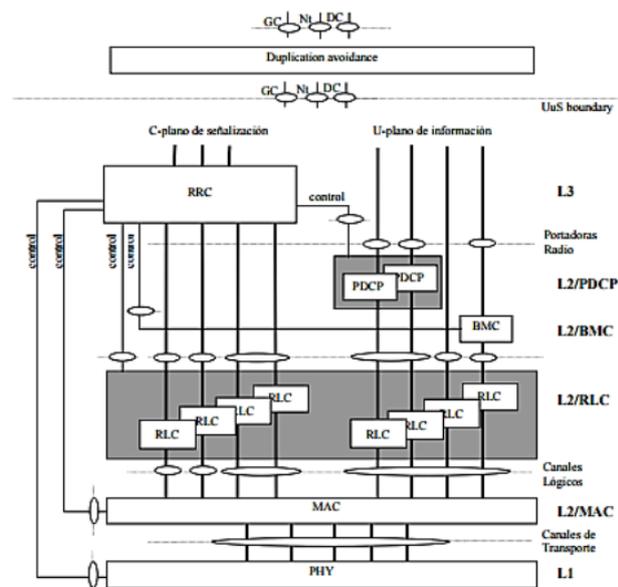


Figura 6. Arquitectura de Protocolos del Interfaz Radio.

Fuente: (Valero, 2008)

La Capa de Enlace L2 se compone de 4 subcapas: MAC (Medium Access Control), RLC (Radio Link Control), PDCP (Packet Data Control Protocol) y BMC (Broadcast/Multicast Control Protocol). Estas dos últimas subcapas sólo afectan al plano de datos de usuario.

La Capa L3 se divide en dos partes: access stratum y non access stratum. La parte de acceso al estrato está formada por la entidad RRC y la entidad "duplication avoidance". La parte del no acceso está formada por las partes de control de llamadas CC y gestión de la movilidad MM. (Valencia, 2010)

#### 2.4. Canales físicos, lógicos y de transporte de una red UMTS.

La comunicación realizada a través de la interface radio de UTRAN maneja 3 tipos de canales como se presenta en la Figura 7. En la Tabla 2, se muestra una breve descripción de los canales de una red UMTS. (Valencia, 2010)

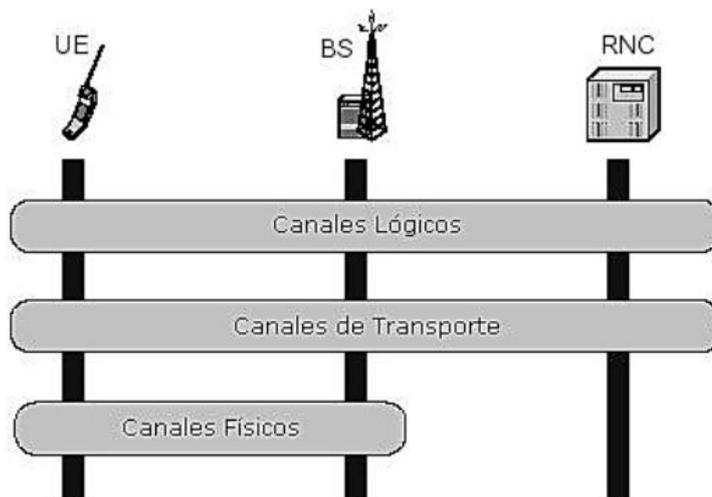


Figura 7. Canales de una red UMTS.

Fuente: (Valencia, 2010)

Tabla 2

Descripción general de los canales de una red UMTS.

<b>Canales Lógicos</b>	Son mapeados en los canales de transporte.
<b>Canales de Transporte</b>	RNC trabaja con canales de transporte utilizados para movilizar flujos de información.
<b>Canales Físicos</b>	Compone la existencia física de la interface Uu.

Fuente: (Valencia, 2010)

##### 2.4.1. Canales físicos

Los canales físicos están encargados de transferir la información al cliente por la interfaz aire y exhibir las características físicas del canal. Cada canal físico posee su portadora y su código y se presentan en canales ascendentes y descendentes. Se presentan canales físicos que llevan un canal de transporte (Tabla 3), canales físicos requeridos para operación del sistema (Tabla 4). (García, 2012)

Tabla 3

Descripción de canales físicos que llevan un canal de transporte.

<b>Canales Físicos que llevan un canal de transporte</b>	
Canal Físico Dedicado de Datos	DPDCH
Canal Físico de Acceso Aleatorio	PRACH
Canal Físico de Paquetes Comunes	PCPCH
Canal Físico Primario de Control Común	P-CCPCH
Canal Físico Secundario de Control Común	S-CCPCH
Canal Físico Compartido del Enlace de Bajada	PDSCH

**Fuente:** (García, 2012)

Tabla 4

Descripción de canales físicos requeridos para operación del sistema.

<b>Canales Físicos requeridos para operación del sistema</b>	
Canal Físico de Control Dedicado	DPCCH
Canal de Control Piloto	CPICH
Canal de Sincronización	SCH
Canal de Indicador de Adquisición	AICH
Canal de Indicación de Voceo	PICH
Canal Físico Compartido del Enlace de Bajada	PDSCH

**Fuente:** (García, 2012)

### 2.4.2. Canales lógicos

Un canal lógico es la interfaz entre RLC y la capa MAC. Se caracteriza por el tipo de información que lleva. Se encargan de transportar señales para el procesamiento de servicios requeridos (voz, datos, etc.). Los canales lógicos se dividen en canales de control (Tabla 5) y canales de tráfico (Tabla 6). (Valero, 2008)

Tabla 5

Descripción de canales de control.

<b>Canales Lógicos de Control</b>	
Canal de Control de Broadcast	BCCH
Canal de Control de Voceo	PCCH
Canal de Control Dedicado	DCCH
Canal de Control Común	CCCH

**Fuente:** (Valero, 2008)

Tabla 6

Descripción de canales de tráfico.

<b>Canales Lógicos de Tráfico</b>	
Canal de Tráfico Dedicado	DTCH
Canal de Tráfico Común	CTCH

**Fuente:** (Valero, 2008)

### 2.4.3. Canales de transporte

La interfaz entre la capa MAC y la capa física son los canales de transporte. Dichos canales son codificados y se ajustan a la tasa ofrecida por los canales físicos. Todos los canales de transporte son unidireccionales y se dividen en dos grupos: canales comunes (Tabla 7) y canales dedicados (Tabla 8). (Valencia, 2010)

Tabla 7

Descripción de canales comunes.

<b>Canales de Transporte Comunes</b>	
Canal de Broadcast	BCH
Canal de acceso de subida	FACH
Canal de Voceo	PCH
Canal Compartido del Enlace de bajada	DSCH
Canal de acceso aleatorio	RACH
Canal de paquetes comunes	CPCH

**Fuente:** (Valencia, 2010)

Tabla 8

Descripción de canales dedicados.

Canales de Transporte Dedicados	
Canal Dedicado	DCH

Fuente: (Valencia, 2010)

## 2.5. Conceptos generales y elementos de la de telefonía celular

### 2.5.1. Celdas celulares

Celda es una unidad de cobertura en que se fracciona una red celular. Las celdas están formadas por un transmisor que se puede ubicar en el centro, o en un vértice de la misma. El tamaño de la celda es proporcional a la potencia del transmisor, a las limitaciones naturales o artificiales del sector a envolver, del número de usuarios y patrones de tráfico. Las celdas son creadas como hexágonos o círculos, en una gran rejilla de hexágonos como se observa en la Figura 8. (Cruz, 2004)

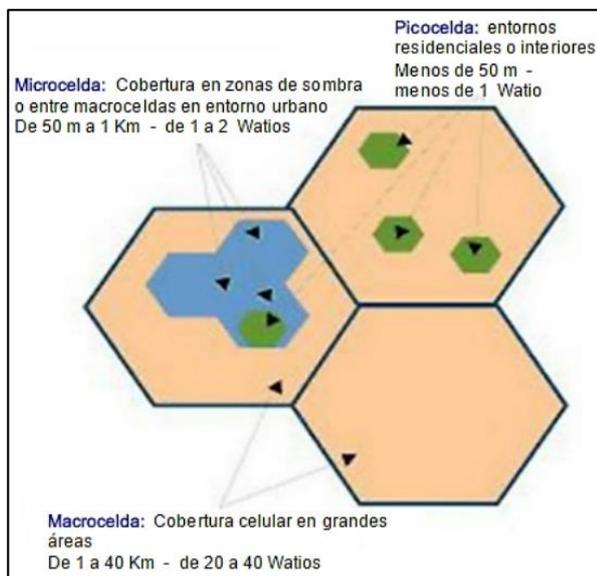


Figura 8. Celda o Célula.

Fuente: (Cruz, 2004)

### **2.5.1.1. Tipos de celdas celulares.**

Existen distintos tipos de celdas, basadas en la demanda del servicio y de parámetros físicos propios del área en la cual se brindará el servicio. Su clasificación es la siguiente:

- Macroceldas
- Microceldas
- Picoceldas
- Celdas selectivas
- Celda de paraguas (Wang, 2014 )

#### **Macroceldas**

Las macroceldas proveen cobertura con un alcance de varios kilómetros. Son recomendadas en zonas rurales, montañosas, autopistas, residenciales suburbanas, residenciales urbanas. (Wang, 2014 )

#### **Microceldas**

Las microcélulas poseen un alcance inferior a 1 km. Son celdas urbanas cubiertas por estaciones base con antenas transmisoras instaladas por debajo de las alturas promedio de los edificios contiguos. (Wang, 2014 )

#### **Picoceldas**

Las picoceldas tienen un cubrimiento menor a 100 metros. Una disminución en el tamaño de una celda envuelve un crecimiento en su capacidad, por lo que las picoceldas se manejan para ofrecer cobertura en las áreas de muy alto tráfico, como zonas de negocios. (Wang, 2014 )

En la Tabla 9, se muestran los rangos de potencia de transmisión y el radio de cobertura de las celdas según su clasificación.

Tabla 9

Características de entorno celular.

	<b>Macroceldas</b>	<b>Microceldas</b>	<b>Picoceldas</b>
<b>Radio de celdas</b>	1 a 20 Km	0.1 a 1 Km	0.05 a 0.1 Km
<b>Potencia de transmisión</b>	1 a 10 W	0.1 a 1 W	0.05 a 0.1 W

**Fuente:** (Wang, 2014 )

### **Celdas selectivas**

Las celdas selectivas están determinadas para brindar cobertura menores a los 360 grados. (Wang, 2014 )

### **Celda de paraguas**

La celda de paraguas cubre varias microceldas, se las utiliza con el fin de reducir el trabajo de la red al disminuir la cantidad de handovers en las estaciones móviles. (Wang, 2014 )

### **2.5.2. Cluster o racimo**

Cluster es un conjunto o grupo de celdas, las mismas que agrupan todas las frecuencias disponibles por la red celular. El conjunto de varios racimos forman el sistema celular obteniendo una cobertura total, de manera general los clusters realizan reutilización de frecuencias. Los clusters se concentran en 4, 7, 12 o 21 celdas; en la Figura 9 se observa un cluster de tres celdas ( $N = 3$ ), de cuatro celdas ( $N = 4$ ), un cluster de siete celdas ( $N = 7$ ). (Tijerina, 2000)

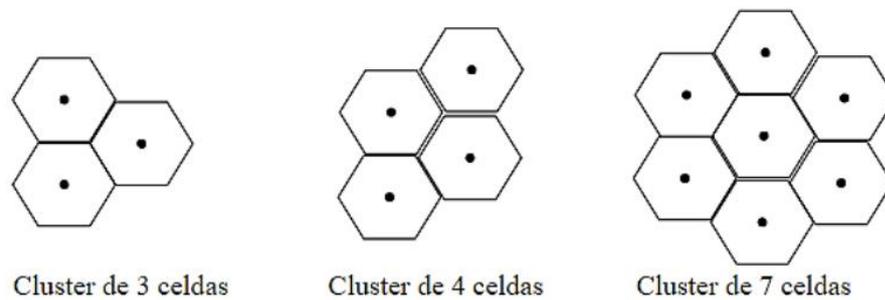


Figura 9. Cluster de células.

Fuente: (Tijerina, 2000)

### 2.5.3. Cobertura celular

Se concibe por cobertura celular al sitio desde el cual un teléfono móvil puede transmitir con los nodos y viceversa. La distancia de la señal de radio de una red está compuesta por el alcance de la señal de radio de todas las estaciones base y la unión de las particularidades del camino radioeléctrico. Al diseñar una red de comunicaciones móviles desde el punto de vista de la cobertura, debemos tener en cuenta la zona que se anhela cubrir, así como la señal de la estación móvil en función de su capacidad de transmisión.

Existen varios factores que afectan el nivel de cobertura dentro de una red celular. Los factores más importantes a tener en cuenta son:

- **Distancia a la antena más cercana:** A cuanto mayor sea la distancia entre el usuario y la antena más cercana, existirá menos señal en el terminal.
- **Propagación y obstáculos:** Los obstáculos presentes entre el dispositivo y la antena afectan las ondas que generan cobertura.
- **Ubicación interior o exterior:** La cobertura se degenera en el interior de las edificaciones, mientras que sus niveles mejoran en el exterior. El tipo de construcción también influye en la cobertura, ciertos materiales la dañan. Cabe recalcar que las ondas 2G atraviesan las edificaciones de mejor manera que las 3G.
- **Tipo de dispositivo:** El desempeño de un terminal se encuentra en función de su calidad, estado físico, etc. (Troya, 2016)

#### **2.5.4. Capacidad celular**

La capacidad celular se refiere al total de clientes que consiguen ingresar de forma compartida a la red. Es significativo, pues el acertado dimensionamiento de la capacidad del sistema, dependerá la calidad del servicio que se proporcione al usuario. Esta capacidad se mejora con el manejo de técnicas como son:

- Reutilización de frecuencias
- Asignación adaptativa de canal
- Revisión de potencia
- Algoritmos de codificación
- Diversidad de antenas

#### **2.5.5. Trafico en una red celular**

El tráfico de una red celular se refiere al número de usuarios que se encuentran en la red celular en un momento específico, es importante estudiar este factor con el objetivo de no saturar la red. El estudio de tráfico tratará la cantidad de llamadas tramitadas por una estación, demostrando algunos elementos como congestión, niveles de ocupación, etc. (Sánchez, 2012)

Usualmente, el tráfico suele variar en las distintas horas del día. Se conoce como hora pico a la hora donde se obtiene la mayor cantidad de tráfico de voz en una celda, generalmente es el doble que el promedio del resto del día.

El tráfico telefónico es conocido como la empleo de los equipos de transmisión y switch que conforman la red en el transcurso de establecimiento de una conexión y durante el progreso de la llamada.

Una estación que ha captado más tráfico de lo normal es considerada como una estación bloqueada, y es beneficioso seguir estos pasos para excluir el bloqueo:

- Incrementar antenas
- Aumentar microceldas

- Colocar una segunda portadora
- Colocar soluciones indoor
- Modificación de Tilt Eléctrico o Mecánico
- Movimiento de Azimut en las antenas

### **2.5.6. Interferencia Co-canal**

Las interferencias en las redes celulares atenúan la calidad de la señal, provocando desconformidad en los clientes, al tener una comunicación degradada en claridad de recepción de audio durante sus llamadas telefónicas.

La interferencia co-canal se produce en la estación celular y en su mayor parte se debe a la ubicación de las antenas y a la frecuencia de transmisión. La solución a este conflicto radica en la configuración de los principales parámetros del sistema.

El reúso de frecuencias involucra que en una zona de cobertura existan algunas celdas que empleen el mismo grupo de frecuencias. Dichas celdas son conocidas como celdas co-canales y la interferencia provocada por las señales de estas celdas se la llama interferencia co-canal. (Sánchez, 2012)

La interferencia co-canal no se puede disputar ampliando la potencia de portadora de un transmisor, ya que se aumentaría la interferencia hacia las celdas cocanales aledañas.

Para disminuir la interferencia co-canal, se deben alejar físicamente las células co-canales con una distancia mínima que provea el aislamiento necesario por las pérdidas en la propagación.

Las causas de interferencia pueden ser:

- Internas: derivadas por el equipo, donde se incluyen componentes como los osciladores locales y la selección de filtros. Otras consideraciones pueden ser las reflexiones internas y los canales adyacentes del sistema.

- Externas: interferencias originarias de otros radioenlaces en la misma ruta del radioenlace de interés. (Sánchez, 2012)

## **2.6. Proceso de Initial Tuning**

El initial tuning, también conocido como ajuste inicial es una técnica de optimización de redes celulares que comprenden pruebas de análisis, cambios físicos y lógicos necesarios para la puesta a punto de una estación celular nueva en una red enfocado en la consecución de los objetivos de diseño de la misma sin afectar el entorno de red y garantizando la mejor calidad al cliente de la operadora. (León, 2010)

El medio de radio frecuencia se puede calcular, confrontar, estudiar para comprobar y optimar el rendimiento de un sistema celular. El rendimiento de un sistema celular de radio frecuencia también es analizado para determinar cualquier parámetro, el desempeño del servicio o los posibles problemas de integración del sitio con problemas.

### **2.6.1. Propósito del Tuning Inicial**

El propósito del Tuning Inicial es asegurar el cumplimiento de los objetivos de diseño de cada una de las nuevas estaciones celulares y corregir errores para garantizar buena calidad en los servicios de comunicaciones ofrecidos con el fin de que el usuario final tenga la mejor experiencia en la red. Entre los principales objetivos del proceso de IT están: (León, 2010)

- Corregir problemas de instalación de hardware.
- Corregir problemas de parámetros sobresalientes en la integración de las nuevas estaciones celulares.
- Mejorar el diseño y la experiencia del usuario final. Esto incluye:
  - o Disponibilidad del servicio
  - o Movilidad
  - o Velocidad recibida

- Latencia y cuellos de botella en la red

### **2.6.2. Tipos de estaciones celulares incluidas en el proceso de Initial Tuning**

Se clasifican las estaciones de IT de la siguiente manera:

- Estaciones de Cobertura
- Estaciones de Capacidad
- Estaciones de Calidad

La clasificación de estas estaciones se basa en su diseño y cada tipo tiene sus salvedades durante su proceso de IT. La comprobación del cumplimiento de objetivos de las estaciones se realiza en base a los objetivos de diseño, pruebas de drive test y análisis estadísticos establecidos por la operadora. (Berrocal, 2013)

Los drive test y análisis estadísticos se perciben expresados a través de KPIs, el cumplimiento de KPIs se basa en datos que obedecen al tipo de estación, distinguiéndose en estaciones urbanas, suburbanas y rurales. Esta diferenciación aplica para estaciones de capacidad y calidad, entendiéndose a toda estación de cobertura de categorización rural.

### **2.6.3. Drive test**

El proceso de drive test DT es una evaluación realizada en campo mediante un recorrido en vehículo enfocado en la toma de muestras basada en parámetros relevantes de red en la tecnología recomendada. El DT emplea un equipo de recolección de datos, mismo que almacena la mayor cantidad de información necesaria para realizar un análisis profundo del estado actual de la red. (Gallardo, 2013)

Para desplegar el proceso de drive test se cuenta con varios modelos de software creados particularmente para la recolección y análisis de muestras de radiofrecuencia. Algunos de ellos son Tems Investigation – Discovery, Nemo, Genex Probe – Genex Assistant, etc.

### 2.6.3.1. Parámetros UMTS relevantes en las mediciones de drive test

Dentro del estudio del proceso de Initial Tuning y específicamente de la etapa de evaluación inicial, existen varios parámetros que deben ser considerados, cada uno de estos permiten comprender y analizar mejor el estado en tiempo real del nodo evaluado e identificar los posibles problemas que impiden su buen funcionamiento, todo esto durante el recorrido de drive test. (Gujral, 2015)

Los parámetros que deben ser estimados de manera más significativa son los siguientes:

- Código de potencia de señal recibida “*Received signal code power - RSCP*”
- Energía del chip sobre el ruido “*Chip Energy over Noise (Ec/No  $\approx$  Ec/Io)*”
- Nivel de calidad de la señal “*Scrambling Code - SC*”

#### 2.6.3.1.1. Received signal code power “RSCP”.

El RSCP indica el nivel de potencia que toma un equipo receptor en un canal de comunicación de una celda, normalmente expresado en dBm. Se utiliza como un indicador de intensidad de la señal, como un criterio de traspaso en el control de potencia de enlace descendente, para calcular pérdida de trayectoria. (Kreher, 2010 )

Aunque RSCP puede definirse generalmente para cualquier sistema CDMA, se utiliza más específicamente en UMTS. Con este parámetro, las diferentes celdas que utilizan la misma portadora pueden ser comparadas para tomar decisiones de handover o reelección de celdas.

El código de la potencia de señal recibida es considerado el parámetro principal para definir la cobertura de la red. Para categorizar los niveles de RSCP, en la Tabla 10. se detallan los rangos aceptables.

Tabla 10

Rango de mediciones de RSCP.

<b>Received Signal Code Power (RSCP)</b>	
Unit: dBm.	
Bueno	$RSCP \geq -88 \text{ dBm}$
Aceptable	$-95 \text{ dBm} \leq RSCP < -88 \text{ dBm}$
Malo	$RSCP < -95 \text{ dBm}$

**Fuente:** (Kreher, 2010 )**2.6.3.1.2. Chip Energy over Noise “Ec/Io”.**

El  $E_c/I_o$  es la energía recibida por el chip ( $E_c$ ) del canal de comunicación, dividido por la densidad de potencia de ruido total o nivel de interferencia ( $N_o$ ). En otras palabras, cuanto mejor sea la medición de  $E_c/I_o$ , mejor puede distinguirse una señal de una célula del ruido general. El  $E_c/N_o$  se expresa generalmente en db. De igual manera que el RSCP, este valor puede usarse para comparar diferentes celdas con la misma portadora para tomar decisiones de handover o reelección de celdas.  $E_c/I_o$  es una expresión de la relación señal a ruido y por lo tanto, un indicador de la calidad de la señal. (Nandakuma, 2009)

En la siguiente Tabla 11 se describen los niveles de  $E_c/I_o$ .

Tabla 11

Rango de mediciones de  $E_c/I_o$ .

<b>Chip Energy over Noise (<math>E_c/N_o \approx E_c/I_o</math>)</b>	
Unit: dB.	
Bueno	$E_c/I_o \geq -8 \text{ Db}$
Aceptable	$-14 \text{ dB} \leq E_c/I_o < -8 \text{ dB}$
Malo	$E_c/I_o < -14 \text{ dB}$

**Fuente:** (Nandakuma, 2009)**2.6.3.1.3. Scrambling Code (SC).**

Se denomina código de codificación a una secuencia de bits específica que se utiliza para codificar. En un esquema WCDMA, todos los usuarios transmiten en la misma frecuencia y se diferencian por sus códigos de cifrado únicos. El receptor correlaciona la señal recibida con una réplica generada de forma sincronizada del código de codificación para recuperar la señal portadora de información original. (Guerra, 2016)

Mediante el uso del código de aleatorización, el Nodo puede separar las señales que vienen simultáneamente de muchos terminales (UE) diferentes y el UE puede separar las señales que vienen simultáneamente de muchos Nodos diferentes. (Guerra, 2016)

#### **2.6.3.1.4. Block Error Ratio “BLER DL”**

*Block Error Ratio* se precisa a la correlación entre la cantidad de bloques errados admitidos y el número total de bloques enviados. Un bloqueo erróneo se define como un bloque de transporte, cuya comprobación de redundancia cíclica (CRC) es incorrecta. (Insights, 2014 )

El BLER es un análisis de errores de transmisión en la interfaz de radio. Se basa en el análisis de los resultados de comprobación de redundancia cíclica (CRC) para bloques de transporte de control de enlace de radio (RLC) y se calcula definiendo la relación entre los números de bloques de transporte RLC con indicación de error de CRC y el número total de bloques de transporte transmitidos expresados en la siguiente Ecuación 1.

Ecuación 1:

Block Error Rate. (Insights, 2014 )

$$Block\ Error\ Rate\ (BLER) = \frac{\sum Bloques\ RLC\ de\ transporte\ con\ error\ de\ CRC}{\sum Bloques\ RLC\ de\ transporte} \times 100\%$$

#### **2.6.3.1.5. RLC Throughput DL**

El parámetro de rendimiento utilizado para medir la velocidad de transmisión de datos se denomina throughput. El RLC Throughput DL es una medida de tráfico de red, que se manifiesta de la descarga en un enlace descendente en una celda. (Moulsley, 2011)

Para la tecnología 3G se tienen altas velocidades de transmisión como se observa en la siguiente Tabla 12:

Tabla 12

Rango de mediciones de RLC Throughput DL.

<b>RLC Throughput DL</b>	
Unit: kbps.	
Bueno	Throughput DL $\geq$ 8000 kbps
Aceptable	2000 kbps $\leq$ Throughput DL < 7999 kbps
Malo	Throughput DL < 1999 kbps

**Fuente:** (Moulsley, 2011)

No siempre se llega a tener estas velocidades de transmisión, debido a inconvenientes de canal, condiciones de transmisión o limitaciones propias de la operadora. Estos valores son teóricos y dependen de parámetros de cobertura (RSCP,  $E_c/I_o$ , CQI, distancia entre UE-nodo).

Hay una serie de factores que tienen un enorme impacto en el throughput, especialmente la calidad del radio enlace y las condiciones de propagación. La interferencia puede deteriorar la calidad del enlace de radio. La velocidad de transmisión de datos requerida para un cierto servicio está directamente relacionada con la cobertura de una celda. La regla básica es: cuanta más alta es la tasa de transmisión de datos solicitada, menor es la cobertura proporcionada por la célula en condiciones de propagación sin cambios. (Moulsley, 2011)

La Figura 10 muestra un ejemplo del progreso de la transferencia de archivos FTP y la velocidad de transferencia medida en kilobytes por segundo. El punto crucial es que el throughput medido en red debe ser comparable con los resultados de medición estimados por sus operadoras.



Figura 10. Medición de Throughput DL en FTP.

#### 2.6.3.1.6. Channel Quality Indicator “CQI”.

*Channel Quality Indicator* “CQI”, cuyo significado es indicador de calidad de canal. Como su nombre lo indica, es un indicador que transmite la información sobre cuán buena o mala es la calidad del canal de comunicación. Es un parámetro específicamente para conexiones de datos de alta velocidad es decir para HSDPA y HSPA+.

El valor de CQI oscila entre 0 ~ 30. 30 indica la mejor calidad de canal y 0 o 1 indica que la calidad del canal es pobre, como se detalla en la Tabla 13. Dependiendo del valor que informa el terminal, la red transmite bloques de transporte de datos con diferentes tamaños. Si la red obtiene un valor CQI elevado desde el UE, su transmisión de datos tendrá un tamaño mayor y viceversa. (Schelb, 2015)

Tabla 13

Categorización de mediciones de CQI.

Valor de CQI	Categorización
0-15	Valores muy malos (Condiciones malas)
16-24	Valores regulares (Modulación QPSK)
24-28	Valores buenos (Modulación 16-QAM)
28-30	Condiciones ideales (Modulación 64-QAM)

**Fuente:** (Schelb, 2015)

#### 2.6.3.1.7. HSDPA/HSPA+ Throughput.

High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) es un protocolo mejorado de comunicaciones móviles 3G dentro de la familia HSPA (High-Speed Packet Access), también denominado 3.5G, 3G + o Turbo 3G, que permite tener mayores velocidades de datos y capacidad.

Además de mejorar las tasas de datos, HSDPA también disminuye la latencia y por lo tanto el tiempo de ida y vuelta para las aplicaciones. HSPA+ aumenta adicionalmente las velocidades de datos mediante la adición de la modulación 64QAM, MIMO y operación HSDPA de doble célula, es decir, dos portadoras de 5 MHz se utilizan simultáneamente.

Otras características nuevas son los canales compartidos de enlace descendente de alta velocidad (HS-DSCH), la modulación adaptativa QPSK y 16QAM y el protocolo de acceso a medios de alta velocidad (MAC-hs) en la estación base. (Holma, 2013)

La siguiente Tabla 14 muestra las velocidades de datos máximas de las diferentes clases de dispositivos (categoría) y por qué combinación de características se logran. La velocidad de transferencia de datos por celda está limitada por el número máximo de bits de un bloque de transporte HS-DSCH recibido dentro de un intervalo.

Tabla 14

Velocidad de datos HSDPA.

Categoría	Número máximo de HS-DSCH por celda	Modulación	Máxima velocidad de descarga (Mbit/s)
1	5	16-QAM	1.2
2	5	16-QAM	1.2
3	5	16-QAM	1.8
4	5	16-QAM	1.8
5	5	16-QAM	3.6
6	5	16-QAM	3.6
7	10	16-QAM	7.2
8	10	16-QAM	7.2
9	15	16-QAM	10.1
10	15	16-QAM	14.0
11	5	QPSK	0.9
12	5	QPSK	1.8

Fuente: (Holma, 2013)

### 2.6.3.1.8. HSUPA Throughput

El acceso de paquetes de enlace ascendente de alta velocidad (HSUPA) es un protocolo de sistemas de comunicaciones 3G HSPA. Se estandariza para mejorar la velocidad de datos de enlace ascendente a 5,76 Mbit/s, ampliar la capacidad y reducir la latencia. Esto brinda nuevas opciones para nuevas aplicaciones, como VoIP, cargar imágenes y enviar mensajes de correo electrónico de gran tamaño, etc. (Holma, 2013)

La siguiente Tabla 15 muestra las velocidades de enlace ascendente para las diferentes categorías de HSUPA.

Tabla 15

Velocidad de datos HSUPA.

<b>Categoría HSUPA</b>	<b>Máxima velocidad de carga (Mbit/s)</b>	<b>Modulación</b>
1	0.73	QPSK
2	1.46	QPSK
3	1.46	QPSK
4	2.93	QPSK
5	2.00	QPSK
6	5.76	QPSK

**Fuente:** (Holma, 2013)

#### 2.6.3.1.9. Ping Round Trip Time (RTT)

El tiempo de ida y vuelta (RTT), también llamado retardo de ida y vuelta, es el tiempo requerido para que un pulso o paquete de señal viaje de una fuente específica a un destino específico y viceversa.

Las pruebas para determinar el *Ping Round Trip Time* se las ejecuta hacia y desde una dirección IP (Protocolo de Internet), estableciendo un ping a esa dirección.

El tiempo entre una solicitud de datos y la devolución completa de esos datos se la mide en milisegundos, los cuales pueden cambiar en función a muchas condiciones. (Comellas, 2012)

El siguiente diagrama, Figura 11, es una muestra del cálculo de RTT.

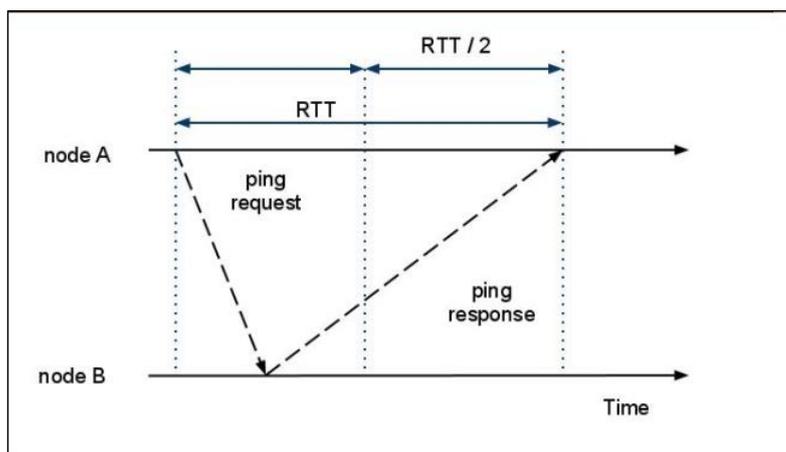


Figura 11. Cálculo de Ping RTT.

Fuente: (Comellas, 2012)

#### 2.6.4. Optimización de redes celulares.

Toda red de telecomunicación demanda de una permanente proyección y optimización de los dispositivos de red para conseguir un desempeño apropiado a medida que los patrones de tráfico van cambiando.

La optimización RF permite implantar y variar aquellos parámetros físicos y lógicos para mejorar la rutina del usuario al hacer uso de los servicios ofrecidos por el operador. (Escorcía, 2013)

En la siguiente Figura 12 se aprecian las actividades más comunes que se realizan durante esta etapa en pro de perfeccionar el desempeño.

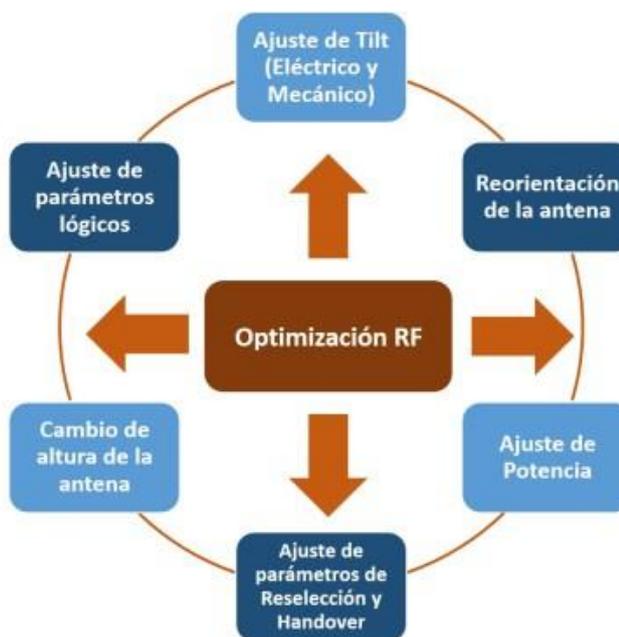


Figura 12. Actividades de optimización de redes celulares.

Fuente: (Escorcia, 2013)

#### 2.6.4.1. Optimización física de una estación base celular.

A nivel físico se realizan ajustes de tilt eléctrico y mecánico, cambio de altura de la antena y reorientación de la antena.

El tilt constituye la inclinación o ángulo de la antena en relación con el eje. Cuando la antena se encuentra direccionada hacia abajo del eje horizontal se lo denomina “downtilt”, mientras cuando está hacia arriba se lo llama “uptilt”. Tanto para downtilt como para uptilt, la concentración de radiación está directamente proporcionada a la inclinación, es decir a mayor downtilt mayor concentración de radiación y a mayor uptilt menor concentración sobre la superficie horizontal. En la figura 13. Se muestra un modelo de inclinación downtilt. (Gallardo, 2013)

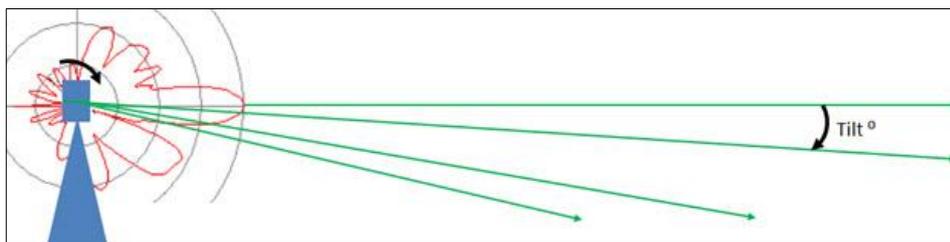


Figura 13. Inclinación o downtilt.

Fuente: (Gallardo, 2013)

Los ajustes de tilt mecánico implican el aumento o reducción de la cobertura mediante el cambio en la inclinación física de la antena. El tilt eléctrico tiene el mismo efecto al anterior, sin embargo, el patrón de radiación mantiene su forma a medida que se aumenta o reduce la cobertura, a diferencia del tilt mecánico el cual deforma el patrón al aumentar la intensidad de los lóbulos laterales a medida que se incrementa el tilt.

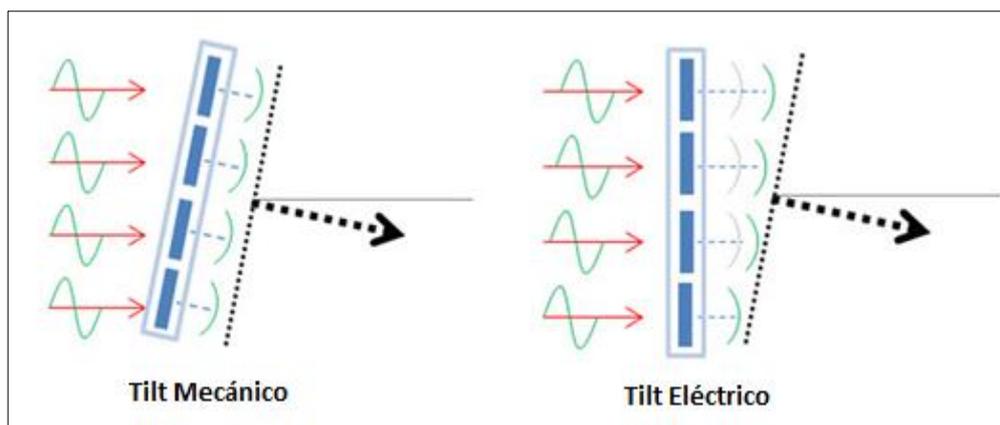


Figura 14. Tilt mecánico y eléctrico.

Fuente: (Gallardo, 2013)

El tilt eléctrico generalmente es ajustado a través de un accesorio con varilla o perno con marcas. Este ajuste puede ser manual o remoto, en el último caso se conoce como 'RET' (Remote Electrical Tilt). La variación de tilt mecánico se lo realiza mediante el movimiento de los herrajes de la antena y su valor angular se lo verifica mediante el uso de un inclinómetro. (Iza, 2014)

La reorientación de la antena, también conocida como movimiento de azimuth implica cambiar la dirección a la cual está orientada la antena. Cada uno de los sectores o celdas de un nodo se encuentran ubicados enfocando su lóbulo de radiación hacia diferentes ángulos según el interés de cobertura. Este parámetro es medido a partir del punto cardinal Norte en sentido horario de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . Para calibrar este parámetro se debe emplear compás magnético.

El cambio de altura de la antena, se refiere a modificar la ubicación de la antena sobre el nivel del suelo, se realiza en casos extremos donde no se puede alcanzar el mismo efecto variando el tilt o la potencia ya que implica un mayor trabajo y recursos para realizarlo.

En la siguiente Figura 15 se puede observar los cambios físicos que pueden ejecutarse en las antenas propias de cada nodo.



Figura 15. Optimizaciones físicas de una red.

Fuente: (Iza, 2014)

#### 2.6.4.2. Optimización lógica del nuevo nodo

Los arreglos de potencia se efectúan remotamente, enlazándose al módulo de red y variando la potencia emitida tanto para aumentar o reducir la cobertura.

El control de potencia es esencial en redes WCDMA ya que todos los usuarios comparten la misma frecuencia de radio, mediante el uso de diferentes códigos. El control de potencia se utiliza para aliviar el efecto de desvanecimiento del canal. Al ajustar la potencia de transmisión del UE recibida en la RBS, todos los UE tienen igual relación señal-interferencia (SIR) en servicios de la misma velocidad. (Jan, 2014)

### **2.6.5. Indicadores de desempeño de la red celular.**

Los KPI's o indicadores clave de desempeño son importantes al cuantificar los objetivos, monitorizar las acciones de la red, y su continuo manejo ayuda en el incremento de eficiencia. (Agarwal, 2015 )

Los indicadores de rendimiento "KPIs", son estimados como estadísticas de fallas monitoreadas en la red, tales como:

- Fallas de HO (hand-over).
- Fallas de llamadas.
- Fallas de Acceso, etc.

#### **2.6.5.1.Call Success Rate – Tasa de llamadas exitosas**

La tasa de éxito de la configuración de voz cuantifica los enlaces de llamadas de voz exitosas una vez que el usuario ha realizado requerimientos de conexión. Los enlaces de llamadas son a las solicitudes del terminal hacia la red generadas con éxito, es decir la red otorga recursos para el servicio de manera bidireccional. (Boggia, 2015)

Los operadores de las redes de telecomunicaciones tienen como objetivo aumentar la tasa de éxito de la instalación de llamadas. En las redes móviles esto se logra mejorando la cobertura de radio, ampliando la capacidad de la red y optimizando el rendimiento de sus elementos, todo lo cual puede requerir un esfuerzo considerable e inversiones significativas por parte del operador de red.

### **2.6.5.2.Call Drop Rate – Tasa de llamadas caídas**

Llamadas caídas son aquellas que no han concluido su curso, es decir su finalización es de forma forzosa y/o impedida por razones propias del sistema o del canal.

La mayor parte de ocasiones se relaciona la cantidad de llamadas caídas con la calidad de la voz, los cuales pueden estar causados por varios factores como:

- Limitaciones de capacidad
- Interferencia
- Desfavorables condiciones de propagación
- Bloqueo, etc. (Bernal, 2009)

### **3.1.1. Soft Handover (SHO) Success Rate – Tasa de Soft Handover exitosos**

El proceso de *handover* es uno de los requerimientos de mayor importancia dentro de las redes celulares, ya que este proceso ayuda a la conexión entre diferentes celdas evitando que exista desconexión del terminal con la red, con el objetivo de brindar un servicio perenne e impedir tráfico dentro de una celda. (Jan, 2014)

Durante el proceso de *soft handover*, el sistema realiza el cambio de celdas en distintos nodos, en la misma RNC o en otra, pero dentro de la misma banda de frecuencia, como se muestra en la Figura 16.

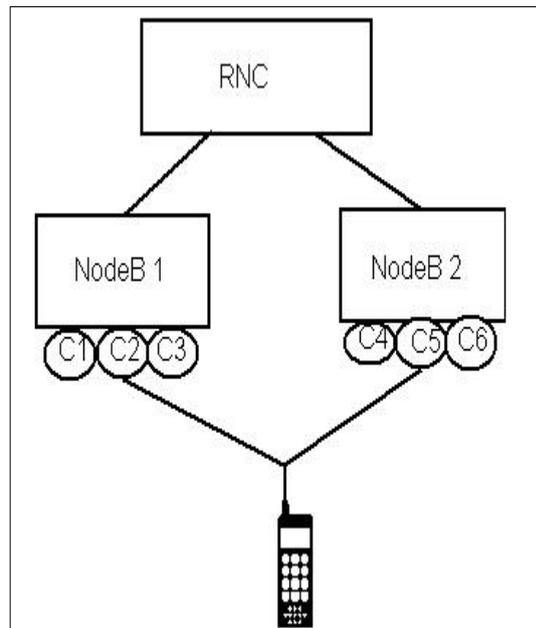


Figura 16. Soft handover.

Fuente: (Jan, 2014)

## **CAPITULO 3**

### **PROTOCOLO DE INITIAL TUNING Y OPTIMIZACIÓN DE ESTACIONES BASE CELULARES UMTS.**

#### **3.1. Afinamiento inicial para el Initial Tuning**

##### **3.1.1. Drive test**

Durante el presente proceso de Initial Tuning, el drive test se lo ejecutó inmediatamente después de la integración y levantamiento de la nueva estación base celular como una fase inicial del lanzamiento del nodo. También se desarrolló un nuevo recorrido DT de evidencia de mejoramiento de la correcta optimización desempeñada.

Para las pruebas, se empleó el software Genex Probe, para la toma de mediciones y el análisis. Su respectivo manual de manejo del software permanece adjunto en el Anexo 1.

Además del software mencionado anteriormente, las pruebas a desarrollarse requirieron de equipos propios para la toma de mediciones en tiempo real y con los ajustes de calibración necesarios. Dichos equipos son:

- Laptop con el software de muestreo y las licencias de trabajo del mismo.
- Teléfonos con tecnología 3G.
- Módem con tecnología 3G.
- Escáner con su respectiva antena RF y GPS.

La descripción y configuración de cada uno de los elementos y equipos para ejecutar el drive test se lo presenta en el Anexo 2.

El drive test se lo llevó a cabo en las áreas de interés que se desean evaluar, tomando en cuenta calles y avenidas principales; mientras más elaborada y tejida sea la ruta, los resultados estarán más claros y reales.

### **3.1.2. Configuración inicial de las celdas.**

Cada una de las operadoras de telefonía mantiene el registro de sus estaciones celulares así como también de sus remotizaciones con información de la ubicación, nombre y códigos de identificación de los nodos (Tabla 16).

La Tabla 16, conocida como “Data Base”, le pertenece a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, entidad cuyo departamento de radiofrecuencia es el encargado de actualizar y agregar cada uno de los datos de las estaciones base de las cuales son propietarios. La CNT semanalmente entrega esta información a cada uno de sus cooperadores con el objetivo de que las optimizaciones futuras se basen en datos reales de los nodos.

Como se puede observar en la Tabla 16., se encuentran detallados todos los nodos con los que cuenta la CNT en la ciudad de Esmeraldas, cada uno de ellos con su respectiva ubicación (latitud, longitud), sectorización de cada nodo con la altura a la que se encuentran colocadas sus antenas, configuración de las antenas (tilt eléctrico, mecánico, azimuth), entre otros.

Tabla 16

Base de datos con la configuración de las radiobases Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

NodeBID	NodeBName	# of sectors	CellName	CellID	Longitude	Latitude	AntHeight	Azimuth	MechTilt	ElecTilt	P-SC
4615	ESME_NORTEU19	3	ESME_NORTE1	46151	-79.655270	0.980630	17	110	2	5	118
4615	ESME_NORTEU19	3	ESME_NORTE2	46152	-79.655270	0.980630	17	240	-1	2	119
4615	ESME_NORTEU19	3	ESME_NORTE3	46153	-79.655270	0.980630	17	10	0	5	120
4617	ESMERALDAS_3(REFINERIA)U19	4	ESMERALDAS_3(REFINERIA)1	46171	-79.675290	0.930320	36	10	0	0	121
4617	ESMERALDAS_3(REFINERIA)U19	4	ESMERALDAS_3(REFINERIA)2	46172	-79.675290	0.930320	36	90	0	2	122
4617	ESMERALDAS_3(REFINERIA)U19	4	ESMERALDAS_3(REFINERIA)3	46173	-79.675290	0.930320	36	180	1	3	123
4617	ESMERALDAS_3(REFINERIA)U19	4	ESMERALDAS_3(REFINERIA)4	46174	-79.675290	0.930320	36	260	0	3	124
4609	ESMERALDAS_ATACAMES_CENTROU19	3	ESMERALDAS_ATACAMES_CENTRO1	46091	-79.850320	0.870280	30	15	-1	0	79
4609	ESMERALDAS_ATACAMES_CENTROU19	3	ESMERALDAS_ATACAMES_CENTRO2	46092	-79.850320	0.870280	30	140	0	2	80
4609	ESMERALDAS_ATACAMES_CENTROU19	3	ESMERALDAS_ATACAMES_CENTRO3	46093	-79.850320	0.870280	30	260	1	0	81
4600	ESMERALDAS_CENTROU19	3	ESMERALDAS_CENTRO1	46001	-79.652730	0.964960	42	90	2	2	76
4600	ESMERALDAS_CENTROU19	3	ESMERALDAS_CENTRO2	46002	-79.652730	0.964960	42	220	0	3	77
4600	ESMERALDAS_CENTROU19	3	ESMERALDAS_CENTRO3	46003	-79.652730	0.964960	42	350	2	1	78
4606	ESMERALDAS_CNT_CENTRALU19	3	ESMERALDAS_CNT_CENTRAL1	46061	-79.653470	0.975000	24	150	0	2	82
4606	ESMERALDAS_CNT_CENTRALU19	3	ESMERALDAS_CNT_CENTRAL2	46062	-79.653470	0.975000	24	230	0	2	83
4606	ESMERALDAS_CNT_CENTRALU19	3	ESMERALDAS_CNT_CENTRAL3	46063	-79.653470	0.975000	24	340	0	6	84
4602	ESMERALDAS_GATAZOU19	3	ESMERALDAS_GATAZO1	46021	-79.658360	0.943638	24	0	7	6	70
4602	ESMERALDAS_GATAZOU19	3	ESMERALDAS_GATAZO2	46022	-79.658360	0.943638	24	100	-1	0	71
4602	ESMERALDAS_GATAZOU19	3	ESMERALDAS_GATAZO3	46023	-79.658360	0.943638	24	200	6	5	72
4601	ESMERALDAS_PALMASU19	3	ESMERALDAS_PALMAS1	46011	-79.654520	0.986972	20	0	0	0	73
4601	ESMERALDAS_PALMASU19	3	ESMERALDAS_PALMAS2	46012	-79.654520	0.986972	17	125	0	5	74
4601	ESMERALDAS_PALMASU19	3	ESMERALDAS_PALMAS3	46013	-79.654520	0.986972	20	240	0	4	75
4607	ESMERALDAS_POTOSIU19	3	ESMERALDAS_POTOSI1	46071	-79.651361	0.960472	25	110	2	4	85
4607	ESMERALDAS_POTOSIU19	3	ESMERALDAS_POTOSI2	46072	-79.651361	0.960472	25	220	0	4	86
4607	ESMERALDAS_POTOSIU19	3	ESMERALDAS_POTOSI3	46073	-79.651361	0.960472	25	330	4	4	87

### 3.1.3. Definición de la ruta de evaluación.

La ruta evaluada durante el drive test como parte del proceso de initial tuning fue determinada en base al área de cobertura establecida para una estación celular de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones. Esta área se define diseñando un polígono de cobertura de la estación analizada. Las dimensiones del polígono varían en función a la zona de ubicación de la estación celular, es decir:

- Para una estación localizada en una zona urbana, el polígono cubre aproximadamente 500 metros a la redonda del nodo de interés.
- Para una estación localizada en una zona rural, el polígono cubre aproximadamente 1 kilómetro a la redonda del nodo de interés.

Bajo estas restricciones, se visualizan en los mapas las calles y avenidas que bordean las áreas analizadas y se trazan líneas que definan los límites, creando un polígono que encierre la zona de evaluación.

Estas áreas se ha establecen para que los niveles de calidad y cobertura se mantengan estables al llegar a los bordes de cobertura, para que no existan fallas debido al deterioro de la señal, e incluso se reconecten con estaciones cercanas estableciendo procesos de *handover*. Todas las calles que se encuentren bajo este polígono son consideradas dentro de la ruta de evaluación.

Usualmente la estación celular se divide sectorialmente con el fin de emitir radiación con 360° de cobertura. Sin embargo, existen excepciones como en ESMERALDAS\_PARAISO, en el cual la estación se encuentra ubicada al borde del río Esmeraldas. Las antenas sectoriales han sido enfocadas hacia la población y no hacia el río para no desperdiciar recursos. En estos casos el polígono de cobertura se lo propuso tomando las mismas consideraciones de diámetro mencionadas anteriormente, con la variable de que se consideró a la estación como vértice del polígono creado como se observa en la Figura 17.

La ruta se define en Google Earth, software con el cual se visualiza el relieve, las calles principales y secundarias de la ciudad de Esmeraldas con puntos de referencia.

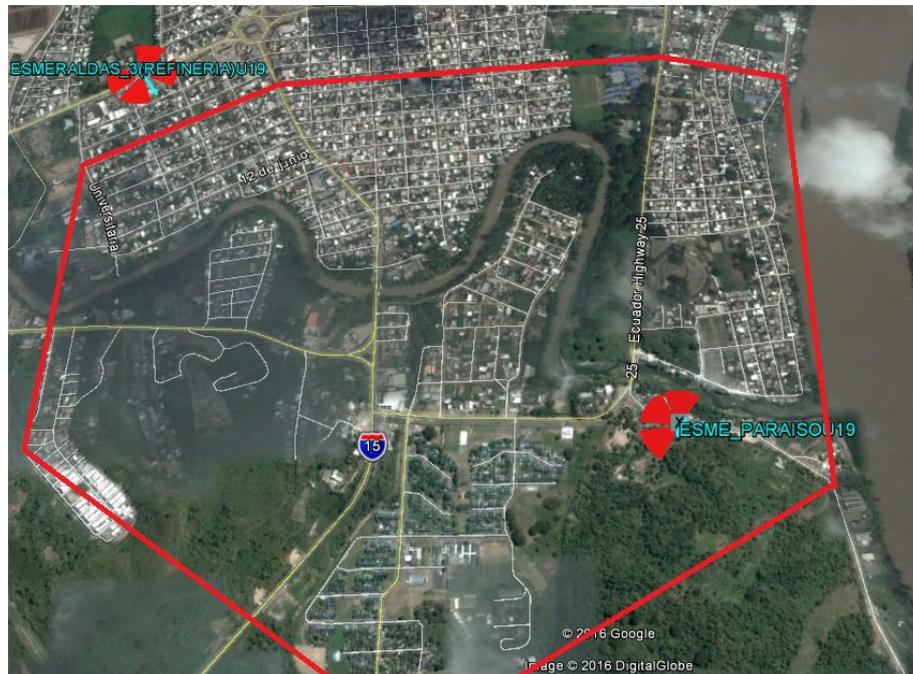


Figura 17. Definición del polígono de evaluación en Google Earth.

### **3.2.Evaluación Inicial - Drive test después de la integración de la nueva estación base celular.**

“Genex Probe”, permite visualizar cada uno de los parámetros durante la toma de las mediciones de calidad y cobertura en los servicios de voz y datos de la ruta de drive test, admitiendo que exista un análisis en campo de los resultados obtenidos de RSCP, Ec/Io, Throughput, CQI, etc. En la Figura 18., se puede ver que la ventana *Serving/Active set and neighboring cells* contiene los valores de RSCP, Ec/Io y P-SC como los datos primordiales para evaluar la red de nuestro interés.

Estos parámetros están definidos por los equipos de teléfonos móviles, módem de datos y escáner, sin embargo, los de mayor interés en el proceso actual corresponden a los terminales móviles del servicio de voz que realizan la llamada larga y las llamadas cortas.

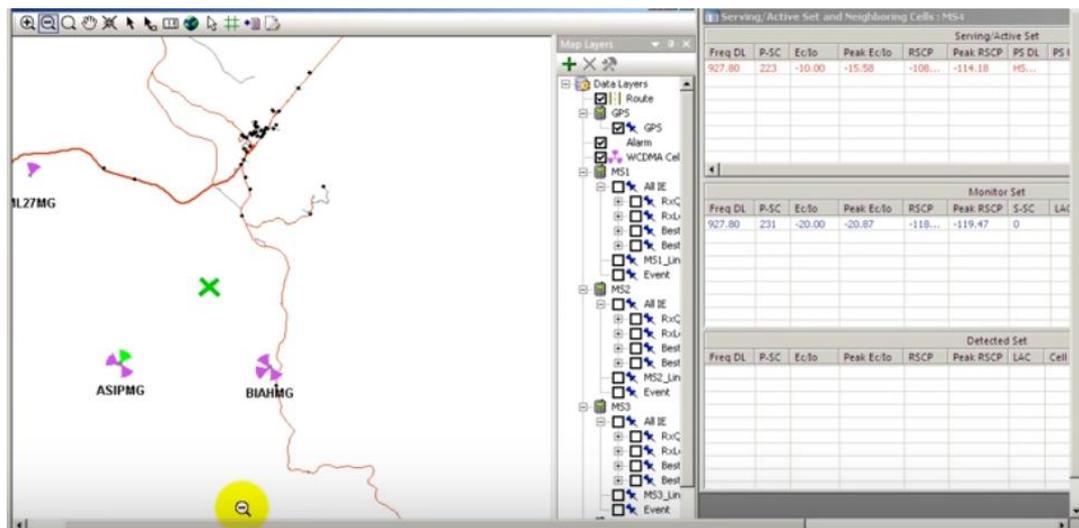


Figura 18. Ventana Serving/Active set and neighboring cells.

### 3.3.Optimización de la estación base celular.

Posterior a la evaluación inicial de drive test que incluyeron las llamadas de voz, carga y descarga de datos y escaneo de frecuencias, se concibieron recomendaciones de cambios físicos y/o lógicos de movimientos en las antenas, descritos en la Tabla 25, mismos que aportaron mejoras al desempeño en el área estudiada. Dichas recomendaciones de cambios físicos y lógicos fueron alteraciones de tilt eléctrico, mecánico, azimuth y cambios de potencia de transmisión.

En el caso de las redes móviles del estudio, existen muchas variables no controlables por parte de los analistas como aspectos de topología del terreno, clima, tráfico de red, fuentes externas de radiación, estaciones vecinas, etc, mismos que afectan las redes móviles ocasionando bajos niveles de cobertura y calidad en cuanto al desempeño de la red. Para esto fue necesario adaptar movimientos en las antenas de la estación celular como parámetros físicos y lógicos para que hagan frente a estas eventualidades asegurando una mejor calidad del servicio ofrecido a los usuarios.

Para solventar estos conflictos, los cambios físicos y lógicos propuestos en la Tabla 23., fueron ejecutados por personal capacitado y certificado en trabajos en alturas, ya

que en su gran mayoría dichas modificaciones se las realiza directamente en las antenas colocadas sobre torres, monopolos, torretas, etc.

### **3.4.Evaluación de verificación - Drive test después de la optimización de la nueva estación base celular.**

Al finalizar el proceso de optimización y realizar todos los ajustes físicos y lógicos sugeridos en la Tabla 23., para mejorar el estado de la red frente a la implementación de una nueva estación base celular, se procede a evaluar el área estudiada mediante la técnica de drive test en el área de evaluación planteada inicialmente con pruebas de llamadas de voz y servicio de datos como método de comprobación de todo el proceso desarrollado anteriormente para el initial tuning.

En esta etapa, se repite el proceso de drive test que se ejecutó en la fase inicial, en el cual el servicio de voz refleja niveles de RSCP deteriorados con zonas de niveles malos de Ec/Io, los resultados han sido mostrados con detalle en el Capítulo 4.

En esta nueva etapa se consideran las mismas condiciones de configuración de equipos y emplea la ruta ya desarrollada inicialmente.

Sin embargo, por ser el drive test final, se deben tomar mayores consideraciones que en el inicial al momento de realizar las pruebas en campo. Dicho esto, se deben verificar los parámetros ya mencionados anteriormente como son RSCP, Ec/Io, P-SC, de manera que exista forma de comparar los resultados obtenidos en las mediciones antes de la optimización con las mediciones finales. Adicional es primordial que se verifiquen también parámetros como el *Block Error Ratio* “BLER DL”, RLC Throughput DL, *Channel Quality Indicator* “CQI”. Estos parámetros brindan un panorama más objetivo y analítico del estado en tiempo real tanto de los servicios de voz como de datos.

El software empleado en el presente proyecto de titulación (Genex Probe), toma de muestras y mediciones para redes celulares, tiene la capacidad de captar los parámetros mencionados anteriormente, y durante su post proceso permitir analizarlos. Genex

Probe despliega tablas y gráficas con las mediciones en tiempo real de RLC Throughput como se observa en la Figura 19.

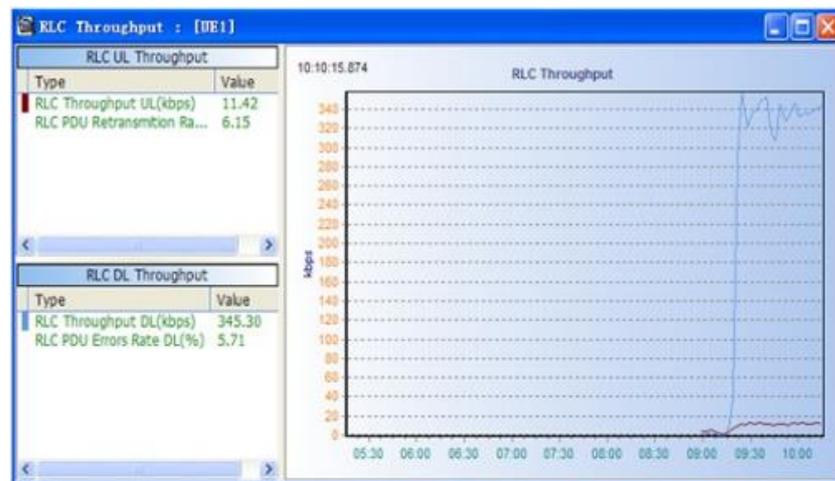


Figura 19. RLC Throughput Genex Probe.

Fuente: (Gujral, 2015)

### 3.5. Pruebas en puntos estáticos.

Las pruebas de puntos estáticos consienten realizar evaluaciones en sitios específicos y estratégicos, normalmente lugares cercanos al nodo con gran concurrencia de personas en donde los niveles de calidad y cobertura sean aceptables. Cada uno de los puntos corresponde a un área de cobertura delimitada por cada PSC del nodo.

Una vez seleccionado el sitio, se desarrollan pruebas de: PS Release99 Throughput, HSDPA/HSPA+ Throughput, HSUPA Throughput, *Ping Round Trip Time (RTT)*.

### 3.6. Pruebas de Single Site Verification (SSV).

La prueba de verificación de SSV es una etapa del proceso de Initial Tuning, de la optimización de red WCDMA para garantizar que las funciones básicas de la celda sean normales, como el acceso a llamadas, la calidad de las llamadas, la transferencia de datos entre otros.

Dentro del proceso, se considera al SSV como un punto de verificación de las funciones del equipo en sitios y en celdas normales. El propósito será cerciorar las funciones básicas, como el acceso, la comunicación y el traspaso de las celdas en los sitios durante el proceso de optimización RF.

Los principales requerimientos durante esta fase del proceso es garantizar que no existan problemas de caída de llamada y problemas de acceso debido a la escasa cobertura de la red. Cada una de estas evaluaciones se las realiza con la finalidad de mejorar la eficiencia en calidad y cobertura de la optimización de la red. (Gujral, 2015)

### 3.6.1. Preparativos para la prueba de Single Site Verification (SSV).

Se debe tomar en cuenta: la información del sitio a ser evaluado (nombre, ubicación, P-SC), el estado del sitio (encendido / apagado), recopilar y comprobar la configuración de los datos (número de portadoras, azimuth, códigos de área local “LAC”) y seleccionar la ubicación en donde se va a desarrollar la prueba como se verifica en la Tabla 17.

Tabla 17

Preparativos para la prueba SSV.

<b>Tarea</b>	<b>Descripción</b>
Comprobación del estado del sitio	Preparación del listado de las celdas en las áreas bajo prueba, y cerciorar de que el estado de estas sea normal.
Recopilación y comprobación de la configuración de datos	Recopilar los documentos de configuración de datos creados en la planificación de red. Comprobar y asegúrese de que la configuración de datos real es coherente con la configuración de datos planificada.
Selección del lugar de prueba	Para asegurar que los servicios probados se proporcionan en la celda de prueba, aseverar que la intensidad de la señal en la celda evaluada es más fuerte que la intensidad de la señal en sus celdas vecinas.

**Fuente:** (Huawei, 2015)

### 3.6.2. Proceso del Single Site Verification (SSV).

La prueba de SSV implica verificar las configuraciones del sitio, la cobertura de la señal y los servicios. En la Tabla 18 se muestra cada una de estas etapas.

Tabla 18

Proceso del SSV.

Tarea	Descripción
<p>Verificación de la cobertura de la señal en el sitio</p>	<p>Realización de pruebas RSCP, Ec/Io y CQI en cada sector del nodo, cerca del sitio: Comprobar si las mediciones recibidas por el MS son mayores o menores que el umbral esperado.</p> <p>Verificar que los PSC concuerden con los establecidos en las tablas de ingeniería. Confirmar que no existan sectores cruzados en el nodo.</p>
<p>Verificación de servicios en el sitio</p>	<p>Realización del servicio de voz (conexión de llamadas, llamadas establecidas, finalización de llamadas).</p> <p>Prueba de transferencia: ejecutar llamadas de prueba para comprobar <i>Handover</i> y el <i>Soft handover</i> uniformes.</p> <p>Prueba de terminación del servicio de datos: Utilizar una MS de prueba para acceder a la red y juzgar si las funciones de servicios de datos son normales, comprobar que sus mediciones superen los rangos establecidos.</p>

**Fuente:** (Huawei, 2015)

Cada una de las pruebas de verificación de servicios de voz y datos, permiten calificar los parámetros de calidad y cobertura mencionados anteriormente durante las etapas de drive test.

Cabe recalcar que durante las pruebas de *Single Site Verification* (SSV), se da prioridad a los resultados obtenidos en throughput tanto en la carga como en la descarga. Los niveles de throughput UL y DL de cada sector deberán superar los rangos establecidos (Tabla 19) para garantizar los servicios de datos y dar lugar al lanzamiento de la nueva estación celular de manera comercial.

Tabla 19

Verificación de servicios de datos.

Servicio de datos por sector	
Unit: kbps.	
Throughput DL	$\geq 8000$ kbps
Throughput UL	$\geq 1900$ kbps

**Fuente:** (Huawei, 2015)

### 3.7. Zonas de exclusión, predicciones y análisis de cobertura

Las predicciones de cobertura para sitios nuevos, se las realiza mediante la ayuda de diferentes software, durante el desarrollo del presente proyecto se manejará el software llamado GENEX U-net, el mismo que permite simular el comportamiento de la nueva estación base celular. (Song, 2010)

El software mencionado, requiere de varios parámetros para establecer la simulación requerida, estos son:

- Planos de elevación y área
- Proyecciones de atenuaciones
- Banda de frecuencia
- Datos de desgastes de transferencia y aceptación

- Elevación de antenas
- Enfoque de antenas
- Desviación de antenas
- Tipo de antenas
- Tipos de propagación
- Fuerza de transmisión

Cada uno de estos parámetros permiten simular el estado real del nodo con el fin de que la predicción obtenida sea lo más efectivo posible como se observa en la Figura 20.

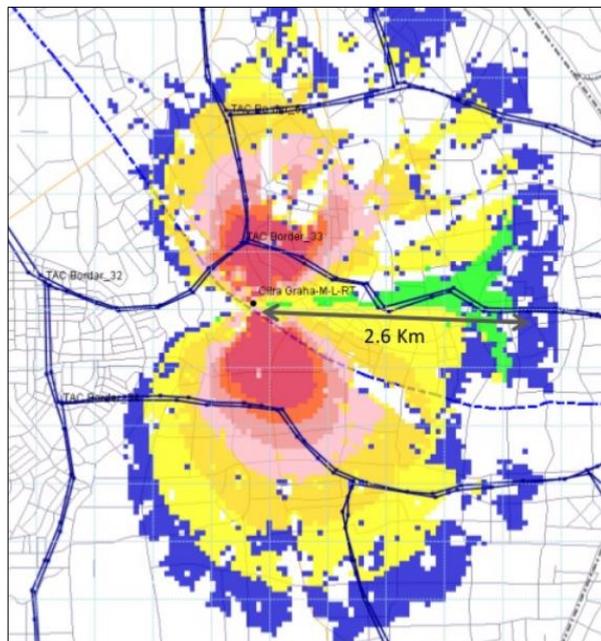


Figura 20. Predicción de cobertura Genex-Unet.

Mediante las predicciones se logra obtener las zonas de cobertura así como las zonas de exclusión. Durante el proceso de inicial tuning estudiado, la visualización de dichas zonas permiten considerar la validez de la optimización realizada anteriormente. Una vez desarrollados los cambios físicos y lógicos en la nueva estación celular, se considera óptimo que las zonas de exclusión sean mínimas y que sobresalgan las zonas de cobertura.

### 3.8. Resumen de indicadores estadísticos

Una vez que el trabajo en campo ha culminado, es necesario recopilar las mediciones, analizarlas y elaborar un balance general del estado de la red con respecto a la nueva estación base celular. Para esto se brindan indicadores estadísticos que reflejan el servicio de voz y datos. Sin embargo la prioridad en esta etapa del proceso se centra en la calidad y la cobertura del sistema de voz, ya que el servicio de datos ha sido evaluado y corregido en etapas anteriores.

Los indicadores de voz como son el *call success rate*, *call drop rate* y el *soft handover rate*, deben mostrar resultados positivos, es decir que tanto el porcentaje de llamadas exitosas como el de SHO alcanzan el 100%, mientras que las llamadas bloqueadas se mantienen en el 0%. Una vez que se consiguió estos niveles en los indicadores se puede deducir que el proceso de initial tuning ha culminado con éxito, sin embargo si los resultados no son los esperados y no superan los target establecidos, es necesario que el proceso se repita generando una nueva optimización.

## CAPITULO 4

### INITIAL TUNING Y OPTIMIZACIÓN EN LA ESTACIÓN BASE CELULAR ESMERALDAS\_PARAISO

#### 4.1. Definición de la estación base celular ESMERALDAS\_PARAISO.

La estación base celular ESMERALDAS\_PARAISO se encuentra ubicada en la provincia de Esmeraldas, en una zona urbana y de gran movimiento comercial de la ciudad de Esmeraldas. Se encuentra ubicada en la carretera principal Ecuador - Highway 25, específicamente su ubicación se la detalla en la Tabla 20.

Tabla 20

Ubicación de la estación ESMERALDAS\_PARAISO.

Nombre Nodo	Site ID	Latitud	Longitud
ESME_PARAISOU19	4635	0.920278	-79.662139

La estación ESMERALDAS\_PARAISO está constituida por una torre de 42 metros de altura como se observa en la Figura 22.



Figura 22. Estación base celular ESMERALDAS\_PARAISO.

## **4.2. Drive test - Afinamiento inicial para el initial tuning**

### **4.2.1. Configuración inicial de las celdas.**

En la Tabla 21, se anexan las celdas de mayor influencia a la estación base celular ESMERALDAS\_PARAISO. Se detalla la altura a la que se encuentran las antenas en los respectivos sectores, parámetros físicos como el azimuth, tilt mecánico y eléctrico, así como también los códigos de identificación con los que trabaja la CNT (Identificación de la celda y *Primary Scrambling Code* P-SC).

Tabla 21

Configuración inicial de las celdas.

Nombre de la Celda	Altura de la Antena (m)	Azimuth (°)	Tilt Mecánico (°)	Tilt Eléctrico (°)	P-SC
ESMERALDAS_3(REFINERIA)1	36	10	0	0	121
ESMERALDAS_3(REFINERÍA)2	36	90	0	2	122
ESMERALDAS_3(REFINERÍA)3	36	180	1	3	123
ESMERALDAS_3(REFINERIA)4	36	260	0	3	124
ESMERALDAS_GATAZO1	24	0	7	6	70
ESMERALDAS_GATAZO2	24	100	-1	0	71
ESMERALDAS_GATAZO3	24	200	6	5	72
ESME_PARAISO1	29.5	10	1	6	131
ESME_PARAISO2	29.5	240	0	4	132
ESME_PARAISO3	29.5	310	2	5	133

#### 4.2.2. Configuración de los equipos utilizados en el proceso de Initial Tuning.

Tabla 22

Configuración de los equipos.

TERMINAL	FUNCIÓN	MODELO DEL TERMINAL
MS1- Teléfono1 - VOZ	Llamada larga al número de prueba de CNT	SAMSUNG S5
MS2 - Teléfono2 - VOZ	Llamada corta al número de prueba de CNT, duración de 30 segundos con intervalos de 10 segundos.	SAMSUNG S5



MS3 – Modem 3G – DATOS	Descarga – DL de un archivo de 50 Mbps del servidor de CNT. Carga – UL de un archivo de 10 Mbps al servidor de CNT	SAMSUNG S5
Escáner, antena RF, GPS	Recepción de señal y ubicación	EQUIPO PCTEL

#### 4.2.3. Definición de la ruta de evaluación.

Se definió el polígono de evaluación (Figura 17), bajo las consideraciones expresadas en el Capítulo 3, limitando al norte con el barrio Codesa, al sur con el barrio El Paraíso, al este con el barrio la Propicia y al oeste con el barrio Julio Estupiñan y la Av. Universitaria. Considerando realizar el drive test en todas las calles que se encuentran dentro de dicho polígono. La ruta creada se localiza dentro de la ciudad de Esmeraldas.

En la Figura 21, se observa con color verde las calles más relevantes aledañas al nodo de nuestro interés que son parte del recorrido de drive test, en las cuales se desea conocer la deficiencia de calidad y cobertura de servicio.

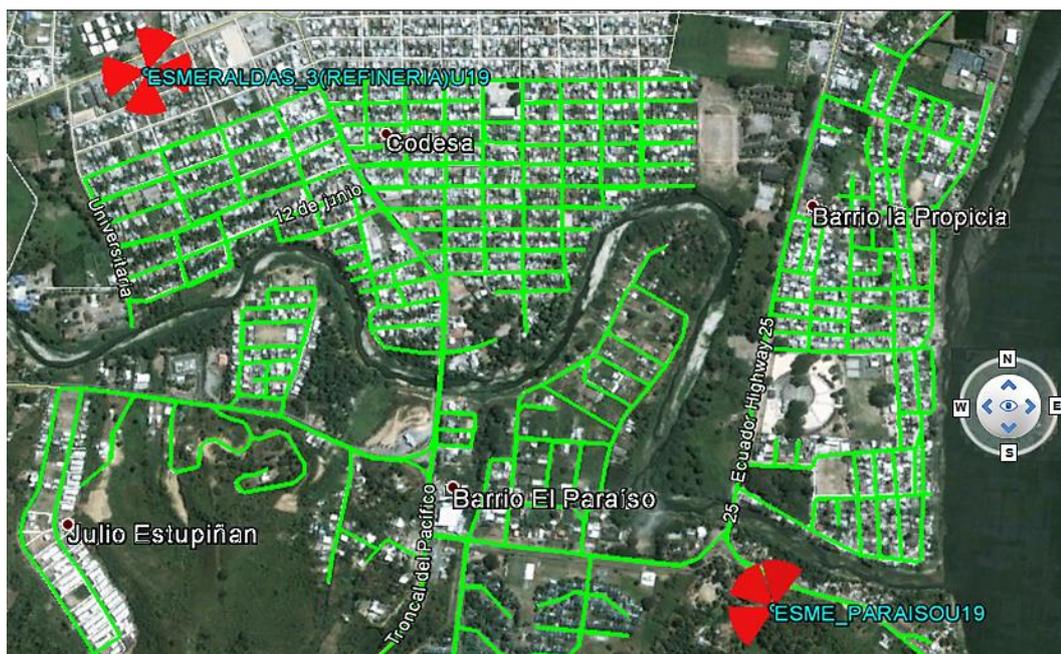


Figura 21. Ruta de evaluación para drive test.

### 4.3. Drive test después de la integración del nodo ESMERALDAS\_PARAISO.

De manera inmediata al levantamiento e integración de la estación base celular ESMERALDAS\_PARAISO, se desarrolló el drive test preliminar con el objetivo de evaluar el estado actual de dicha estación, tanto en el servicio de voz como en datos. Como resultado de este drive test, se muestra a continuación los resultados obtenidos de los parámetros clave y de mayor interés a ser analizados.

#### 4.3.1. RSCP obtenido de la llamada larga.

Durante el drive test, mediante el terminal MS1 (llamada larga), se obtuvieron niveles de señal aleatorios, como se observa en la Tabla 23. De un total de 2038 muestras tomadas, el 90% de ellas se consideran niveles aceptables, mientras el 10 % restante indican niveles degradados e inaceptables dentro de una red celular.

Tabla 23

Resultados de niveles de RSCP tomados por la llamada larga.

Niveles de RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color	Interpretación
(-85 , 0]	1347	66.09%	Verde	Excelente
(-95 , -85]	492	24.14%	Azul	Bueno
(-105 , -95]	141	6.92%	Amarillo	Malo
(-150 , -105]	58	2.85%	Rojo	Muy malo

En la zonas cercanas a las estaciones ESMERALDAS\_3\_REFINERIA, ESMERALDAS\_PARAISO y de manera general durante el seguimiento de la ruta, se visualizan niveles degradados de RSCP (Mediciones color azul, amarillo y rojo - Figura 22), es decir sus mediciones no superan los -85 dBm recomendados.

Existe un número considerable de muestras (58) con niveles de RSCP muy malos (entre -105 dBm y -150 dBm) en zonas aledañas al nodo ESMERALDAS\_3\_REFINERIA.

La degradación se puede presentar debido a varias condiciones como son el relieve del terreno, la configuración actual del nodo o al tráfico de la red debido al número de usuarios concurrentes durante el recorrido de drive test. En ocasiones los problemas se presentan a causa de la distancia significativa con los nodos más cercanos, sin embargo este no es el caso ya que los peores niveles se muestran en áreas cercanas a las estaciones celulares.

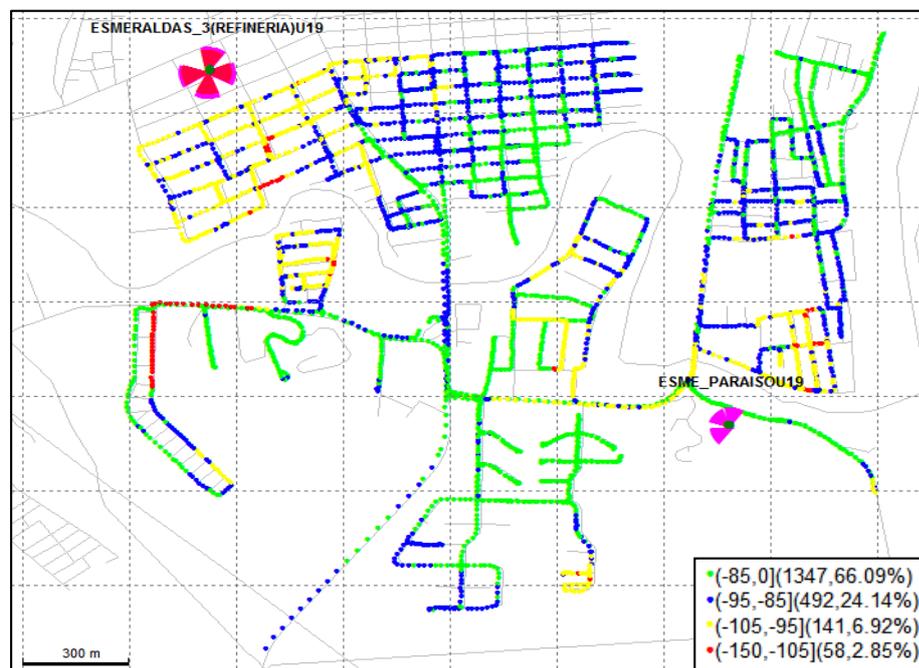


Figura 22. Niveles de RSCP obtenido en la llamada larga.

#### 4.3.2. Ec/Io obtenido de la llamada larga.

En cuanto al parámetro de calidad Ec/Io, se tiene niveles deteriorados en zonas específicas de la ruta de prueba. Las muestras de color azul y rojo (Figura 24) reflejan problemas en la configuración de parámetros físicos y lógicos que mantienen las estaciones cercanas (Tabla 21), como la potencia de transmisión, tilt mecánico y eléctrico. Al existir potencias de transmisión muy elevadas en los nodos, se provoca sobre-propagación y por ende incremento en la interferencia entre celdas, degradando el parámetro Ec/Io en esta población.

Tabla 24

Resultados de niveles de Ec/Io tomados por la llamada larga.

Niveles de Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color	Interpretación
(-10 , 0]	1103	54.12%	Verde	Excelente
(-12, -10]	595	29.2%	Azul	Bueno
(-15 , -12]	267	13.1%	Amarillo	Malo
(-50 , -15]	73	3.58%	Rojo	Muy malo

Las mediciones del Ec/Io presentadas en la Tabla 23 muestran que durante la ruta de prueba existieron registros que fluctúan entre 0 dB a -10 dB, considerados como valores aceptables para este parámetro según la Tabla 11. Sin embargo también se observan medidas entre -12 dB y -15 dB, siendo que estos niveles no garantizan buena calidad de servicio y pueden presentar eventos como llamadas caídas o accesos fallidos. Mientras que se despliegan varias muestras con niveles muy degradados (-15 dB y -50 dB) que incluso pueden provocar pérdida de cobertura de señal.

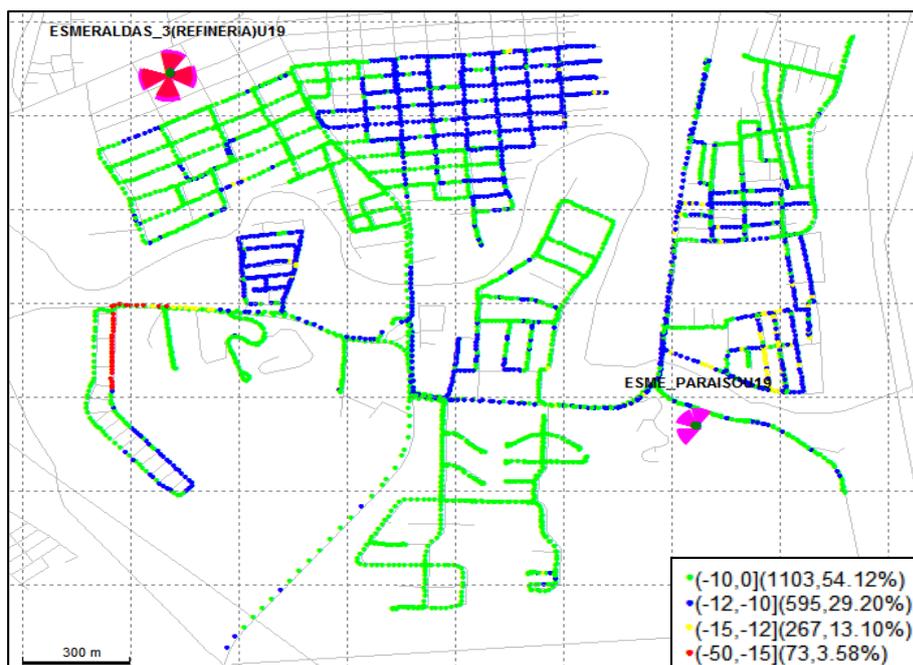


Figura 23. Niveles de Ec/Io obtenido en la llamada larga.

### 4.3.3. Scrambling Code (SC) obtenido por el escáner del mejor servidor.

En el análisis de *Scrambling Code* con respecto a los datos obtenidos en la Figura 24, se observa que cada celda está presente en su área de cobertura definida y no se detectan sectores cruzados. Sin embargo para las celdas ESMERALDAS\_GATAZO3 y ESMERALDAS\_3\_REFINERÍA2 presentan sobre-propagación, esto se debe a su elevada potencia de transmisión y a sus lóbulos de radiación no controlados por Tilts Eléctricos y Mecánicos, provocando que el terminal realice cambios continuos de celdas.

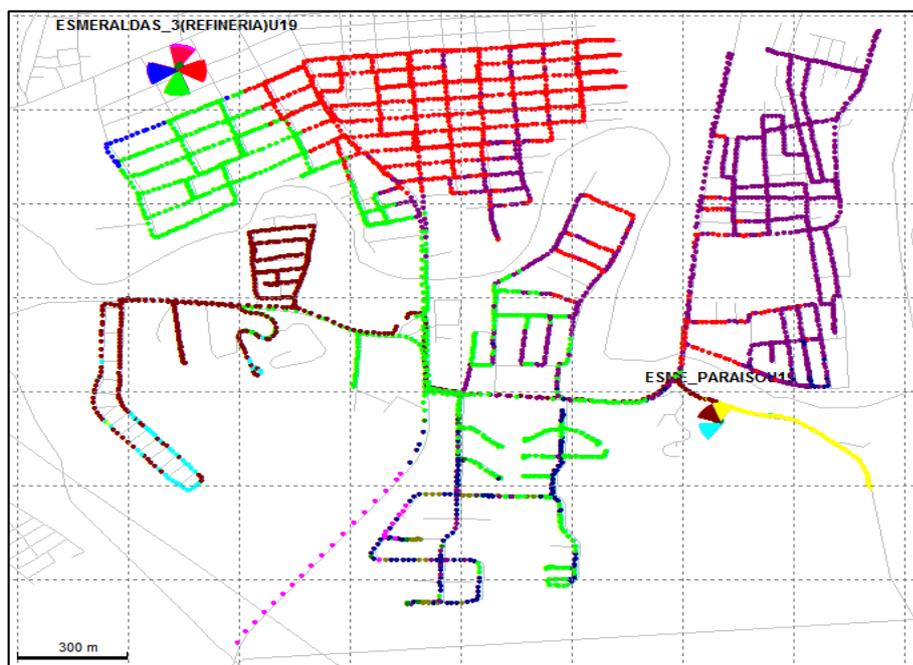


Figura 24. Scrambling Code obtenido por el scanner.

En la siguiente Tabla 25 se especifican los *Scrambling Codes* con sus correspondientes nombres de celdas y sectores, así como el número de muestras obtenidas durante las pruebas para cada SC. Los SC se identifican con un color, el mismo que es mostrado en el mapa de la Figura 24.

Tabla 25

Identificación de Celdas por Scrambling Code

P-SC	Nombre de la Celda	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
122	ESMERALDAS_3_REFINERÍA2	1117	27.34%	Red
123	ESMERALDAS_3_REFINERÍA3	915	22.40%	Green
124	ESMERALDAS_3_REFINERIA4	22	0.539%	Blue
127	TACHINA2	28	0.685%	Magenta
131	ESME_PARAISO1	75	1.836%	Yellow
132	ESME_PARAISO2	45	1.102%	Cyan
133	ESME_PARAISO3	473	11.579%	Brown
70	ESMERALDAS_GATAZO1	13	0.318%	Dark Green
71	ESMERALDAS_GATAZO2	184	4.504%	Dark Blue
72	ESMERALDAS_GATAZO3	1187	29.058%	Purple
98	LA_TOLITA2	26	0.636%	Olive

#### 4.4. Análisis inicial del drive test preliminar

Durante las pruebas de drive test y el post-proceso, es posible evaluar el desempeño individual por sector de las estaciones de interés.

- Para el caso, se ha encendido el sector 3 de la estación ESMERALDAS\_GATAZO como se observa en la Figura 25, obteniéndose sobrepropagación del mismo a grandes distancias (Figura 26), sin embargo esta propagación no genera niveles óptimos en la zona de interés de su cobertura. Pues en la Figura 26. se visualiza las muestras con niveles de RSCP degradados de color azul y amarillo, mientras que las muestras con valores de RSCP aceptable se observan con color verde.

Serving/Active Set														
Freq DL	P-SC	Ec/Io	Peak Ec/Io	RSCP	Peak RS...	PS DL	PS UL	S-SC	Carrier	LAC	Cell Name	Distance(m)	Cell ID	RNC ID
1982.5	72	-11.00	-11.92	-104.3	-105.22			0		402	ESMERALDAS_GATAZO3	2436	46023	

Figura 25. Ventana Serving/Active Set and Neighboring cells: MS1.

Para controlar la cobertura y eliminar la sobrepropagación del sector 3 de la estación ESMERALDAS\_GATAZO, se necesita realizar movimientos físicos a la antena de dicho sector. Se propone recortar verticalmente el lóbulo principal para disminuir y limitar la distancia de cobertura y concentrar niveles aceptables en un área dedicada a este sector. Esto se logra mediante cambio de tilt eléctrico de su valor actual  $5^{\circ}$  a  $8^{\circ}$ .

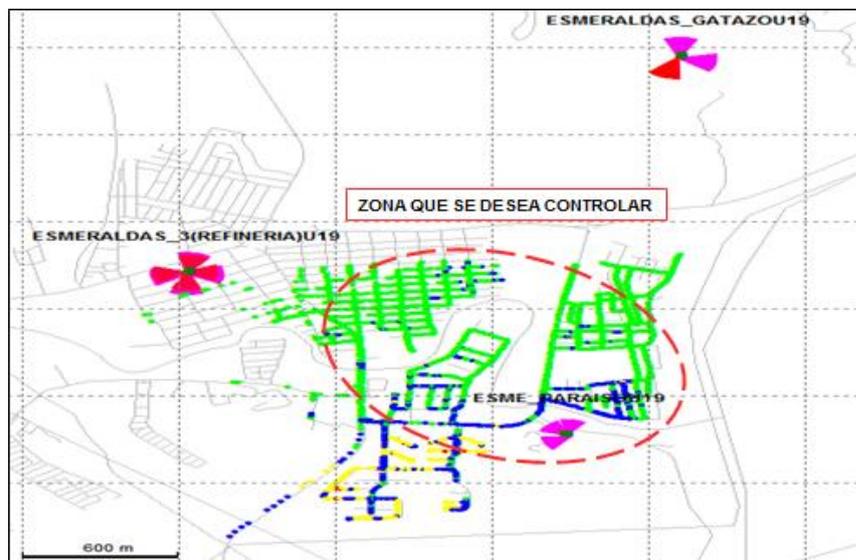


Figura 26. Niveles de RSCP del nodo ESMERALDAS\_GATAZO3

- Esta vez se ha encendido el sector 3 de la estación ESMERALDAS\_3\_REFINERIA como se observa en la Figura 27.

Serving/Active Set														
Freq DL	P-SC	Ec/Io	Peak Ec/Io	RSCP	Peak RS...	PS DL	PS UL	S-SC	Carrier	LAC	Cell Name	Distance(m)	Cell ID	RNC ID
1982.5	123	-10.1	-10.42	-93.2	-100.1			0		402	ESMERALDAS_3_REFINERIA3	2034	46173	

Figura 27. Ventana Serving/Active Set and Neighboring cells: MS1.

Dicho sector irradia a distancias demasiado lejanas como se visualiza en la Figura 28, puesto que sus muestras llegan hasta zonas de cobertura asignadas al nodo

ESME\_PARAISO. Esto provoca degradación de calidad de señal en las zonas de interés de cobertura que le corresponde a dicho sector.

Para solventar el problema de deterioración de niveles de señal se designa una estación celular específica a la zona que se desea controlar de la Figura 28. y mejorar la cobertura, dicha estación es ESME\_PARAISO, específicamente el sector 1. Se propuso realizar cambio de Tilt Eléctrico de 6 a 4 para incrementar la longitud del lóbulo de cobertura y Tilt Mecánico de 1 a 2 para enfocar la radiación directamente hacia la zona con malos niveles.

Para recortar la distancia de cobertura de la estación ESMERALDAS\_3\_REFINERIA3, es necesario disminuir el lóbulo de cobertura realizando cambio de Tilt Eléctrico, siendo su valor actual de  $3^{\circ}$ , modificarlo a  $5^{\circ}$ .

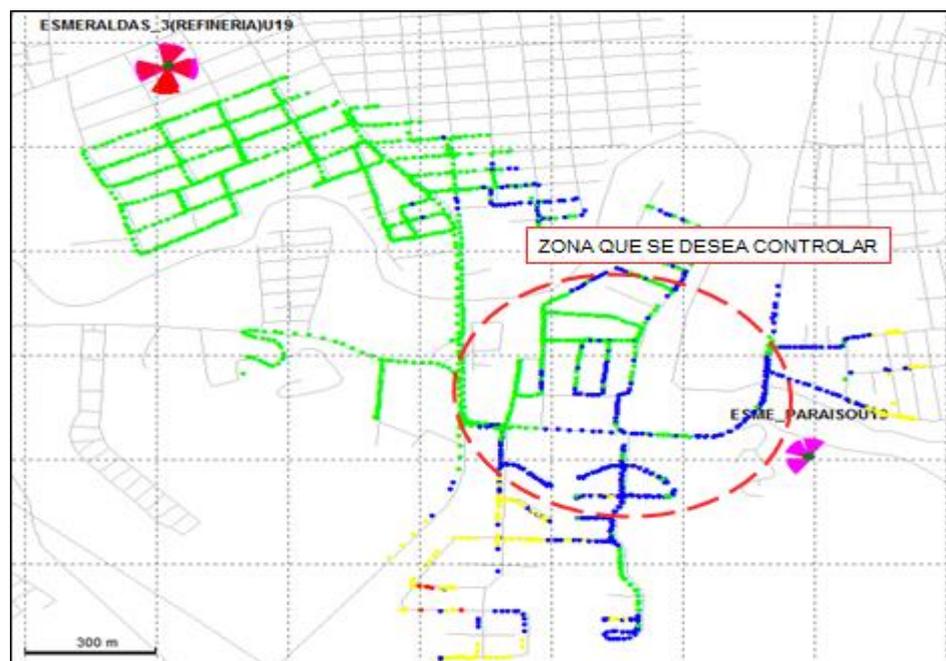


Figura 28. Niveles de RSCP del nodo ESMERALDAS\_3\_REFINERIA3.

- Se ha encendido el sector ESME\_PARAISO2, obteniéndose muy pocas muestras de radiación como se observa en la Figura 29, ya que los parámetros físicos de tilt de las antenas de este nodo no enfocan las áreas de interés. Es necesario realizar cambio de Tilt Eléctrico y Tilt Mecánico, para aprovechar la funcionalidad de la estación y mejorar la cobertura de este sector. Se planteó

realizar cambio de Tilt Eléctrico de 4 a 2 para encoger la longitud del lóbulo de radiación y Tilt Mecánico de 0 a 2 para apuntar directamente hacia el área que se desea controlar.

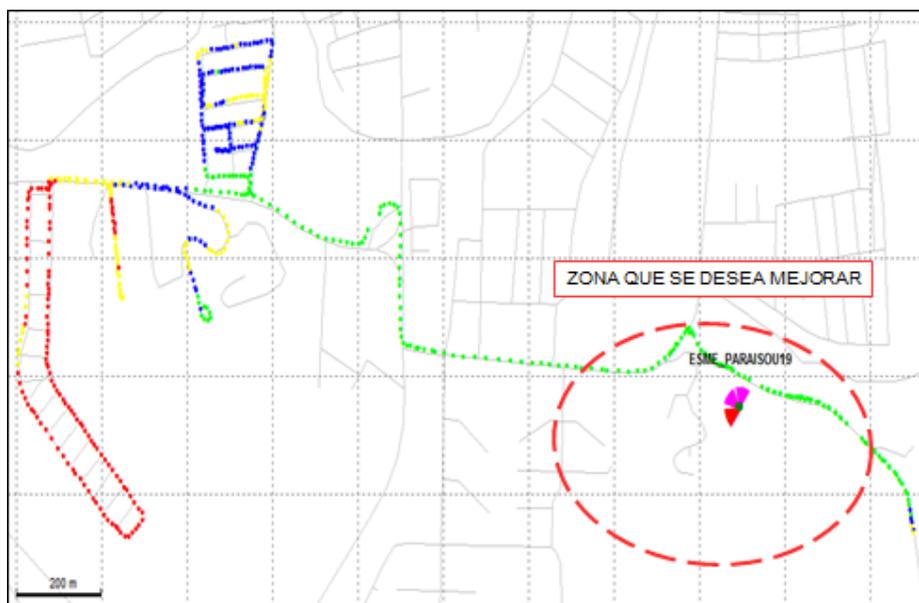


Figura 29. Niveles de RSCP del nodo ESMERALDAS\_PARAISO2.

- Se encendió el sector ESME\_PARAISO3, y de igual forma que en el sector 2, se está desaprovechando su radiación ya que sus muestras son muy escasas como se verifica en la Figura 30. Se desea orientar la radiación hacia la zona designada para este sector, lo cual se ejecutó con un cambio de Tilt Mecánico de 2 a 3. Para definir un área específica de este sector se modificó el Tilt Eléctrico de 5 a 3.

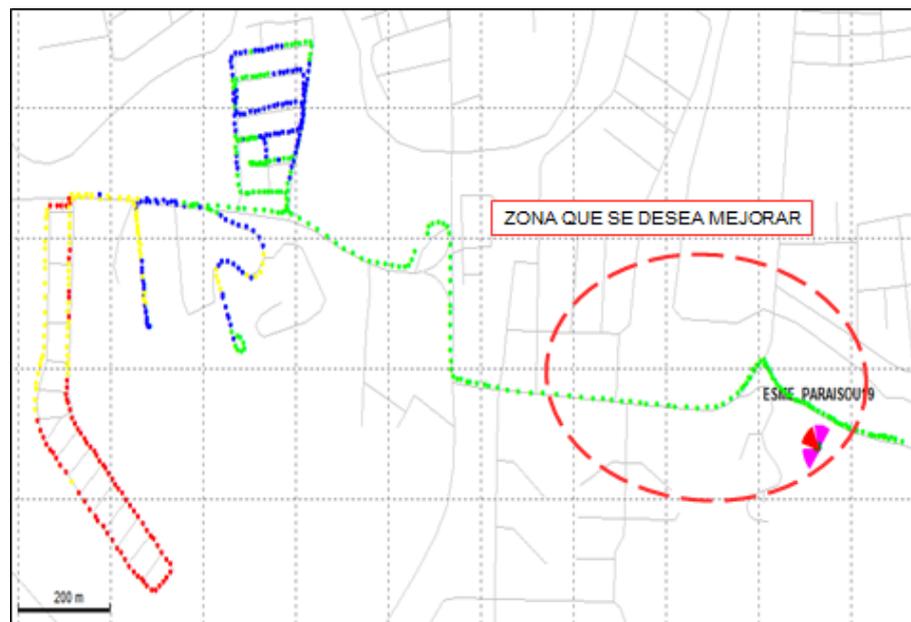


Figura 30. Niveles de RSCP del nodo ESMERALDAS\_PARAISO3.

#### 4.5. Optimización física del nuevo nodo

En la presente Tabla 26 se encuentran definidos los cambios físicos a realizar como parte de la optimización de los nodos.

Tabla 26

Optimización física.

CELLNAME	PARAMETER CHANGE	OLD VALUE	NEW VALUE
ESMERALDAS_GATAZO3	E-Tilt	5	8
ESMERALDAS_3(REFINERIA)3	E-Tilt	3	5
ESMERALDAS_3(REFINERIA)3	Azimuth	180	190
ESME_PARAISO1	M-Tilt	1	2
ESME_PARAISO1	E-Tilt	6	4
ESME_PARAISO2	M-Tilt	0	2
ESME_PARAISO2	E-Tilt	4	2
ESME_PARAISO3	M-Tilt	2	3
ESME_PARAISO3	E-Tilt	5	3

#### 4.6. Drive test después de la optimización física del nodo ESME\_PARAISO.

La ruta propuesta para esta etapa del proceso es la misma desarrollada en la prueba de drive test inicial (Figura 31, 32), ya que es necesario evaluar bajo las mismas condiciones y exigencias.

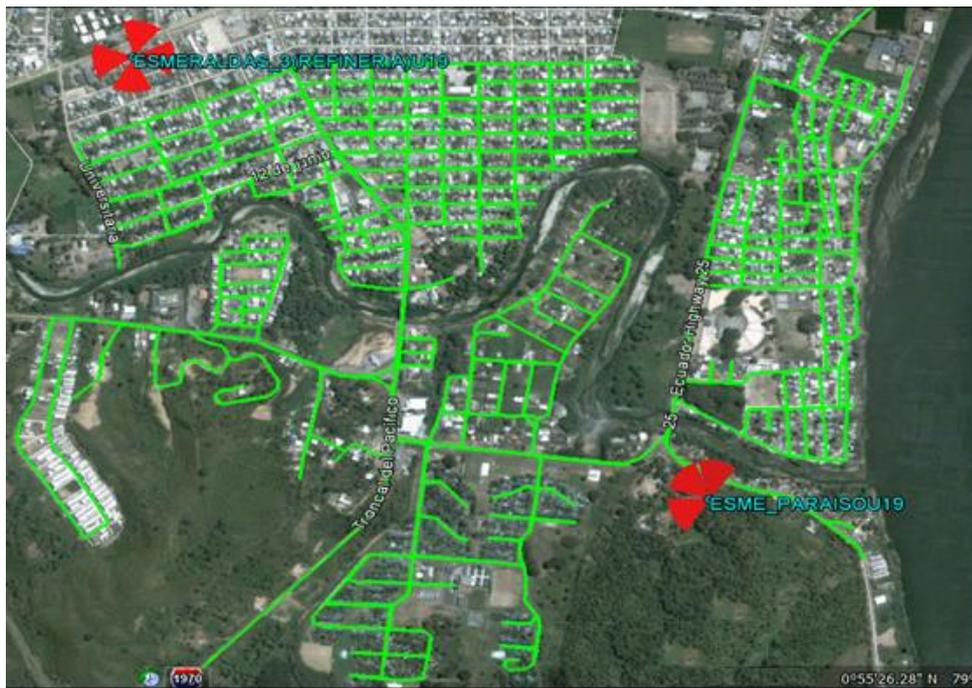


Figura 31. Ruta de prueba del drive test en Google Earth.

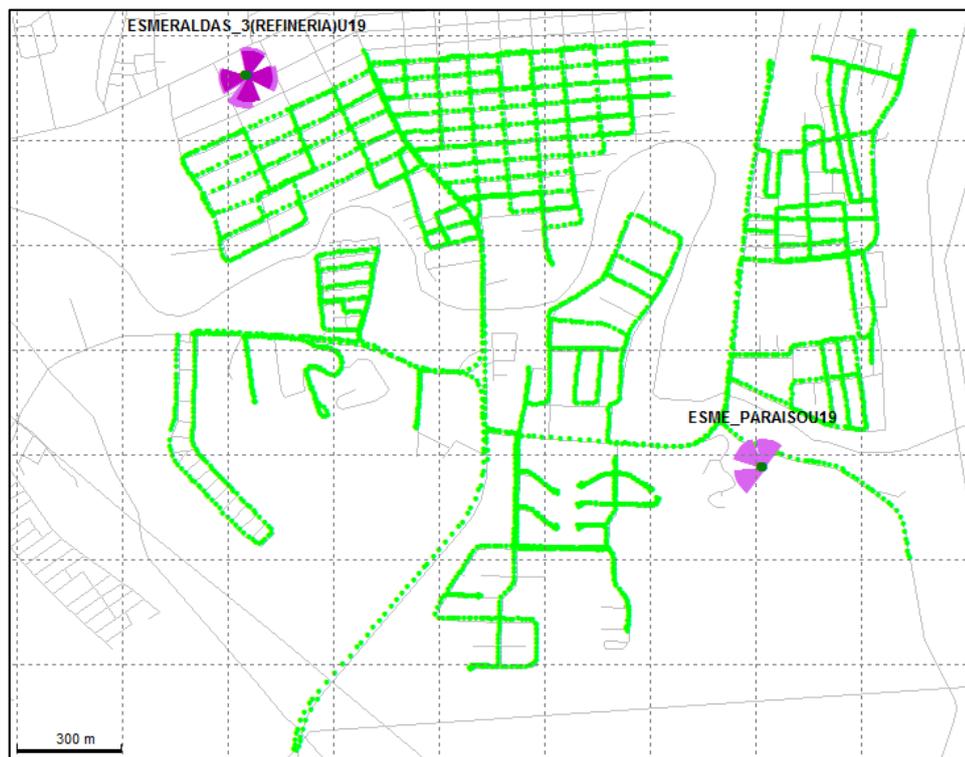


Figura 32. Ruta de prueba del drive test.

#### 4.6.1. RSCP obtenido de la llamada larga.

La siguiente Figura 33 muestra los niveles de RSCP del mejor servidor tomado por el terminal correspondiente a la llamada larga.

En la Tabla 27 a continuación se evidencia el incremento de cobertura para la zona evaluada de la población de Esmeraldas.

En la Figura 33 y 34, se muestra gráficas comparativas del proceso de optimización, es decir los resultados de RSCP antes y después de la optimización. Obteniendo mejoras una vez ejecutados los cambios físicos y lógicos propuestos. Al iniciar el proceso, el número de muestras con niveles de RSCP óptimos correspondían al 66,09% mientras que en la evaluación final fueron de 77,31% mostrando un progreso en la red. De igual manera los niveles de RSCP más degradados se han reducido del 2,85% a 0,17% en las mediciones finales.

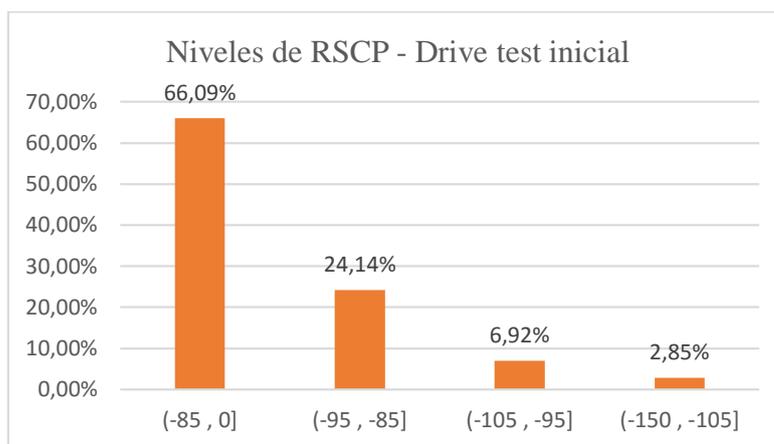


Figura 33. Niveles de RSCP - Drive test después de la integración del nodo

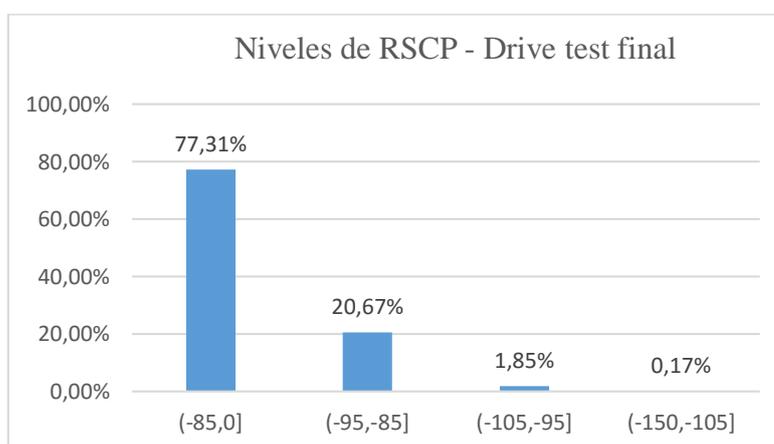


Figura 34. Niveles de RSCP - Drive test después de la optimización física.

Los niveles de RSCP mostrados en la Figura 35 indican un progreso de las zonas mencionadas en el proceso de initial tuning, especialmente las áreas aledañas al sitio ESME\_PARAISO específicamente en las bandas de cobertura del sector 1 y 3, en la cual los valores de RSCP obtenidos son menores a -85dBm.

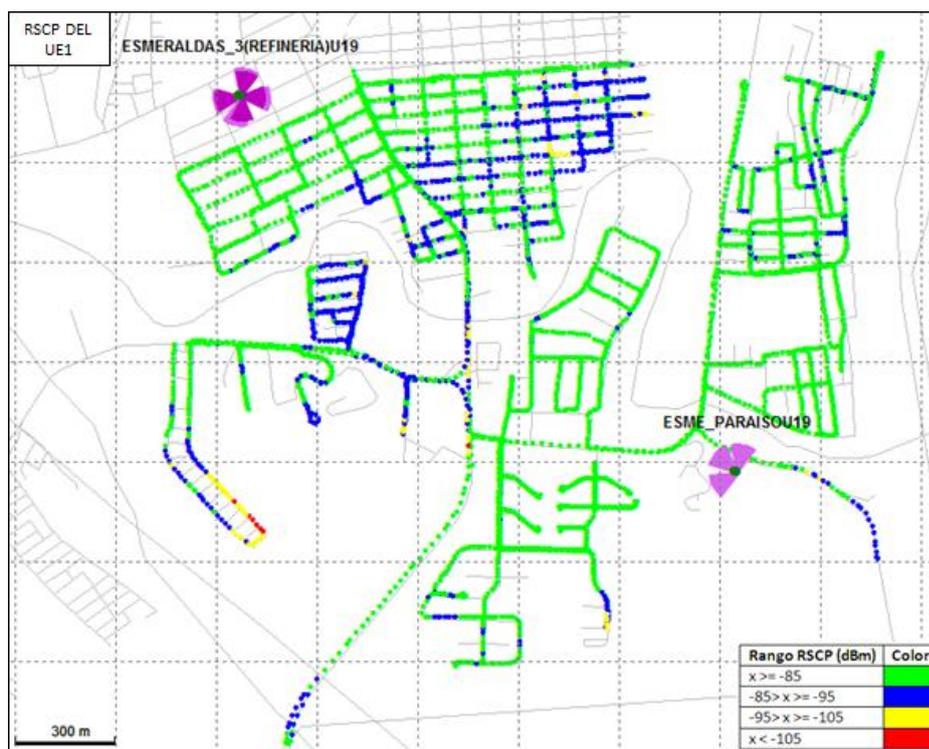


Figura 35. Niveles de RSCP tomados por el MS1 (Llamada Larga).

Tabla 27

Resultados de niveles de RSCP tomados por el MS1.

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color	Interpretación
$(-85, 0]$	3175	77.31%	Verde	Excelente
$(-95, -85]$	849	20.67%	Azul	Bueno
$(-105, -95]$	76	1.85%	Amarillo	Malo
$(-150, -105]$	7	0.17%	Rojo	Muy malo

#### 4.6.2. Ec/Io obtenido de la llamada larga.

Una vez realizados los cambios físicos propuestos durante la optimización, se puede verificar en las Figuras 36 y 37 las variaciones positivas que presentó este proceso. Los niveles de Ec/Io aceptables para garantizar el desempeño de la red se incrementaron del 54,12% a 71,92%. Mientras tanto las muestras con niveles de Ec/Io malos se han reducido de 3,58% a 0,12%.

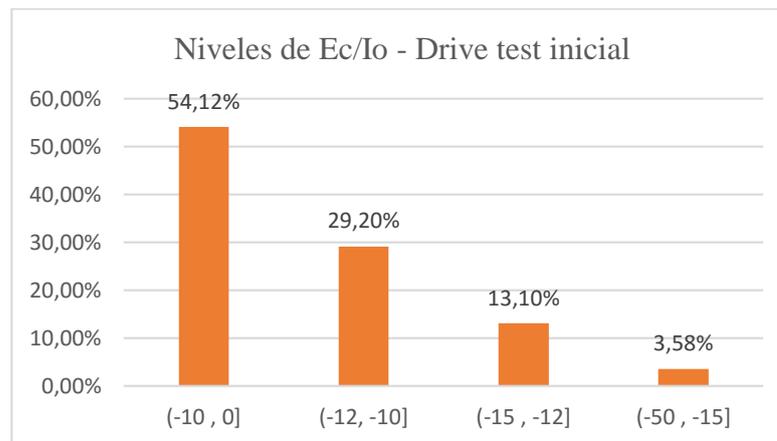


Figura 36. Niveles de Ec/Io - Drive test después de la integración del nodo.

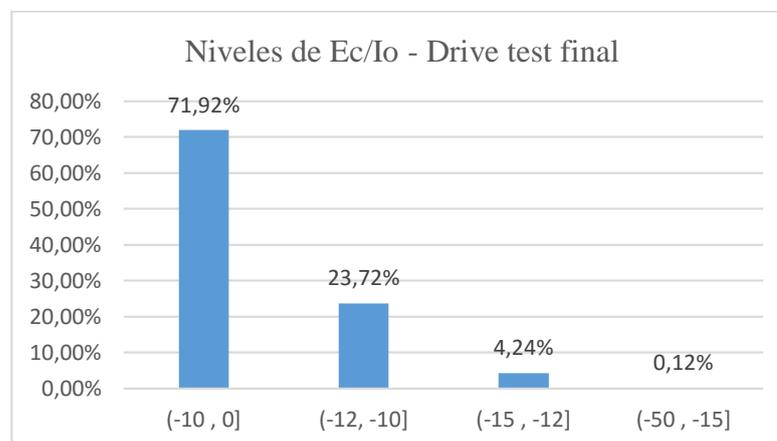


Figura 37. Niveles de Ec/Io - Drive test después de la optimización física.

La Figura 38 muestra los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomado por el terminal correspondiente a la llamada larga. Se obtienen niveles de Ec/Io tolerables para la red, los mismos que en su gran mayoría son menores a  $-10\text{dB}$  como se observa en la Tabla 28, garantizando calidad en el servicio prestado.

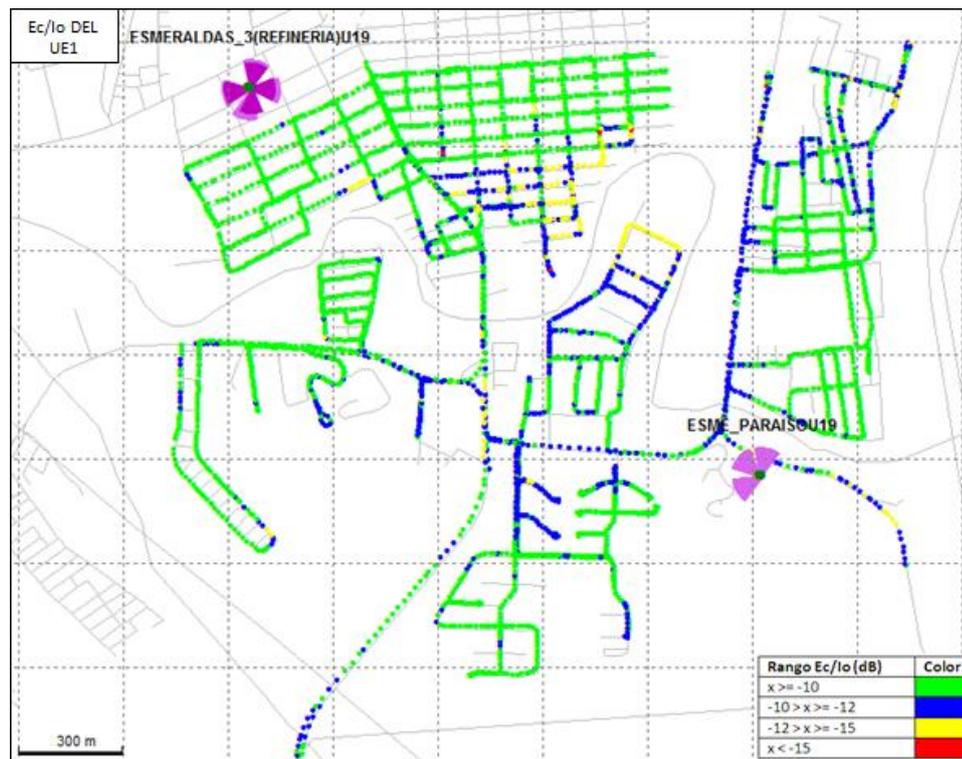


Figura 38. Niveles de Ec/Io tomados por el UE1 (Llamada Larga).

Tabla 28

Resultados de niveles de Ec/Io tomados por el MS1.

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color	Interpretación
(-10 , 0]	2954	71.92%	Verde	Excelente
(-12 , -10]	974	23.72%	Azul	Bueno
(-15 , -12]	174	4.24%	Amarillo	Malo
(-50 , -15]	5	0.12%	Rojo	Muy malo

#### 4.6.3. Scrambling Code (SC) obtenido por el escáner del mejor servidor.

Como se identifica en la Figura 39, mediante la optimización física del proceso de initial tuning, se ha logrado obtener servidores definidos correspondientes a la propagación de cada celda. Se ha eliminado la posibilidad de solapamiento y sobrepropagación de los nodos estudiados.

Mediante la definición de colores es viable identificar la zona de cobertura de cada sector de las celdas analizadas, mismas que han sido definidas por el *Scrambling Code* como se manifiesta en la Tabla 29.

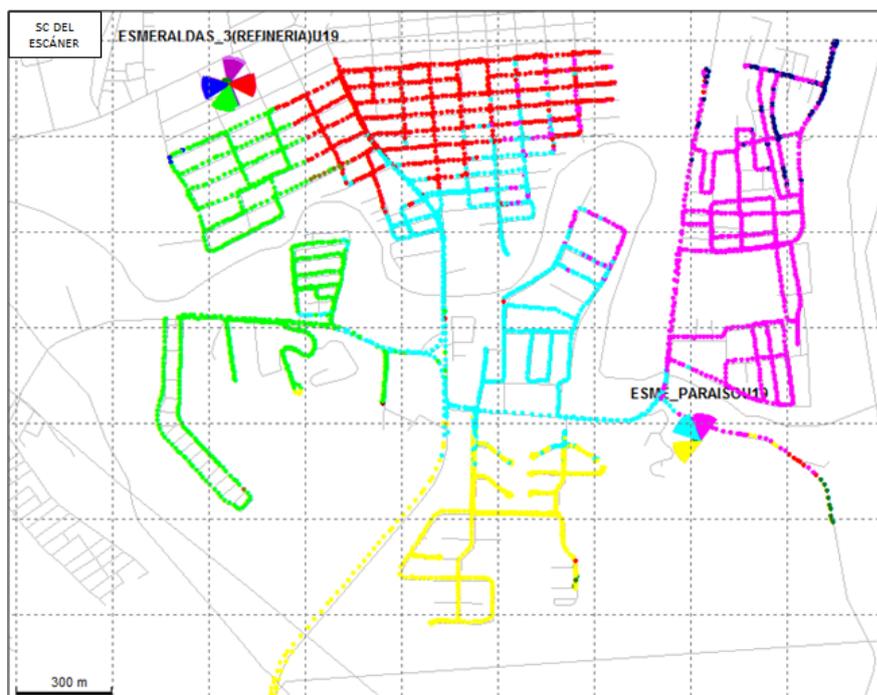


Figura 39. Scrambling Code detectado por el escáner.

Tabla 29

Resultados del Scrambling Code

P-SC	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
122	853	20.75%	Red
123	750	18.24%	Green
124	4	0.10%	Blue
131	912	22.18%	Magenta
132	603	14.67%	Yellow
133	869	21.15%	Cyan
70	1	0.02%	Brown
71	14	0.34%	Dark Green
72	94	2.29%	Dark Blue
77	1	0.02%	Purple
98	10	0.24%	Olive

#### 4.6.4. BLER DL

Al analizar las medidas recolectadas de BLER en la Figura 40, se despliegan valores aceptables durante la prueba de drive test, demostrando buenas condiciones de transmisión tanto en el nuevo nodo como en las estaciones cercanas.

Los valores de los resultados de la Tabla 30 que han sido obtenidos ondulan entre 0% y 2%, los cuales se consideran muy buenos y exhiben el buen rendimiento de la red.



Figura 40. Mediciones de BLER tomados por el UE1 (Llamada Larga).

Tabla 30

Resultados de las mediciones de BLER

Rango BLER (%)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$0 \leq x < 1$	2501	64.24%	Verde
$1 \leq x < 2$	987	25.35%	Azul
$2 \leq x < 3$	307	7.89%	Amarillo
$x \geq 3$	98	2.52%	Rojo

#### 4.6.5. RLC Throughput DL

Una vez realizada la ruta de drive test, se ha analizado los niveles de throughput DL, obteniendo buenos resultados en las mediciones. El 88% de las muestras tomadas por el módem reflejan descargas superiores a los 3 Mbps incluyendo un 5% en el cual las descargas superan los 9 Mbps, estos son valores con los que el operador garantiza su servicio de datos para sus usuarios.

La siguiente Figura 41 muestra la tasa de transmisión downlink medido por el Modem.



Figura 41. Mediciones de RLC Throughput DL del Módem.

Tabla 31

Resultados de las mediciones de RLC throughput DL.

Rango RLC Throughput DL (kbps)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$0 \leq x < 256$	34	1.14%	Red
$256 \leq x < 512$	19	0.64%	Orange
$512 \leq x < 1024$	52	1.74%	Yellow
$1024 \leq x < 2048$	253	8.49%	Cyan
$2048 \leq x < 4096$	1070	35.89%	Blue
$4096 \leq x < 8192$	1403	47.06%	Green
$x \geq 8192$	150	5.04%	Dark Green

De manera estadística se ha logrado obtener los datos de la Tabla 32, en la cual se recalca los resultados obtenidos en la Tabla 31. Se obtiene un máximo de descarga de 10Mbps y el promedio en throughput downlink de 4.4 Mbps en toda la ruta de evaluación.

Tabla 32

Resultados de RLC throughput DL.

	Máximo (kbps)	Promedio (kbps)
RLC PDU Throughput DL	10899.60	4472.05

#### 4.6.6. CQI

La Figura 42 revela los niveles de CQI medido por el Modem al momento de la prueba FTP DL. Se logra definir que cerca del 80% de las muestras obtenidas corresponden a niveles muy buenos de CQI, los mismos que fluctúan entre 20 y 30.

En la Tabla 33 se detallan la cantidad de muestras tomadas y los resultados de las mediciones de CQI en la zona evaluada.

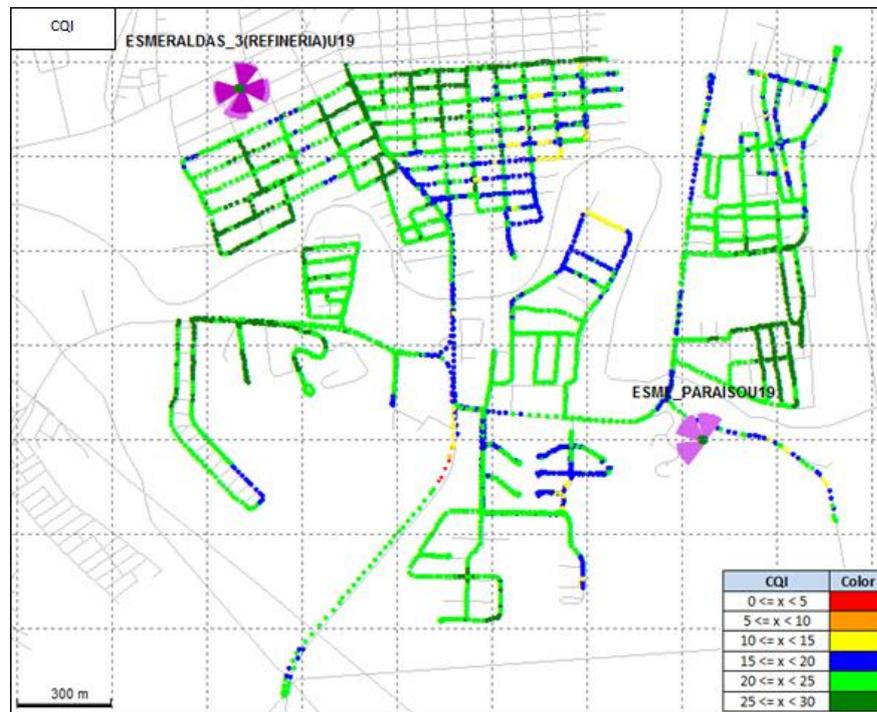


Figura 42. Niveles de CQI tomada por el MS3 (datos).

Tabla 33

Resultado de las mediciones de CQI.

CQI	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$0 \leq x < 5$	4	0.10%	Rojo
$5 \leq x < 10$	3	0.07%	Naranja
$10 \leq x < 15$	85	2.08%	Amarillo
$15 \leq x < 20$	739	18.10%	Azul
$20 \leq x < 25$	2424	59.35%	Verde claro
$25 \leq x < 30$	829	20.30%	Verde oscuro

#### 4.7. Pruebas en puntos estáticos.

La siguiente Tabla 34, muestra los puntos seleccionados para las pruebas estáticas así como el resultado de las mismas:

Tabla 34

Puntos estáticos evaluados.

Puntos Estáticos	Referencia	Longitud (°)	Latitud (°)	Best Server - PSC
1	Ciudadela EPP, Ecuador Highway 25.	-79.664785°	0.920886°	133

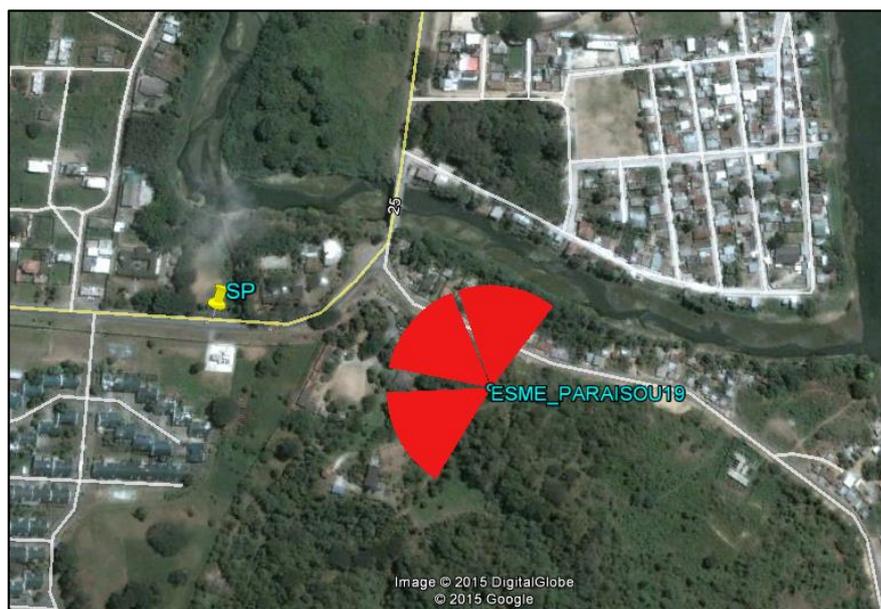


Figura 43. Ubicación Geográfica del Punto Estático (SP).

En los siguientes ítems describen los resultados generados durante las pruebas ejecutadas en el punto estático. Dichas pruebas corresponden a Release99, throughput dowlink y uplink y finalmente evaluación de ping.

#### 4.7.1. PS Release99 Throughput

Las especificaciones de Release99 para servicios de paquetes de datos son de 384 Kbps de descarga mínimos. Sin embargo, como se observa en la Figura 44, durante la evaluación se obtuvo throughput DL promedio de 400 kbps.

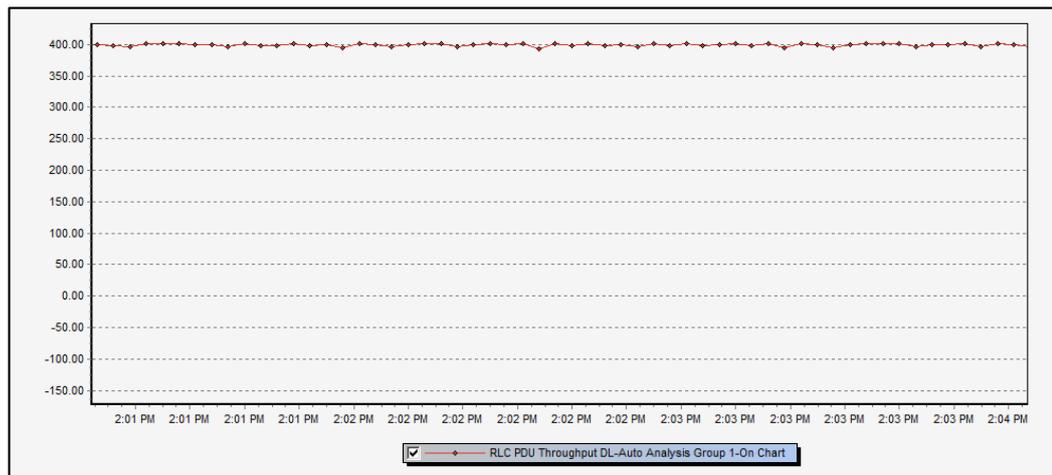


Figura 44. PS R99 RLC Throughput DL.

Tabla 35

RLC Throughput DL.

Punto Estático	RLC PDU Throughput DL	Máximo (kbps/s)	Promedio (kbps/s)
1	PS R99	402.12	400.37

#### 4.7.2. HSDPA/HSPA+ Throughput en pruebas estáticas

Al realizar pruebas de descarga de datos sobre el punto escogido para la evaluación, se obtuvieron mediciones de throughput DL promedio de 10Mbps (Tabla 36). Estos resultados reflejan el excelente desempeño de la estación ESME\_PARAISO. La Figura 45 expone las muestras tomadas por el módem en un promedio de tiempo de 5 minutos.

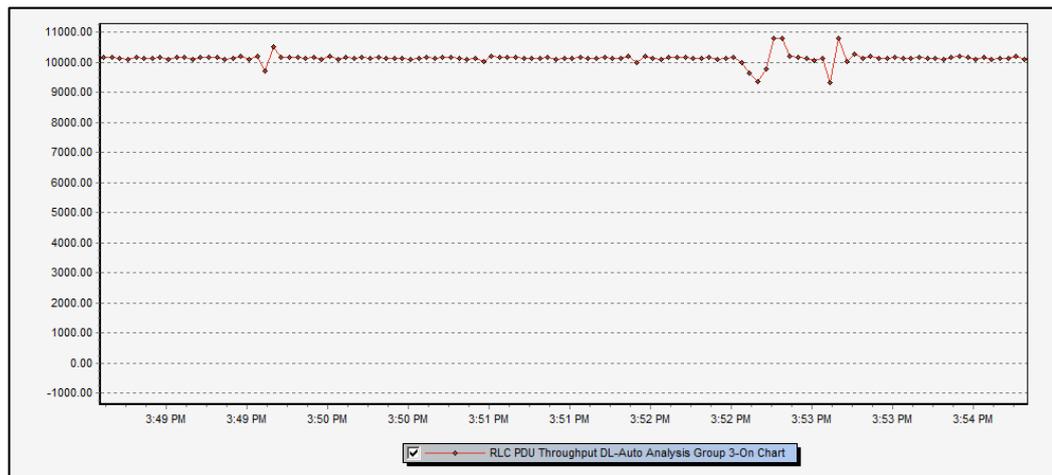


Figura 45. HSDPA/HSPA+ RLC Throughput DL.

Tabla 36

Resultado de las mediciones de HSDPA/HSPA+ Throughput en el punto estático.

Punto Estático	RLC PDU Throughput DL	Máximo (kbp/s)	Promedio (kbp/s)
1	HSDPA / HSPA+ Prueba estática	10800.17	10175.47

#### 4.7.3. HSUPA Throughput

Los valores captados al realizar pruebas de carga de datos al servidor son de manera general muy buenos, el valor promedio de UL es de 1.7Mbps. La Figura 46, nos permite observar valores mínimos de UL de 1.3Mbps y máximos de 2Mbps. Los resultados mencionados caben en el rango de throughput UL ideal dentro del estudio éste parámetro.

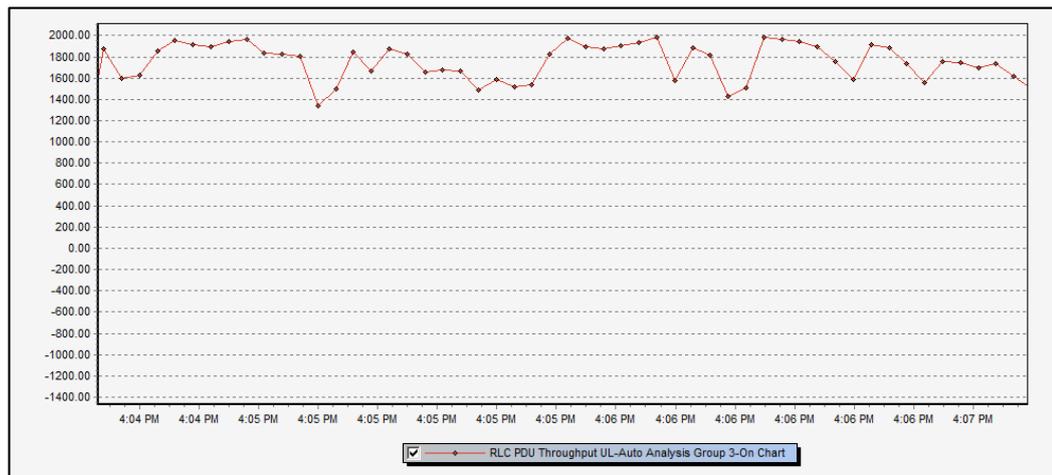


Figura 46. HSUPA RLC Throughput UL.

Tabla 37

Resultado de las mediciones de HSUPA throughput en el punto estático.

Punto Estático	RLC PDU Throughput UL	Máximo (kbp/s)	Promedio (kbp/s)
1	HSUPA	1984.16	1757.64

#### 4.7.4. Ping Round Trip Time (RTT)

La finalidad de esta evaluación en el punto estático escogido es realizar de manera efectiva 50 pings hacia un servidor escogido en un promedio de tiempo que no debe superar los 60 ms.

Los resultados conseguidos se detallan en la Figura 47 misma que muestra con exactitud el tiempo de retardo de cada uno de los pings. Finalmente la Tabla 38 corrobora la información gráfica e indica que el tiempo promedio que le tomó realizar los 50 pings fue de 56 ms, con lo que se reafirma el buen rendimiento de la estación base celular ESME\_PARAISO.

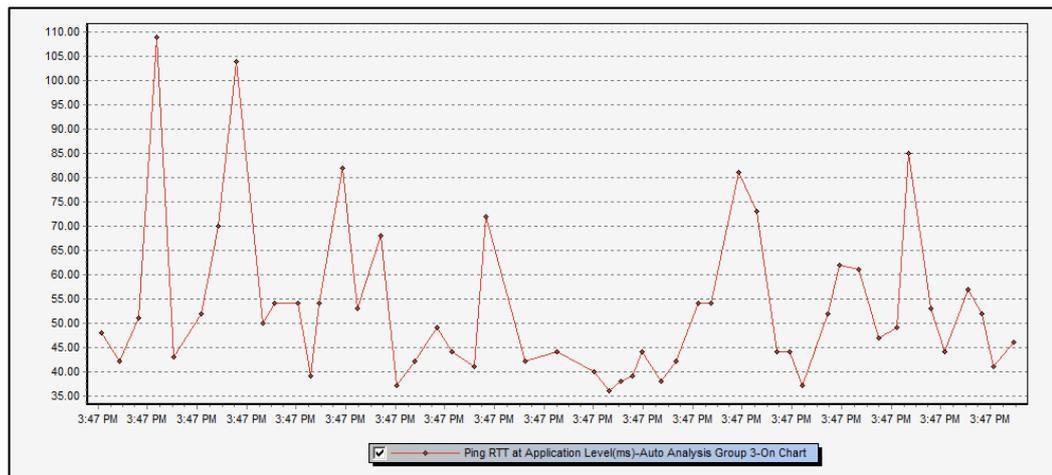


Figura 47. Round Trip Time (RTT).

Tabla 38

Resultado de las mediciones de ping RTT en el punto estático.

Punto Estático	Ping Round Trip Time	Máximo (ms)	Promedio (ms)
1	RTT	109	53.14

#### 4.8. Pruebas de SSV

Durante las pruebas de SSV, se ha puesto total interés en evaluar de forma individual el throughput DL y UL en cada sector de la estación ESME\_PARAISO con la finalidad de garantizar el servicio de datos que proporciona este nodo.

A continuación se presentan las Figuras 48 a la 53 de throughput en DL y UL por cada sector.

- Sector1.

La prueba de descarga de datos en el sector 1 de la estación ESME\_PARAISO, muestra un throughput promedio de 10 Mbps. Como se observa en la Figura 48, la velocidad de descarga permanece constante durante aproximadamente 5 minutos.

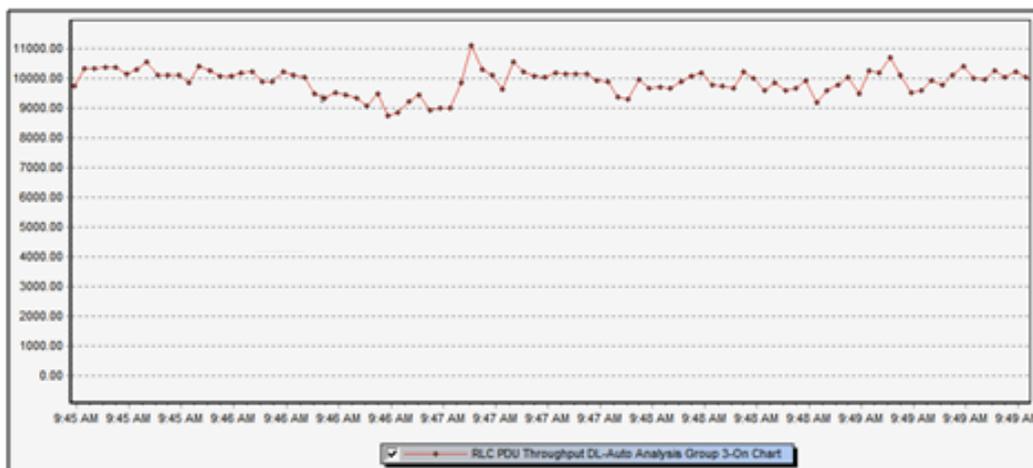


Figura 48. HSDPA/HSPA+ Throughput DL ESME\_PARAISO1

La prueba de carga de datos en el sector 1 de la estación ESME\_PARAISO, muestra un throughput promedio de 1.9 Mbps, llegando a tener picos de carga de 2 Mbps y siendo su valor mínimo de 1.7 Mbps, como se visualiza en la Figura 49.

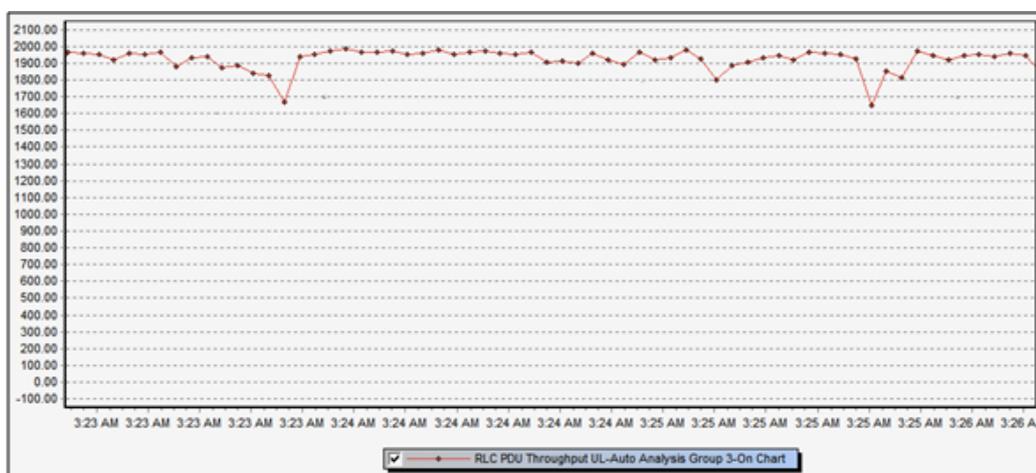


Figura 49. HSUPA RLC Throughput UL ESME\_PARAISO1

- Sector2.

La prueba de descarga de datos en el sector 2 de la estación ESME\_PARAISO, muestra un throughput promedio de 10 Mbps. Los valores de DL en este sector permanecen estables como se observa en la Figura 50.

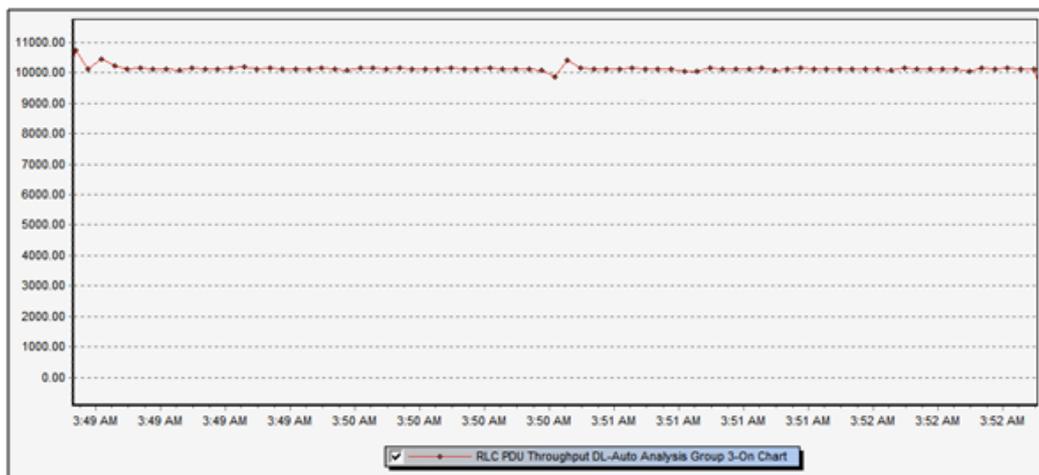


Figura 50. HSDPA/HSPA+ Throughput DL ESME\_PARAISO2.

La prueba de carga de datos en el sector 2 de la estación ESME\_PARAISO, muestra un throughput promedio de 1.9 Mbps durante 5 minutos de evaluación.

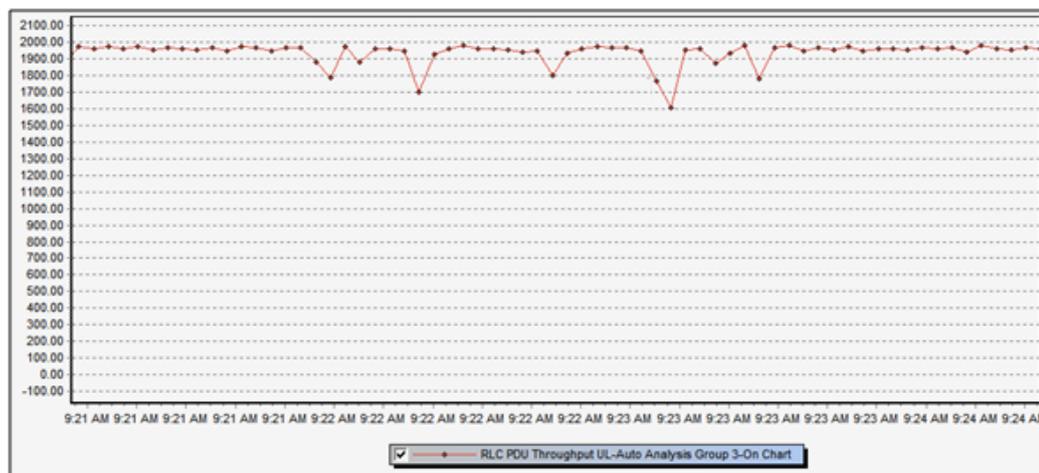


Figura 51. HSUPA RLC Throughput UL ESME\_PARAISO2.

- Sector3.

La prueba de descarga de datos en el sector 3 de la estación ESME\_PARAISO, muestra un throughput promedio de 10 Mbps. Se observan muestras que superan dicho valor llegando a tener DL de 11 Mbps.

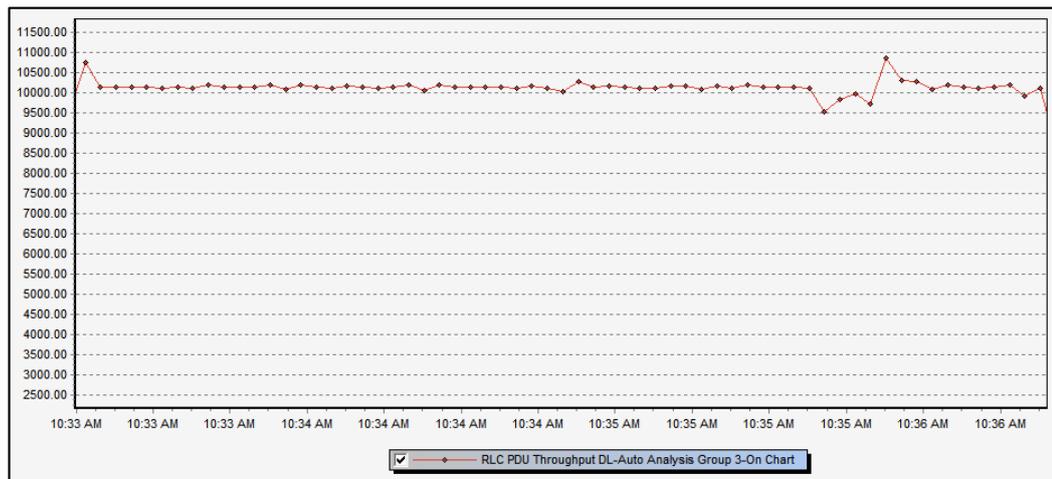


Figura 52. HSDPA/HSPA+ Throughput DL ESME\_PARAISO3.

La prueba de carga de datos en el sector 3 de la estación ESME\_PARAISO, muestra un throughput promedio de 2 Mbps con variaciones mínimas de UL. Durante el intervalo de evaluación, la muestra con uplink mínimo es de 1.9 Mbps.

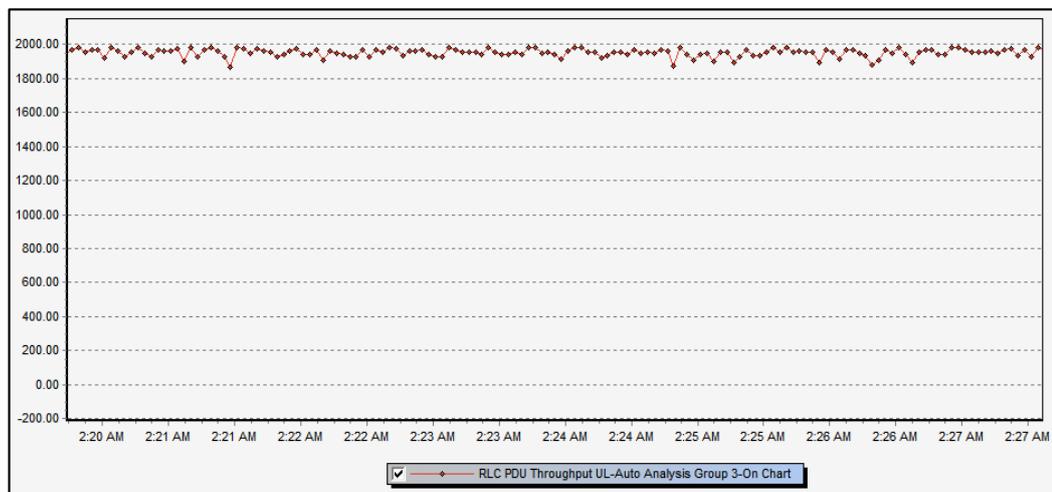


Figura 53. HSUPA RLC Throughput UL ESME\_PARAISO3.

#### 4.9. Zonas de exclusión, predicciones y análisis de cobertura

De acuerdo a los drive test y predicciones realizados en la zona de interés correspondiente al sitio: ESME\_PARAISO de la ciudad de Esmeraldas, se puede observar que se tiene una pequeña zona de exclusión debido a las fallas geográficas de la zona.

A continuación en la Figura 54 se presenta la predicción del sitio de interés, en la cual se observa las áreas de borde y zona de exclusión.



Figura 54. Predicción de la estación base celular ESME\_PARAISO.

#### 4.10. Resumen de indicadores estadísticos

- Indicadores de acceso y retenibilidad

##### Call Success Rate

En la siguiente Tabla 39 se muestra el número de intentos de llamadas y el número de llamadas exitosas presentes en la zona de cobertura evaluada por el terminal MS2, sin incluir los eventos presentados en las zonas de exclusión previamente definidas:

Tabla 39

Resultados de call success rate

Intentos de llamadas	Llamadas exitosas	Porcentaje de llamadas exitosas (%)
132	132	100%

### Call Drop Rate

En la siguiente Tabla 40 se muestra el número de llamadas exitosamente establecidas y el número de llamadas cuya desconexión fue anormal en la zona de cobertura evaluada por el terminal MS2, sin incluir los eventos presentados en las zonas de exclusión previamente definidas:

Tabla 40

Resultados de call drop rate

Llamadas exitosas	Llamadas con desconexión anormal	Porcentaje de llamadas caídas (%)
132	0	0.00%

### Soft Handover (SHO) Success Rate

En la siguiente Tabla 41 se muestran las estadísticas de *Soft Handover* que han sido efectuados de manera normal en la zona evaluada mediante el terminal MS2.

Tabla 41

Estadísticas de soft handover

Active Set Update Request	Active Set Update Success	Porcentaje de SHO exitosos (%)
497	497	100%

#### 4.11. Análisis de resultados

- Basado en los resultados de drive test realizado después de la etapa de optimización en el proceso de initial tuning que se muestran en este documento, se puede definir que la cobertura del nodo ESME\_PARAISO está dentro de los parámetros normales de servicio que se muestran en la Tabla 42, mismos que la operadora requiere para garantizar sus servicios hacia los usuarios.

Tabla 42

Parámetros finales de calidad y cobertura de la estación celular ESME\_PARAISO.

<b>Parámetros de calidad y cobertura</b>	
RSCP	-85 dBm
Ec/Io	-10 dB
Throughput DL sector 1	10 Mbps
Throughput UL sector 1	1.9 Mbps
Throughput DL sector 2	10 Mbps
Throughput UL sector 2	1.95 Mbps
Throughput DL sector 3	10 Mbps
Throughput UL sector 3	1.9 Mbps

- El nodo ESME\_PARAISO, cubre aproximadamente 500m a su alrededor, en la Figura 55 se puede ver que la distribución de cobertura de cada celda finalmente se encuentra balanceada, cumpliendo con los objetivos de cobertura planteados en el proceso de initial tuning de este nodo. Específicamente cada sector de la estación celular ESME\_PARAISO se lo ha identificado con un color como se detalla en la Tabla 43.

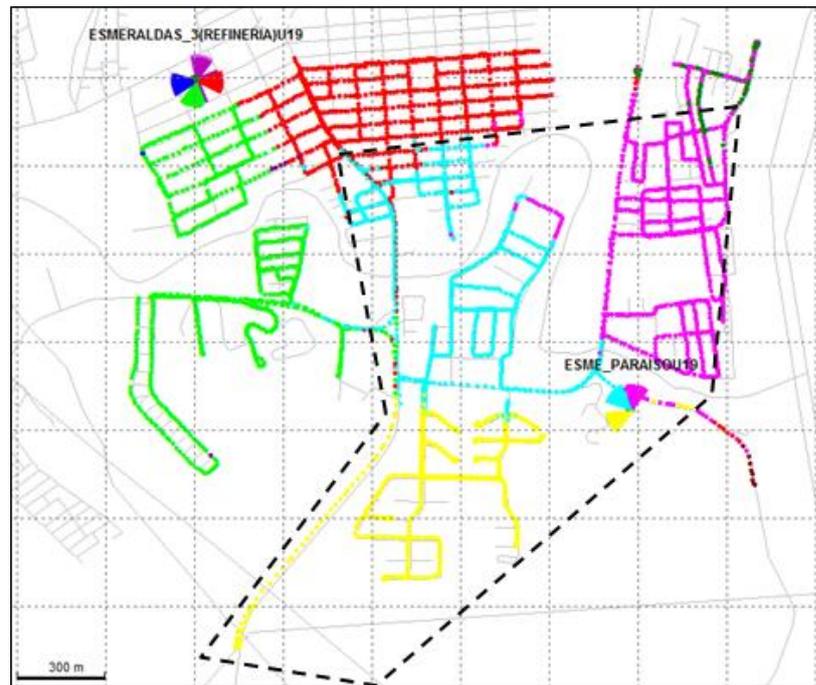


Figura 55. Distribución de la cobertura del nodo ESME\_PARAISO.

Tabla 43

Identificación de celdas por color de la estación ESME\_PARAISO.

P-SC	Nombre de la Celda	Color
131	ESME_PARAISO1	Magenta
132	ESME_PARAISO2	Cyan
133	ESME_PARAISO3	Yellow

- En la Figura 56 se puede ver bajos niveles de RSCP específicamente en la zona marcada, esto se debe al accidentado perfil del terreno y la significativa distancia con respecto los nodos más cercanos.



Figura 56. Mediciones de RSCP en zona evaluada.

- Se visualiza en el perfil topográfico de la Figura 57 una gran elevación geográfica en la zona marcada con niveles de cobertura bajos (Figura 56), lo cual dificulta la recepción de señal, respecto al nodo ESME\_PARAISO.

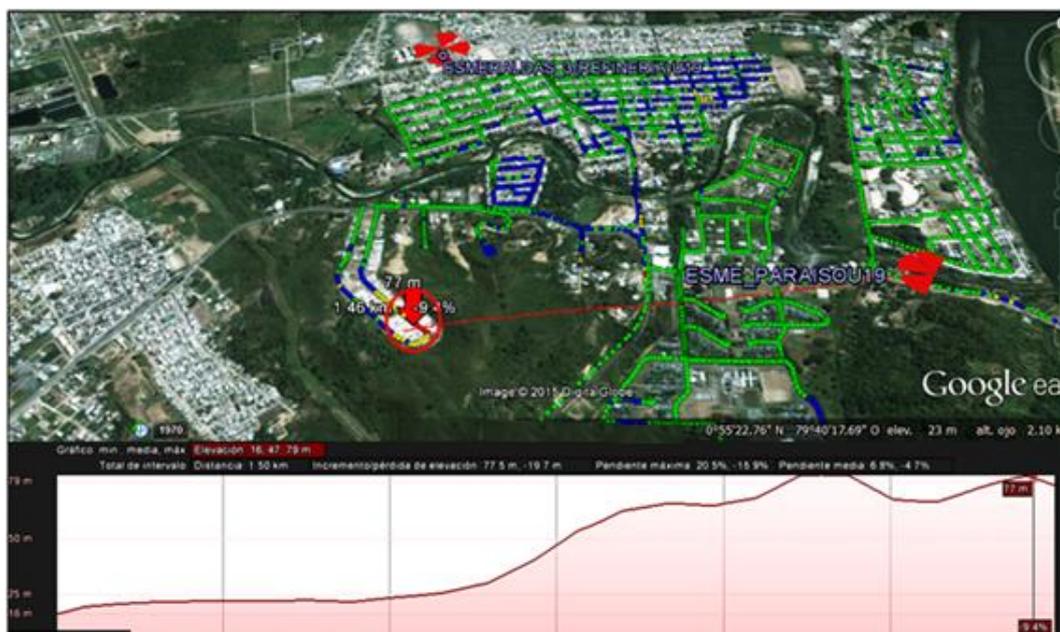


Figura 57. Perfil topográfico en la zona de exclusión con respecto al nodo ESME\_PARAISO.

- De igual manera se ha analizado el perfil geográfico de la zona de exclusión con respecto al nodo **ESMERALDAS\_3\_REFINERIA**, mas no es posible cubrir esta zona debito a su altura y a la distancia del nodo como se marca en la Figura 58.



Figura 58. Perfil topográfico en la zona de exclusión con respecto al nodo **ESMERALDAS\_3\_REFINERIA**.

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.Conclusiones

Al establecer una metodología del proceso de initial tuning para la tecnología UMTS, se ha podido desarrollar evaluaciones en los servicios de voz (llamadas) y datos (carga y descarga de paquetes) mediante los cuales ha sido posible solucionar problemas de calidad, cobertura, tráfico de red, interferencias, entre otras. Se han definido diez etapas dentro proceso de initial tuning que son: Afinamiento inicial, configuración de equipos, drive test después de la integración del nodo, análisis inicial del drive test preliminar, optimización física del nuevo nodo, drive test después de la optimización del nodo, pruebas en puntos estáticos, pruebas de SSV, zonas de exclusión, predicciones y análisis de cobertura, resumen de indicadores estadísticos. Cada una de estas etapas del proceso de initial tuning han sido indispensables de realizar como un requerimiento previo a la puesta al aire de la nueva estación celular.

Se puntualizaron los rangos de parámetros como RSCP, Ec/Io, CQI, Throughput, etc, mismos que permiten garantizar el correcto desempeño eficiente de estaciones celulares. Definiendo niveles aceptables de cobertura al  $RSCP \geq -88$  dBm, niveles aceptables de calidad para  $Ec/Io \geq -8$  dB, niveles aceptables de Throughput DL  $\geq 8$  Mbps, niveles aceptables de Throughput UL  $\geq 2$  Mbps.

Se establecieron indicadores estadísticos denominados *call success rate*, *call drop rate* y *soft handover* para el servicio de voz, permitiendo establecer, conectar y mantener las llamadas durante los recorridos de drive test. La tasa de llamadas, así como la tasa de handover deben ser 100% exitosas, mientras la tasa de llamadas caídas y no conectadas debe ser del 0%.

Durante las pruebas de servicio de voz y datos en puntos estáticos, se evaluaron parámetros como *Channel Quality Indicator*, *Ping Round Trip Time*, *HSDPA Y HSUPA Throughput*. Las condiciones ideales del CQI deben oscilar entre 28 y 30 con modulación 64-QAM. El tiempo de retardo de ida y vuelta de 50 pings no debe superar los 60 ms. La velocidad acceso de paquetes de enlace ascendente es de 5,76 Mbps, mientras que la velocidad de acceso de paquetes de enlace descendente es de 10 Mbps.

La ejecución y exposición de las evaluaciones de drive test previo al lanzamiento del nuevo nodo posibilitan fijar con precisión las áreas donde se hallan carencias de cobertura y calidad para los servicios de voz y datos en la red 3G.

El proceso de initial tuning y optimización en una red UMTS es una técnica esencial que debe ser perenne durante la instalación de una nueva estación base celular, pues brinda la posibilidad de monitorear las entornos de actividad de la red y descubrir inconvenientes.

La optimización de la red UMTS mediante cambios físicos se basa en movimientos y variaciones de posición de las antenas. El cambio de azimuth permite direccionar la antena hacia la zona de interés, el cambio de tilt mecánico recorta o alarga el lóbulo principal enfocando la radiación que va a irradiar, el cambio de tilt eléctrico permite concentrar la radiación hacia el área de cobertura asignado.

De igual manera, el estudio estadístico es un proceso sobresaliente para la optimización ya que admite valorar la movilidad, acceso y calidad de servicio. Mediante los indicadores estadísticos y la optimización se estableció un control de carga de tráfico en las celdas *ESMERALDAS\_3\_REFINERIA*, *ESMERALDAS\_GATAZO*, y *ESME\_PARAISO*.

La comparación de las mediciones tomadas durante las evaluaciones admite evidenciar mejoras en los parámetros de cobertura y calidad después del proceso de optimización. Estos avances permiten garantizar buen servicio por parte de la operadora.

## 5.2.Recomendaciones

Al ejecutar las evaluaciones en campo, se debe revisar que las configuraciones sean las adecuadas según la tecnología con la que se trabaje. Además los equipos deben mantenerse conectados todo el tiempo, ya que de esto depende la correcta grabación de la toma de muestras.

Para realizar el análisis y un estudio completo de initial tuning, se recomienda evaluar servicio de voz y datos considerando los indicadores estadísticos sobresalientes. Los indicadores permiten visualizar el desempeño del nuevo nodo con la red.

Se recomienda identificar y verificar por medio del software los eventos importantes que se presentan durante el recorrido de drive test como llamadas bloqueadas o caídas, niveles degradados de throughput, etc. Es bueno que se identifique en campo el lugar en donde ocurren estos eventos para poder determinar las causas que afectan dicha zona.

Se aconseja realizar evaluaciones periódicas del servicio de voz y datos de las estaciones celulares luego de su proceso de initial tuning, con el fin de monitorear los KPI's de las estaciones ya que usualmente se muestran incrementos en la cantidad de usuarios dentro de la red.

Es recomendable realizar una auditoría previa de configuración física y lógica de los nodos que se incluyen dentro del proceso de initial tuning, con el fin de obtener valores reales del estado de las estaciones celulares.

Se sugiere mantener una velocidad adecuada del vehículo durante los recorridos de drive test, la velocidad promedio es de 45km/h, para captar la mayor cantidad de muestras de mediciones.

Los recorridos de drive test se los debe ejecutar durante las horas del día con el objetivo de tomar muestras reales del estado de la red, es decir con la cantidad de usuarios promedio.

Durante el drive test, se recomienda que no se sobrepase por las mismas calles o avenidas más de 2 veces para evitar toma de muestras erradas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agarwal, N. (2015 ). WCDMA: KPI ANALYSIS & OPTIMIZATION. Eslovaquia.
- Arroyo, D. (2015). Las Telecomunicaciones. *Revista Perspectiva*, 10-12.
- Bernal, P. (2009). Comunicaciones Inalámbricas. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Berrocal, J. (2013). Dimensionado Eficiente de la Red de Acceso UMTS en Presencia de Múltiples Clases de Tráfico.
- Boggia, G. (2015). Drop call probability in established cellular networks: from data analysis to modelling. . Holanda.
- Carranza, Z. (2008). Un Enfoque Multiobjetivo para la Asignación de Canales en Sistemas Celulares. Cali, Colombia.
- Castle, W. (2016). LTE parameter tuning. Córdoba, España.
- Cedeño, E. G. (2015). Diseño e instalación de un nodo B adicional en una zona de alto tráfico de la ciudad de El Coca provincia de Orellana para aumentar capacidad y cobertura de la red UMTS. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Co., H. T. (2011). WCDMA Single Site Verification. China.
- Co., H. T. (2014). Network Optimization Guideline. China.
- Co., H. T. (2015). *WCDMA RNO Single Site Verification*. Obtenido de Huawei Technologies Co.: <http://es.slideshare.net/MdKamruzzaman3/huawei-wcdmarnosinglesiteverification>
- Comellas, F. (2012). Sistemas multiagente para la asignación de frecuencias en redes celulares. Barcelona, España.
- Conroy, G. (Junio de 2003 ). A novel code planning approach for a WCDMA network. In 3G Mobile Communication Technologies. Indonesia.
- Cruz, S. d. (2004). Evolución de los sistemas móviles celulares GSM 13. Ecuador.
- Cueva, C. (2010). Automatización de herramientas de post procesamiento de la información de Drive-test que permitan determinar los parámetros de QoS de las redes GSM/GPRS/EDGE/UMTS de los sistemas móviles avanzados. Perú.
- Cueva, O. (2016). Automatización de herramientas de post procesamiento de la información de Drive- test que permitan determinar los parámetros de QoS de las redes

- GSM/GPRS/EDGE/UMTS de los sistemas móviles avanzados. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Desarrollo, S. N. (2013). Políticas y Lineamientos del Plan Nacional del Buen Vivir. Quito, Pichincha, Ecuador .
- Ecuador, A. N. (2015). Ley Orgánica de Telecomunicaciones. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Escorcía, M. (2013). Análisis de Patrones de Radiación de Antenas Celulares. Barranquilla, Colombia .
- Fernández, P. (2009). Estudio de las antenas celulares dentro de una red de telefonía móvil. Costa Rica.
- Gallardo, F. (2013). Perú: Evolución del Acceso, la Cobertura y la Penetración en los Servicios de Telefonía. Perú .
- García, M. (2012). Sistemas de Telefonía Móvil basados en el estándar WCDMA. Bogotá, Colombia.
- Guerra, P. (2016). Estudio de Campo para hacer el análisis de variables de potencia, calidad y velocidad en la zona de Fontibón del comportamiento de la red móvil LTE. . Bogotá, Colombia.
- Gujral, E. (2015). Initial Tuning Methodology of LTE Network. Múnich, Alemania.
- Hanzo, L. (2008 ). 3G, HSPA and FDD versus TDD networking: smart antennas and adaptive modulation. Corea del Norte.
- Herrera, R. (2011). Introducción a la variedad de sistemas de telefonía celular, sus principales características y una clasificación por aplicaciones. Bogotá, Colombia.
- Holma, H. (2013). HSDPA/HSUPA for UMTS: high speed radio access for mobile communications. México.
- Insights, T. (2014 ). UMTS UTRAN Block Error Rate (BLER) Measurements. Washington, Estados Unidos.
- Iza, A. (2014). Planificación y diseño de una nueva radio base GSM para la ciudad de Quito. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Jan, J. (2014). Robust Physical Optimization for LTE Network. Múnich, Alemania .
- Jaramillo, E. E. (2014). Proceso de optimización de una estación base celular de tecnología GSM ubicada en la población de los Mineros en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

- Kreher, R. (2010 ). UMTS PERFORMANCE MEASUREMENT, A practical guide to KPI's for the UTRAN environment. Filipinas.
- León, L. (2010). Planificación y diseño de la ampliación de cobertura de la red celular GSM y ajuste de parámetros (Initial Tuning) mediante un repetidor activo para la zona norte de la provincia de Napo para una Empresa de Telefonía Celular. Tena, Napo, Ecuador.
- Moulsley, T. (2011). Throughput of high speed downlink packet access for UMTS. Florida, Estados Unidos.
- Nandakuma, N. (2009). Rough Guide to 3G and HSPA (Radio part). Leiden, Holanda.
- Orozco, F. (2016). Análisis de las Mediciones de Drive Test Realizadas por la SUPERTEL en la Red de Servicio Móvil de la Ciudad de Riobamba para Proponer Mejoras en los Niveles de Cobertura y Calidad de Servicio. . Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Ottosson, T. (2012). ell search in W-CDMA. IEEE Journal on selected areas in communications. Guatemala.
- Oyola, A. C. (2015). Análisis técnico de la pérdida de señal de telefonía móvil en el sector de sauces III de la ciudad de Guayaquil. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Pazmiño, R. (2014). *Initial Tunnig con Tecnología GSM, en la Empresa Ultratel Telecomunicaciones para Garantizar el correcto Desempeño de una Estación Celular.* Guayaquil.
- Poole, R. (2014). HSUPA Category Definitions and Data Rates. Costa Rica.
- Quintero, V. (2015). Estrategias de mitigación de interferencia en una red LTE. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Rosell, M. (2010). Network management and monitoring: The evolution of network control. Tuja, Colombia.
- Sánchez, J. (2012). Integración de tráfico conversacional e interactivo en la red de acceso radio de UMTS. Catalunya, Barcelona, España.
- Schelb, R. (2015). UMTS HSPA and R99 Traffic Separation. California, Estados Unidos.
- Segura, O. (2011). Diseño de una red inalámbrica para las radiobases celulares del Instituto Costarricense De Electricidad.

- Service, H. R. (2015). Network Planning and Optimization Service Proposal for LTE New-build. China.
- Sipila, K. (2009). Soft handover gains in a fast power controlled WCDMA uplink. . Holanda.
- Song, L. (2010). Evolved cellular network planning and optimization for UMTS and LTE. Estados Unidos.
- Sotomayor, S. (2015). ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LA GESTIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE LA MOVILIDAD EN LOS SISTEMAS UMTS Y DESARROLLO DE HERRAMIENTA DIDÁCTICA. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Tijerina, S. (2000). Driver distraction with wireless telecommunications and route guidance systems. . Mexico.
- Trejo, E. (2010). PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA DE TELEFONIA CELULAR DEL MUNICIPIO DE ACAJETE PUEBLA. . Puebla, México.
- Troya, A. (2016). Estudio y propuesta de medición de parámetros de calidad de servicio de datos en las redes SMA, utilizando equipos de drive test existentes en el mercado. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Valencia, G. (2010). Calidad de servicio (qos) de la red umts en la ciudad de durán. Durán, Guayas, Ecuador.
- Valero, L. (2008). Metaheurísticas avanzadas para problemas reales en redes de telecomunicaciones. Bolivia .
- Wang, G. (2014 ). Patent and Trademark Office. Corea del Norte.