



**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: “DISEÑO Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA  
RADIOBASE DE COBERTURA CELULAR DE LA OPERADORA  
CLARO EN LA PARROQUIA GUANGOPOLO Y SUS VIAS DE  
ACCESO”**

**AUTOR: BASANTES TABANGO, DIEGO JOSÉ**

**DIRECTOR: ING. VEGA, CHRISTIAN**

**SANGOLQUÍ - ECUADOR**

**2017**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIOBASE DE COBERTURA CELULAR DE LA OPERADORA CLARO EN LA PARROQUIA GUANGOPOLO Y SUS VIAS DE ACCESO”**, realizado por el señor DIEGO JOSÉ BASANTES TABANGO, ha sido revisado en su totalidad y analizado en el Software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor DIEGO JOSÉ BASANTES TABANGO para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Febrero del 2017.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'C. Vega', is shown within a rectangular box.

---

Ing. Christian Vega.

DIRECTOR.



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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **DIEGO JOSE BASANTES TABANGO**, con cédula de identidad #1003297866 declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIOWEB DE COBERTURA CELULAR DE LA OPERADORA CLARO EN LA PARROQUIA GUANGOPOLO Y SUS VIAS DE ACCESO**”, 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.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Diego José Basantes Tabango', is positioned above a horizontal line.

Diego José Basantes Tabango

C.I. 1003297866



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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, DIEGO JOSE BASANTES TABANGO, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca virtual de la Institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIOBASE DE COBERTURA CELULAR DE LA OPERADORA CLARO EN LA PARROQUIA GUANGOPOLO Y SUS VIAS DE ACCESO”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Febrero del 2017.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diego José Basantes Tabango', is shown within a rectangular box.

---

Diego José Basantes Tabango

C.I. 1003297866



## DEDICATORIA

### **Dedico este trabajo a...**

*A Dios, que gracias a ti, hoy puedo culminar este trabajo de titulación.*

*A mi mamita querida Mariana, que ha sido mi guía desde el primer día de mi existencia y es un ejemplo de persona.*

*A mi familia, que me brinda su apoyo incondicional en los mejores y en los peores momentos.*

*A mis abuelitos Enrique y Matilde, quienes sé que desde el cielo me acompañan y me bendicen en cada uno de mis días. Los extraño mucho!*

*A todas las personas que de una u otra forma aportaron para que este trabajo logre llegar a su etapa final.*

*A los habitantes de la población de Guangopolo.*

*Diego José Basantes Tabango*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a...*

*A Dios, por derramar bendiciones en mi vida, darme las fuerzas en los momentos que más lo he necesitado. Por darme una madre maravillosa.*

*A mi mami, quien con su constante apoyo y sin escatimar esfuerzos me ha permitido alcanzar cada una mis metas y esta es una de ellas. Gracias por tu apoyo Ma! Eternamente agradecido.*

*A mi familia, Susy, Gaby, Lenin, Sofy y Pedrito que me brindaron su apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo.*

*A Mercy, por la comprensión, apoyo y aliento que me has dado en todos los días que has estado a mi lado.*

*A Rodrigo, por compartir tus conocimientos técnicos desde mi primer día en el ámbito laboral y ser un amigo con el que puedo contar. Gracias Ñaño!*

*A mi director de proyecto, Ing. Christian Vega, por brindarme su tiempo y apoyo constante durante la elaboración del presente trabajo.*

*A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE y sus profesores, quienes me han compartido sus conocimientos y han permitido desarrollar el presente proyecto de titulación y así lograr una de mis metas.*

*Diego José Basantes Tabango*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1    PRESENTACIÓN DEL PROYECTO .....	1
1.1.1    Antecedentes .....	1
1.1.2    Justificación e importancia .....	1
1.1.3    Alcance del proyecto .....	2
1.1.4    Objetivos .....	3
1.2    TELEFONÍA CELULAR .....	4
1.2.1    Definición de Telefonía Celular .....	4
1.2.2    Generaciones de Telefonía Celular.....	6
1.3    ESTADO ACTUAL DE LA TELEFONÍA CELULAR.....	11
1.3.1    Conecel (Claro) .....	12
1.3.2    Otecel (Movistar).....	14
1.3.3    CNT.....	16
1.4    PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS.....	20
1.5    ORGANISMOS REGULADORES Y DE CONTROL.....	22
1.5.1    Ministerio De Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información .....	22
1.5.2    Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones .....	23

1.6	CONTRATO DE CONCESIÓN PARA EL SMA .....	24
1.6.1	Resumen de Cláusulas .....	24
1.6.2	Anexo 3: Asignación de Frecuencias Esenciales .....	26
1.6.3	Anexo 5: Parámetros de calidad .....	26
CAPÍTULO II .....		30
FUNDAMENTO TEÓRICO .....		30
TECNOLOGÍAS CELULARES.....		30
2.1	TECNOLOGÍA GSM .....	30
2.1.1	Arquitectura de Red .....	31
2.1.2	Interface Aire .....	35
2.2	TECNOLOGÍA UMTS .....	37
2.2.1	Arquitectura de Red .....	37
2.2.2	Interface Aire .....	42
2.3	TECNOLOGÍA LTE.....	43
2.3.1	Arquitectura de Red (Sae).....	44
2.3.2	Interface Aire .....	48
2.4	RADIOBASES.....	49
2.4.1	Huawei .....	49
CAPÍTULO III .....		61
SITUACIÓN ACTUAL DE COBERTURA CELULAR EN LA PARROQUIA DE GUANGOPOLO Y SUS VÍAS DE ACCESO .....		61
3.1	METODOLOGÍA Y MATERIALES PARA LA EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA RED .....	63
3.1.1	Parámetros a ser evaluados.....	69
3.1.2	Ruta del Drive Test.....	70
3.2	ANÁLISIS GSM.....	74
3.2.1	Análisis de Cobertura .....	74
3.3	ANÁLISIS UMTS.....	79
3.3.1	Análisis de cobertura .....	79
3.3.2	Análisis de calidad.....	84

3.4 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE BAJA COBERTURA .....	88
3.4.1 Análisis GSM.....	89
3.4.2 Análisis UMTS.....	95
CAPÍTULO IV.....	101
DISEÑO DE PROPUESTAS TÉCNICAS.....	101
PARA MEJORA DE COBERTURA CELULAR .....	101
4.1 DISEÑO DE UNA NUEVA RADIOBASE CELULAR .....	103
4.1.1 Zona de búsqueda y validación de la ubicación para la nueva Radiobase .....	103
4.1.2 Diseño de propagación de cobertura celular .....	106
4.1.3 Diseño de Conectividad hacia la red .....	108
4.1.4 Selección de infraestructura a adoptar .....	114
4.2 DISEÑO DE NUEVOS SECTORES CELULARES SOBRE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE. ....	115
4.2.1 Identificación y selección de radiobases existentes cercanas a la zona de interés.....	115
4.2.2 Diseño de propagación de cobertura celular para nuevos sectores en infraestructura existente. ....	117
4.2.3 Diseño de Conectividad hacia la red .....	131
4.3 SELECCIÓN DE PROPUESTA TÉCNICA A IMPLEMENTAR .....	132
4.3.1 Análisis de selección de tecnologías propuestas .....	132
4.3.2 Selección de Equipos y tecnologías a implementar .....	134
CAPÍTULO V.....	136
EVALUACIÓN DE SOLUCIÓN IMPLEMENTADA .....	136
5.1 Implementación de solución seleccionada.....	136
5.2 Pruebas de Operación .....	138
5.2.1 Recolección de muestras de cobertura celular.....	138
5.3 Análisis de Datos de cobertura celular.....	138
5.3.1 Análisis GSM.....	138
5.3.2 Análisis UMTS.....	143

5.4	Análisis de resultados obtenidos comparando con el estado inicial de cobertura celular. ....	153
5.4.1	Población de Guangopolo .....	153
5.4.2	Ruta Suroriental vía Intervalles .....	158
CAPÍTULO VI.....		164
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		164
6.1	CONCLUSIONES .....	164
6.2	RECOMENDACIONES.....	167
BIBLIOGRAFÍA.....		169

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Crecimiento anual de radiobases por tecnología CONECEL .....	13
Tabla 2	Crecimiento anual de radiobases por tecnología OTECEL .....	15
Tabla 3	Crecimiento anual de radiobases por tecnología CNT .....	17
Tabla 4	Radiobases por Operador y Tecnología Junio 2016 .....	19
Tabla 5	Características GSM .....	37
Tabla 6	Características UMTS .....	43
Tabla 7	Características LTE .....	49
Tabla 8	Características RRU 3942 .....	56
Tabla 9	Radiobases por Operador y por tecnología en Guangopolo .....	63
Tabla 10	Características equipo de medición .....	65
Tabla 11	Umbral Arcotel de parámetros de evaluación .....	70
Tabla 12	Rangos para análisis de muestras de Cobertura .....	73
Tabla 13	Rangos para análisis de muestras de Calidad .....	73
Tabla 14	Muestras RxLev en recorrido total inicial .....	74
Tabla 15	Clasificación de muestras RXLev en recorrido total inicial .....	75
Tabla 16	Muestras RxLev en recorrido Guangopolo inicial .....	76
Tabla 17	Clasificación de muestras RXLev en recorrido Guangopolo inicial ...	77
Tabla 18	Muestras RSCP en recorrido total inicial .....	79
Tabla 19	Clasificación de muestras RSCP en recorrido total inicial .....	80
Tabla 20	Muestras RSCP en recorrido Guangopolo inicial .....	82
Tabla 21	Clasificación de muestras RSCP en recorrido Guangopolo inicial ....	83
Tabla 22	Muestras Ec/Io en recorrido total inicial .....	84
Tabla 23	Clasificación de muestras Ec/Io en recorrido total inicial .....	85
Tabla 24	Muestras Ec/Io en recorrido Guangopolo inicial .....	86
Tabla 25	Clasificación de muestras Ec/Io en recorrido Guangopolo inicial .....	87
Tabla 26	Características Zona 1 de baja cobertura GSM .....	90
Tabla 27	Características Zona 2 de baja cobertura GSM .....	91

Tabla 28	Características Zona 3 de baja cobertura GSM .....	94
Tabla 29	Características Zona 1 de baja cobertura UMTS .....	96
Tabla 30	Características Zona 2 de baja cobertura UMTS .....	97
Tabla 31	Características Zona 3 de baja cobertura UMTS .....	99
Tabla 32	Resumen Zonas con problemas de cobertura .....	101
Tabla 33	Porcentajes de cumplimiento inicial sobre parámetros evaluados..	102
Tabla 34	Configuración propuesta de antenas en radiobase Guangopolo ....	106
Tabla 35	Características de ODU RTN 950.....	113
Tabla 36	Potencia de ODU de acuerdo a modulación .....	114
Tabla 37	Resumen antenas proyectadas sobre Monopolo.....	114
Tabla 38	Configuración inicial de Antenas en radiobase ARMENIA .....	118
Tabla 39	Configuración propuesta de Antenas en radiobase ARMENIA .....	120
Tabla 40	Configuración inicial de Antenas en radiobase ELTINGO.....	122
Tabla 41	Configuración propuesta de Antenas en radiobase ELTINGO.....	124
Tabla 42	Configuración inicial de Antenas GSM en radiobase LUMBISI .....	127
Tabla 43	Configuración inicial de Antenas UMTS en radiobase LUMBISI .....	127
Tabla 44	Configuración propuesta de Antenas GSM en radiobase LUMBISI	129
Tabla 45	Configuración propuesta Antenas UMTS en radiobase LUMBISI..	130
Tabla 46	Equipos de Transmisión en radiobases Existentes.....	131
Tabla 47	Porcentajes inicial cobertura y calidad zonas Rurales Guangopolo	132
Tabla 48	Resumen tecnologías celulares a instalar en nuevo sitio.....	133
Tabla 49	Porcentajes inicial cobertura y calidad zonas Rurales Ruta Total...	133
Tabla 50	Resumen nuevos sectores a implementar .....	134
Tabla 51	Muestras RxLev en recorrido total final.....	138
Tabla 52	Clasificación de muestras RXLev en recorrido total final .....	139
Tabla 53	Muestras RxLev en recorrido Guangopolo final .....	141
Tabla 54	Clasificación de muestras RXLev en recorrido Guangopolo final ...	142
Tabla 55	Muestras RSCP en recorrido total final.....	144
Tabla 56	Clasificación de muestras RSCP en recorrido Total Final.....	145
Tabla 57	Muestras RSCP en Guangopolo final .....	147



Tabla 58	Clasificación de muestras RSCP en recorrido Guangopolo final ....	148
Tabla 59	Muestras Ec/lo recorrido total final.....	149
Tabla 60	Clasificación de muestras Ec/lo en recorrido total final.....	150
Tabla 61	Muestras Ec/lo en Guangopolo final .....	151
Tabla 62	Clasificación de muestras Ec/lo Recorrido Guangopolo final.....	152
Tabla 63	Muestras RSCP inicial y final en Guangopolo.....	154
Tabla 64	Clasificación RSCP inicial y final en Guangopolo .....	156
Tabla 65	Muestras Ec/lo inicial y final en Guangopolo .....	156
Tabla 66	Clasificación Ec/lo inicial y final en Guangopolo .....	158
Tabla 67	Muestras RSCP inicial y final en Intervalles Suroriental.....	159
Tabla 68	Clasificación RSCP inicial y final en Intervalles Suroriental .....	161
Tabla 69	Muestras Ec/lo inicial y final en Intervalles Suroriental .....	162
Tabla 70	Clasificación Ec/lo inicial y final en Intervalles Suroriental .....	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de Red de Telefonía Móvil .....	4
Figura 2 Distribución de Celdas Celulares.....	5
Figura 3 Generaciones de Telefonía Celular .....	11
Figura 4 Timeline tecnologías CONECEL.....	12
Figura 5 Crecimiento anual de radiobases por tecnología CONECEL.....	13
Figura 6 Timeline tecnologías OTECEL.....	14
Figura 7 Crecimiento anual de radiobases por tecnología OTECEL.....	15
Figura 8 Timeline tecnologías CNT.....	16
Figura 9 Crecimiento anual de radiobases por tecnología CNT.....	17
Figura 10 Distribución de radiobases por provincia y tecnología CONECEL....	18
Figura 11 Distribución de radiobases por provincia y tecnología OTECEL.....	18
Figura 12 Distribución de radiobases por provincia y tecnología CNT.....	19
Figura 13 Radiobases por Operador y Tecnología Junio 2016.....	20
Figura 14 Espectro frecuencias esenciales.....	21
Figura 15 Logotipo GSM.....	30
Figura 16 Subsistemas GSM y sus interfaces .....	31
Figura 17 Bloques Uplink / Downlink GSM 900MHz. ....	35
Figura 18 Bandas de frecuencia GSM .....	35
Figura 19 Principio TDMA.....	36
Figura 20 Arquitectura UMTS .....	38
Figura 21 Arquitectura UTRAN .....	39
Figura 22 Arquitectura CN .....	40
Figura 23 Bloques de frecuencia UMTS .....	42
Figura 24 Evolución de UMTS .....	43
Figura 25 Tecnologías 3GPP .....	44
Figura 26 Tecnologías 3GPP.....	45
Figura 27 Tecnologías 3GPP.....	45

Figura 28 Bandas de Frecuencia LTE .....	48
Figura 29 DBS3900 .....	50
Figura 30 en BBU3900 .....	51
Figura 31 Tarjetas en BBU3900.....	51
Figura 32 Tarjeta UMPT.....	52
Figura 33 Tarjeta GTMU .....	53
Figura 34 Tarjeta UBBP .....	53
Figura 35 Diagrama de bloques RRU .....	54
Figura 36 RRU 3942 .....	55
Figura 37 Sitio ejemplo .....	56
Figura 38 Representación de Downtilt .....	58
Figura 39 Tilt Mecánico y Tilt Eléctrico .....	58
Figura 40 Características de Antenas de 65°.....	59
Figura 41 Diagrama de radiación de antenas de 65°.....	59
Figura 42 Características de Antenas de 33°.....	60
Figura 43 Diagrama de radiación de antenas de 33°.....	60
Figura 44 Ubicación de Guangopolo.....	61
Figura 45 Limites de la Parroquia Guangopolo.....	62
Figura 46 Vista Satelital de Guangopolo.....	62
Figura 47 Esquema equipos de medición .....	64
Figura 48 Etapas Drive Test .....	65
Figura 49 Equipo RTU + Antenas en vehículo.....	66
Figura 50 Configuración RTU en Servidor .....	67
Figura 51 Agrupación de archivos Log y filtro de velocidad.....	68
Figura 52 Ejemplo de formato post procesado .....	69
Figura 53 Imagen satelital de la ruta del Drive Test 1 .....	71
Figura 54 Imagen satelital de la ruta del Drive Test 2.....	71
Figura 55 Imagen satelital de la ruta del Drive Test 3.....	72
Figura 56 Imagen satelital de la ruta del Drive Test 4.....	72
Figura 57 Muestras RxLev en recorrido total inicial .....	74

Figura 58 Plot de muestras de RxLev en recorrido total inicial .....	75
Figura 59 Plot de radiobases servidoras GSM en recorrido total inicial .....	76
Figura 60 Muestras RxLev en recorrido Guangopolo inicial.....	77
Figura 61 Plot de muestras RxLev en recorrido Guangopolo inicial .....	78
Figura 62 Plot de muestras radiobases GSM servidoras en Guangopolo inicial	78
Figura 63 Muestras RSCP en recorrido total inicial .....	79
Figura 64 Plot de muestras RSCP en recorrido total inicial .....	81
Figura 65 Plot de muestras NodosB servidores en recorrido total inicial .....	81
Figura 66 Muestras RSCP en recorrido Guangopolo inicial.....	82
Figura 67 Plot de muestras RSCP en recorrido Guangopolo inicial.....	83
Figura 68 Plot muestras NodosB servidores en recorrido Guangopolo inicial .	84
Figura 69 Muestras Ec/lo en recorrido total inicial .....	85
Figura 70 Plot de Muestras Ec/lo en recorrido total inicial .....	86
Figura 71 Muestras Ec/lo en recorrido Guangopolo inicial.....	87
Figura 72 Plot de muestras Ec/lo en recorrido Guangopolo inicial .....	88
Figura 73 Zonas baja cobertura GSM Inicial.....	89
Figura 74 Zona 1 de baja cobertura GSM.....	90
Figura 75 Perfil de relieve Zona 1 de baja cobertura GSM .....	91
Figura 76 Zona 2 de baja cobertura GSM.....	91
Figura 77 Radiobases cercanas a Zona 2 de baja cobertura GSM .....	92
Figura 78 Perfil relieve desde LUMBISÍ hacia Zona 2 de baja cobertura GSM.	92
Figura 79 Perfil de relieve SPELLMAN hacia Zona 2 de baja cobertura GSM.	93
Figura 80 Perfil de relieve VIAARMENIA hacia Zona 2 de baja cobertura GSM	93
Figura 81 Zona 3 de baja cobertura GSM.....	94
Figura 82 Perfil de relieve ARMENIA hacia Zona 3 de baja cobertura GSM ...	95
Figura 83 Zonas de baja cobertura UMTS.....	95
Figura 84 Zona 1 de baja cobertura UMTS.....	96
Figura 85 Zona 2 de baja cobertura UMTS.....	97
Figura 86 Perfil de relieve ARMENIA hacia Zona 2 de baja cobertura UMTS .	98
Figura 87 Zona 2 de baja cobertura UMTS.....	98

Figura 88 Perfil de relieve ARMENIA hacia Zona 3 de baja cobertura UMTS ..	99
Figura 89 Perfil relieve de ELTINGO hacia Zona 3 de baja cobertura UMTS .	100
Figura 90 Calidad vs Cobertura .....	102
Figura 91 Zona de búsqueda para nueva radiobase .....	104
Figura 92 Radiobase TMS corte Julio 2016.....	105
Figura 93 Monopolo construido disponible para instalación.....	105
Figura 94 Objetivo de sectores en nueva radiobase.....	106
Figura 95 Predicción de cobertura UMTS nueva radiobase GUANGOPOLO .	107
Figura 96 Proyección de antenas propuestas en Monopolo .....	108
Figura 97 Esquema de conectividad hacia la red .....	109
Figura 98 Elementos en un enlace de Microonda.....	109
Figura 99 Perfil Topográfico del enlace de Microonda.....	110
Figura 100 Estudio Radioeléctrico enlace de Microonda .....	111
Figura 101 Unidad IDU RTN 950.....	112
Figura 102 Unidad ODU y Antena de Microonda.....	113
Figura 103 Ruta Nororiental vía Intervalles.....	115
Figura 104 Distancia de radiobases a ruta Nororiental de la vía Intervalles ...	116
Figura 105 Ruta Suroriental vía Intervalles .....	116
Figura 106 Distancia de radiobases a Ruta Suroriental de la vía Intervalles ..	117
Figura 107 Distribución inicial de sectores en radiobase ARMENIA.....	118
Figura 108 Propagación Inicial ARMENIAX .....	119
Figura 109 Muestras iniciales de RSCP & Ec/Io ARMENIAX .....	119
Figura 110 Distribución propuesta de sectores en radiobase ARMENIA .....	120
Figura 111 Estado inicial de torre ARMENIA .....	121
Figura 112 Predicción de cobertura UMTS del nuevo sector ARMENIA .....	121
Figura 113 Distribución de sectores en radiobase ELTINGO .....	122
Figura 114 Propagación Inicial en ruta Suroriental .....	123
Figura 115 Muestras iniciales de RSCP & Ec/Io en ruta Suroriental.....	124
Figura 116 Distribución Propuesta de sectores en radiobase ELTINGO .....	125
Figura 117 Estado inicial de torre ELTINGO.....	125

Figura 118 Predicción de cobertura UMTS nuevo sector ELTINGO .....	126
Figura 119 Distribución de sectores en radiobase LUMBISI .....	127
Figura 120 Servidores en ruta Nororiental Inicial GSM/UMTS .....	128
Figura 121 Muestras iniciales de RxLev & RSCP Nororiental Intervalles .....	129
Figura 122 Distribución Propuesta de sectores en radiobase LUMBISI .....	130
Figura 123 Estado inicial de Torre ELTINGO .....	130
Figura 124 Tráfico por hora NodoB ARMENIA corte Octubre 2016 .....	131
Figura 125 Tráfico por hora NodoB ELTINGO corte Octubre 2016 .....	131
Figura 126 Esquema propuesto para implementación de equipos .....	135
Figura 127 Implementación nueva radiobase GUANGOPOLO .....	136
Figura 128 Implementación nuevo sector ARMENIA .....	137
Figura 129 Implementación nuevo sector ELTINGO .....	137
Figura 130 Muestras RxLev en recorrido total final .....	139
Figura 131 Plot de muestras RxLev en recorrido total final .....	140
Figura 132 Plot de muestras servidoras GSM en recorrido total final .....	140
Figura 133 Muestras RxLev en recorrido Guangopolo final .....	141
Figura 134 Plot de muestras RxLev en recorrido Guangopolo final .....	142
Figura 135 Plot de muestras servidoras GSM en Guangopolo Final .....	143
Figura 136 Muestras RSCP en recorrido total final .....	144
Figura 137 Plot de muestras RSCP en recorrido total final .....	145
Figura 138 Plot de muestras NodosB servidores en recorrido total final .....	146
Figura 139 Muestras RSCP en recorrido Guangopolo final .....	147
Figura 140 Plot de muestras RSCP en recorrido Guangopolo final .....	148
Figura 141 Plot de muestras NodosB servidores en Guangopolo final .....	149
Figura 142 Muestras Ec/lo recorrido total final .....	150
Figura 143 Plot de Muestras Ec/lo en recorrido total final .....	151
Figura 144 Muestras Ec/lo en Guangopolo final .....	152
Figura 145 Plot de Muestras Ec/lo en Guangopolo final .....	153
Figura 146 Plot celdas servidoras inicial y final en Guangopolo .....	154
Figura 147 Plot RSCP inicial y final en Guangopolo .....	155

Figura 148 Muestras RSCP inicial y final en Guangopolo .....	155
Figura 149 Plot Ec/lo inicial y final en Guangopolo.....	157
Figura 150 Muestras Ec/lo inicial y final en Guangopolo .....	157
Figura 151 Plot de Servidores inicial y final ruta Sur Oriental Intervalles .....	159
Figura 152 Plot RSCP inicial y final en Intervalles Suroriental.....	160
Figura 153 Muestras RSCP inicial y final en Intervalles Suroriental .....	160
Figura 154 Zonas con baja cobertura por su relieve topográfico. ....	161
Figura 155 Plot Ec/lo inicial y final en Intervalles Suroriental.....	162
Figura 156 plot Ec/lo inicial y final en Intervalles Suroriental .....	163

## **RESUMEN**

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y desarrollar una propuesta de implementación de una radiobase, con el objeto de mejorar la cobertura celular de la operadora Claro, en la parroquia de Guangopolo y sus vías de acceso sobre la ruta Intervalles. Se realizó una investigación sobre las tecnologías celulares presentes en el Ecuador y un análisis de cobertura en la parroquia de Guangopolo. Se ejecutó un recorrido de evaluación “Drive Test” en modo Idle para obtener muestras de cobertura RxLev & RSCP y calidad Ec/Io de la señal celular en las tecnologías GSM y UMTS. Esta información sirvió para identificar las zonas de baja cobertura en el polígono de análisis, en base a umbrales establecidos por el ente regulador en el Contrato de Concesión de Servicios de Telecomunicaciones, información que permitió proponer el diseño de una nueva radiobase dentro de la población de Guangopolo, con el fin de mejorar la percepción de usuario en el servicio UMTS. Para las zonas de baja cobertura sobre la ruta Intervalles, se identificó la infraestructura existente en la zona y se propuso el diseño de sectores adicionales para mejorar la cobertura y la calidad celular. Como parte final del proyecto, se realizó un nuevo “Drive Test” para evaluar las soluciones implementadas en cuanto a la mejora de cobertura y la calidad de la señal celular sobre la ruta de interés.

### **PALABRAS CLAVE**

- **DRIVE TEST**
- **COBERTURA**
- **UMTS**
- **RSCP**
- **Ec/Io**



## **ABSTRACT**

The objective of this project is to design and develop a proposal for the implementation of a base station in order to improve the cellular coverage of the operator Claro in the parish of Guangopolo and its access routes on the Intervalles route. The investigation begins with the analysis of the cellular technologies available in Ecuador and a coverage analysis in the parish of Guangopolo. A "Drive Test" in Idle mode was performed to obtain samples of RxLev & RSCP coverage and Ec/Io quality of cellular signal in GSM and UMTS technologies. This information was used to identify areas of low coverage based on thresholds established by the regulatory entity in the Telecommunication Services Concession Agreement, which allowed the proposal of the design of a new base station in Guangopolo, in order to improve user perception in the UMTS service. For the low coverage areas on the Intervalles route, the existing infrastructure in the area was identified and the design of additional sectors was proposed to improve coverage and cellular quality. Finally, a new "Drive Test" was carried out to evaluate the implemented solutions regarding the improvement of coverage and the quality of the cellular signal.

## **KEYWORDS**

- **DRIVE TEST**
- **COBERTURA**
- **UMTS**
- **RSCP**
- **Ec/Io**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

#### 1.1.1 Antecedentes

El acelerado crecimiento de las tecnologías móviles y el gran impacto que han tenido en el Ecuador, ha dado como resultado que en la relativamente corta pero muy productiva existencia de las comunicaciones móviles y específicamente en la telefonía celular, las operadoras hayan experimentado en el tiempo cambios y adelantos conforme nuevas tecnologías aparecen.

El Contrato de Concesión para prestación del servicio móvil avanzado, firmado por cada operadora celular con el Estado, establece los niveles mínimos de cumplimiento de cobertura celular e índices de calidad de servicio prestados al usuario.

La preocupación de cada operadora celular por cumplir los artículos determinados en el Contrato de Concesión y establecer su presencia en cada población, ha llevado al despliegue de nuevas radiobases celulares para satisfacer las necesidades de cobertura y calidad de servicio prestada a los usuarios.

#### 1.1.2 Justificación e importancia

La telefonía móvil en el Ecuador se ha convertido desde sus inicios en una herramienta de uso común, como medio de comunicación, de trabajo, de socialización, de información, de diversión entre otros.

Los beneficios de la telefonía móvil van desde la posibilidad de comunicarse desde cualquier lugar de forma instantánea, realizar llamadas, incluso en situaciones de emergencia para llamar a la policía, una grúa o para avisar a un

familiar dónde se encuentran, hasta el hecho de que en la actualidad se pueda navegar a través de Internet y mantener una conexión todo el tiempo.

Guangopolo está ubicado al Este con respecto a la ciudad de Quito, al pie del cerro Ilaló, es una parroquia del Distrito Metropolitano de Quito, la cual según datos del censo del INEC del año 2010, cuenta con 3.059 habitantes, de los cuales 2.273 son posibles usuarios potenciales de telefonía celular. (Secretaría Nacional de Información, 2014)

La vía de acceso a esta parroquia es la ruta Intervalles cuya longitud es de 11.5 Km de carretera asfaltada, comprendidos entre la parroquia de El Tingo, hasta la Ruta Viva.

Actualmente en Guangopolo no existe una radiobase dedicada de la marca comercial Claro (ARCOTEL), por lo que, con el fin de satisfacer los índices mínimos de calidad y cobertura establecidos en el Contrato de Concesión, juntamente con el plan interno de expansión de cobertura que la empresa maneja en el año 2016, con el presente proyecto se pretende realizar un estudio del estado actual de cobertura celular de esta operadora en la parroquia de Guangopolo, con el fin de realizar el diseño y propuesta de implementación de una nueva radiobase y así mejorar la percepción del usuario.

### **1.1.3 Alcance del proyecto**

El presente proyecto tiene como alcance realizar un análisis técnico completo de la situación actual de cobertura celular de la operadora Claro en Guangopolo y sus vías de acceso, así como un estudio de los requisitos técnicos necesarios para el diseño de una radiobase celular en dicha parroquia.

Para la elaboración del proyecto, se recolectó datos en campo mediante recorridos de Drive Test evaluando los niveles de cobertura celular en las tecnologías GSM y UMTS de la operadora Claro; se realizó un estudio sobre las tecnologías GSM, UMTS para así determinar qué tipo de solución es la más idónea en este caso de estudio.

Además se realizó el diseño de implementación de sectores celulares adicionales sobre radiobases existentes con el objetivo de mejorar la cobertura celular de las vías de acceso a la parroquia de Guangopolo.

El proyecto tuvo una fase de implementación de soluciones de cobertura y en su etapa final se evaluó en campo los resultados obtenidos.

#### **1.1.4 Objetivos**

##### **1.1.4.1 General**

Diseñar la propuesta de implementación de una radiobase para mejorar la cobertura celular de la operadora Claro en la parroquia de Guangopolo y sus vías de acceso.

##### **1.1.4.2 Específicos**

- Determinar el estado del arte de las redes GSM, UMTS y LTE que operan en el Ecuador y específicamente en la parroquia de Guangopolo.
- Recolectar muestras de cobertura celular de la operadora Claro en la parroquia de Guangopolo y sus vías de acceso.
- Analizar los datos de cobertura celular recolectados, evaluando los parámetros RxLevel y RSCP para las tecnologías GSM y UMTS respectivamente.
- Plantear propuestas de solución técnica en las zonas donde exista problemas de cobertura celular en la parroquia de Guangopolo y sus vías de acceso.
- Seleccionar la solución técnica planteada que satisfaga la demanda de cobertura celular en la parroquia de Guangopolo y sus vías de acceso, así como también el análisis de selección de tecnologías a implementar.
- Implementar la solución técnica para mejora de cobertura celular.

- Recolectar nuevas muestras de cobertura celular de la operadora Claro en la parroquia de Guangopolo y sus vías de acceso para evaluación de cambios implementados.

## 1.2 TELEFONÍA CELULAR

### 1.2.1 Definición de Telefonía Celular

La telefonía móvil o telefonía celular es un sistema de comunicación inalámbrica a través de ondas electromagnéticas mediante el uso del espectro radioeléctrico, permitiendo a los usuarios tener la capacidad de ubicuidad y libre desplazamiento en diferentes lugares geográficos.

Este Sistema está formado por dos elementos generales: una red de comunicaciones móviles, la cual es encargada de brindar los distintos servicios y los terminales móviles que sirven de acceso a la red.

La red de telefonía celular está formada por una serie de estaciones transmisoras - receptoras de radio llamadas radiobases, conectadas entre sí y a su vez a las centrales de conmutación para posibilitar la comunicación entre terminales móviles o entre un terminal móvil y la red fija tradicional.



**Figura 1 Esquema de Red de Telefonía Móvil**

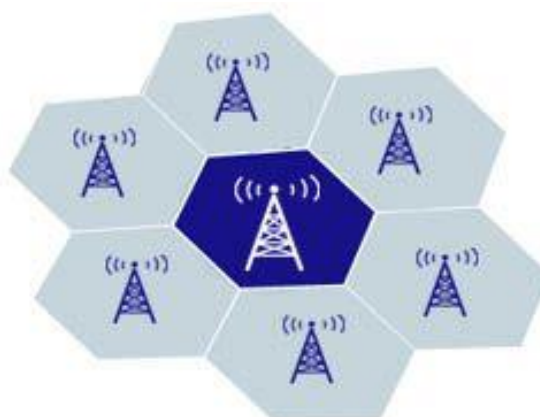
**Fuente:** (Brunella, 2016)

En la operación del terminal móvil, se establece un canal de comunicación con una radiobase y la red mediante sus sistemas computacionales que le

permiten al móvil desplazarse sin perder su canal de comunicación de forma transparente para el usuario.

El sistema celular consiste en la subdivisión de un territorio en pequeñas áreas de cobertura, llamadas celdas, cada una con su respectiva antena de transmisión/recepción haciendo uso y re uso del espectro radioeléctrico mediante la planificación de frecuencias. Esto permite un uso mucho más eficiente del espectro. Cuantas más pequeñas sean las celdas, más frecuencias pueden reusarse y más usuarios pueden utilizar el servicio.

Cada radiobase es capaz de enlazarse con los terminales móviles dentro de su rango de cobertura (tamaño de la celda) mediante el uso de canales radioeléctricos de tráfico y señalización, razón por la cual son asignados un grupo específico de frecuencias para transmisión y recepción a cada celda.



**Figura 2 Distribución de Celdas Celulares**

**Fuente:** (UNAD, 2016)

La mancha de cobertura de cada celda es dibujada en la realidad de acuerdo al patrón de radiación y propagación de cada antena y la potencia de transmisión configurada por parte del operador. Son distribuidas de acuerdo a las necesidades de cobertura que presente cada operadora, para así brindar la mayor cantidad de servicios disponibles al usuario, asegurando calidad en la comunicación y disponibilidad en la red.

Desde su inicio, la telefonía celular ha evolucionado conforme el avance tecnológico, siendo así que desde la década de los 80 han surgido cambios trascendentales en beneficio de la demanda y necesidades de los usuarios.

Entre los servicios que se pueden ofertar a través de las redes celulares se tiene:

### **Servicio Principal**

- Transmisión de voz y datos.

### **Servicios Especiales**

- Servicio de mensajes cortos SMS.
- Transferencia de llamada.
- Llamada en espera.
- Conferencia.
- Video Conferencia.
- Navegación en Internet.
- Roaming, entre otros.

## **1.2.2 Generaciones de Telefonía Celular**

Con el pasar del tiempo, el servicio de voz dejó de ser prioritario, razón por la cual las nuevas tecnologías están enfocadas a optimizar la experiencia del usuario a nivel de datos.

### **1.2.2.1 Primera generación (1G)**

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979 y se caracterizó por ser netamente analógica, brindando solo el servicio de transmisión de voz.

Su método de acceso fue basado en FDMA (Frequency Division Multiple Access), el cual consiste en dividir todo el espectro disponible en varios canales de radio. Cada canal tiene sus portadoras de transmisión y recepción. Este

método de acceso dedicaba el canal a un solo usuario durante el total de su tiempo de conexión.

La banda de frecuencias usada va de 824 a 849 MHz para los canales de transmisión y de 869 a 894 Mhz para los canales de recepción.

El estándar predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System), desarrollada e introducida en los Estados Unidos.

Los terminales móviles fueron de gran tamaño y peso, con poco tiempo de duración de batería y brindando únicamente la función de llamada.

#### 1.2.2.2 Segunda Generación (2G)

El desarrollo de esta generación se basa en la digitalización de las comunicaciones, ofreciendo una mejor calidad de voz que las analógicas ya que el ancho de banda de sus portadoras se incrementó hacia 200 KHz. Además, se aumentó el nivel de seguridad y se simplificó la fabricación del terminal.

Los estándares predominantes son: Digital AMPS IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136); GSM (Global System for Mobile Communications) y CDMA2000 (Code Division Multiple Access).

El método de acceso para los estándares DAMPS & GSM fue basado en TDMA (Time Division Multiple Access) el cual utiliza sub canales en función del tiempo llamados timeslots. Cada usuario ocupa un timeslot y le es asignando todo el ancho de banda del canal de transmisión durante una fracción de tiempo, permitiendo hasta 8 conexiones simultáneas.

Para CDMA, el cual representa su propio método de acceso Code Division Multiple Access, es una tecnología donde se utiliza una sola frecuencia y los usuarios se diferencian por medio de códigos asignados.



Los sistemas básicos usaron frecuencias de banda de 900 MHz, mientras otros de 1800 y 1900 MHz. Nuevas bandas de 850 MHz fueron agregadas en forma posterior.

Con la Segunda generación, aparecieron nuevos terminales de tamaño y peso más reducido que sus antecesores y se incorporaron nuevos servicios como datos, fax y SMS (Short Message Service).

### 1.2.2.3 Generación 2.5G y 2.75G

Es la evolución de la segunda generación, debido a la implementación en las redes móviles de la capacidad de transmitir datos e Internet a través de los teléfonos móviles. Se basaron en el sistema GSM y las tecnologías que se destacan son GPRS y EDGE.

#### *GPRS*

General Packet Radio Service, es una extensión del Sistema GSM para la transmisión de datos en conmutación de paquetes.

Se podía ofrecer velocidades de datos desde 56 Kbps hasta 114 Kbps, permitiendo el acceso a servicios de aplicaciones inalámbricas soportadas en WAP, servicio de mensajes cortos SMS, sistema de mensajería multimedia MMS y para servicios de comunicación por Internet como el email y el acceso a la web.

#### *EDGE*

Enhanced Data rates for GSM Evolution, es la mejora en la tasa de transferencia de datos para el Sistema GSM. Considerado también como la evolución del GPRS.

Esta tecnología puede ser usada en cualquier transferencia de datos basada en conmutación de paquetes, como lo es la conexión a Internet. Los beneficios de EDGE sobre GPRS se pueden ver en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos alta, como video u otros servicios multimedia.

EDGE puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384Kbps. Utiliza esquemas de modulación y codificación, entre ellos GMSK y 8PSK, con lo que se consigue triplicar el ancho de banda disponible que brinda GSM.

#### 1.2.2.4 Tercera Generación (3G)

Es una generación totalmente digital, que brinda la posibilidad de transferir voz y datos en alta velocidad y calidad, facilitando a los usuarios el acceso a nuevos y mejores servicios tales como video llamada, descarga de programas, correo electrónico y navegación en Internet. El tamaño de su portadora se incrementó a 5 Mhz.

Las redes 3G ofrecen mayor grado de seguridad en comparación con sus predecesoras. Permite al dispositivo móvil autenticar la red a la que se está conectando.

Existen tres estándares que definen esta generación: UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) que utiliza como técnica de acceso WCDMA; CDMA2000 1XEV-DO y CDMA2000 1xEV-DV.

Puede llegar a soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 2000 Kbps en modo estacionario usando esquemas de modulación BPSK/QPSK.

En cuanto a los terminales, se evidenció un avance tecnológico considerable, integrando pantallas táctiles y múltiples aplicaciones que demandan consumo de datos móviles.

#### 1.2.2.5 Generación 3.5G y 3.75G

Es un re potenciamiento a las redes 3G, en donde se mejora las técnicas de modulación con el objetivo de incrementar las velocidades de transmisión y reducir latencia tanto en el enlace Downlink como en el enlace Uplink.

##### *HSDPA*

El terminal móvil, en conjunto con la red celular, evalúa las condiciones de radio y adaptan un esquema de codificación y modulación de 16QAM permitiéndole alcanzar velocidades de hasta 14 Mbps en el enlace Downlink.

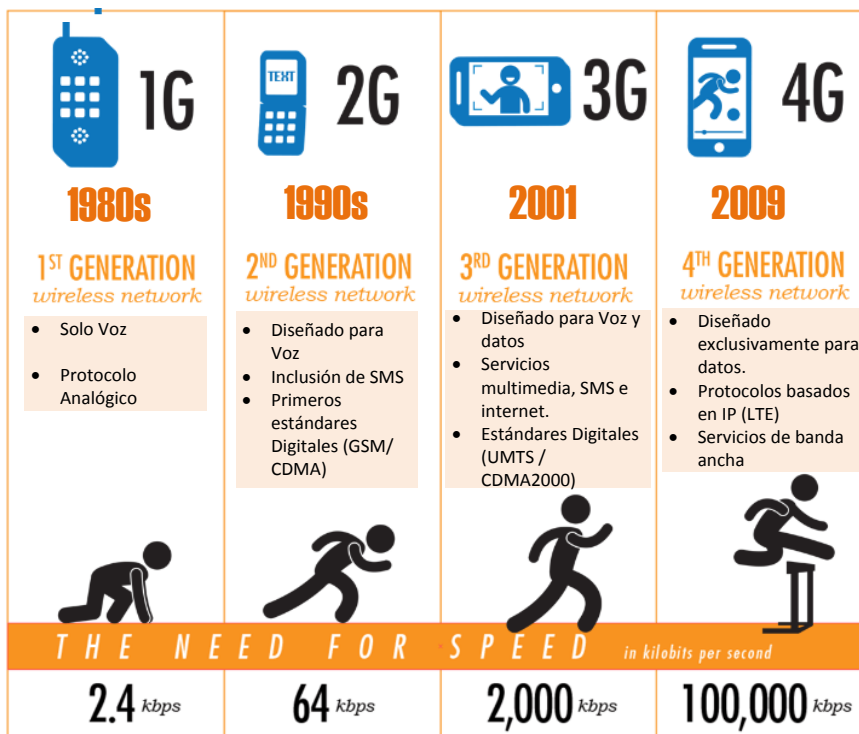
##### *HSUPA*

En esta mejora se adiciona una nueva portadora para el enlace Uplink, permitiéndole al usuario alcanzar velocidades de hasta 5.76 Mbps Uplink.

#### 1.2.2.6 Cuarta Generación (4G)

Es la generación vigente de telefonía móvil, basada completamente en el protocolo IP, diseñada para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbit/s en movimiento y 1 Gbit/s en reposo, manteniendo una calidad de servicio óptima y alta seguridad en transmisión de datos que permite ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible.

El estándar más adoptado es LTE (Long Term Evolution) de la norma 3GPP.



**Figura 3 Generaciones de Telefonía Celular**

Fuente: (Xybernetics Inc., 2006)

Los estándares de cada generación se muestran a continuación:

### 1.3 ESTADO ACTUAL DE LA TELEFONÍA CELULAR EN ECUADOR

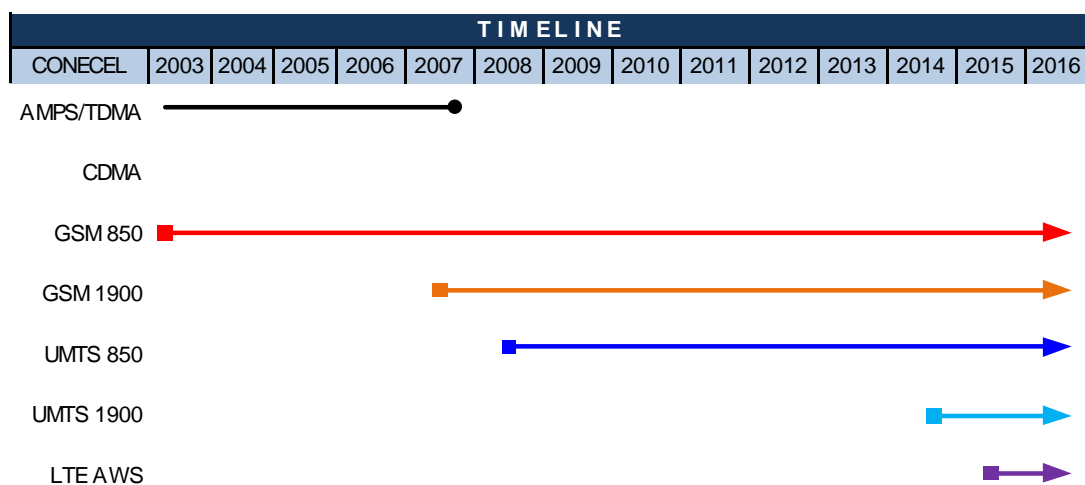
Los operadores que brindan el servicio de Telefonía Móvil en el Ecuador son Conecel S.A, bajo el nombre comercial de Claro; Otecel, bajo el nombre comercial de Movistar y CNT EP. Estos operadores, han evolucionado sus redes de acuerdo a los siguientes lineamientos:

- Desarrollo de nuevas tecnologías de acceso.
- Desarrollo de nuevas tecnologías de transporte.
- Desarrollo de nuevos y mejores terminales móviles.
- Desarrollo de mejores paquetes de Software y aplicaciones móviles.
- Intereses económicos de fabricantes, operadores y usuarios.

- Necesidad de optimizar el uso del espectro radioeléctrico concesionado por operador.

### 1.3.1 Conecel (Claro)

Conecel, que en su inicio adoptó el nombre comercial de Porta, para luego pasar a formar parte del grupo AMX con su nombre comercial Claro. Es la pionera en el Ecuador, iniciando sus operaciones en el año de 1993, adjudicándose la primera llamada oficial en la ciudad de Guayaquil. La tecnología adoptada en ese entonces era AMPS, totalmente analógica, correspondiente a la 1G. Posteriormente, en 1997 incorpora la tecnología digital de segunda generación D-AMPS y desde mayo del 2003 adoptó el estándar mundial GSM, la cual se ha adaptado perfectamente a las necesidades de los usuarios debido a su gran capacidad y robustez estando vigente hasta la presente, operando en la banda de 850 MHz. En el año 2006 se concesionó 10 MHz en la Banda de 1900 MHz. Entre el año 2008 y 2009 se renovó la concesión por otros 15 años, para brindar Servicio Móvil Avanzado (SMA) e implementar la tecnología de 3G (UMTS) y 3.5G (HSDPA). En el año 2015 puso en funcionamiento la red 4G LTE en las ciudades de Quito y Guayaquil (Wikipedia, 2016).



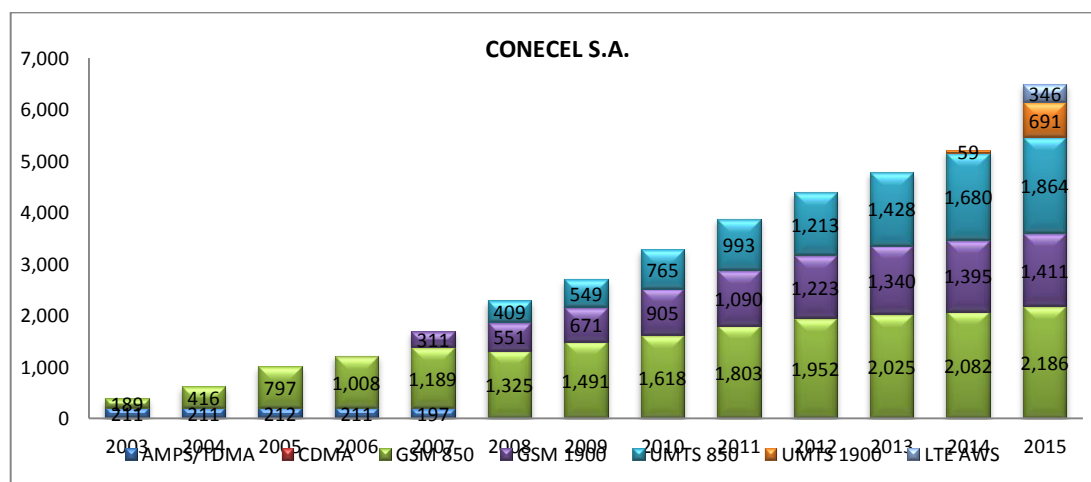
**Figura 4 Timeline tecnologías CONECEL.**

A continuación, se detalla el crecimiento anual por tecnología que ha tenido esta operadora celular.

**Tabla 1**  
**Crecimiento anual de radiobases por tecnología CONECEL**

ANUAL														
CLARO		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Radiobases	AMPS/TDMA	211	211	212	211	197								
	CDMA													
	GSM 850	189	416	797	1008	1189	1325	1491	1618	1803	1952	2025	2082	2186
	GSM 1900					311	551	671	905	1090	1223	1340	1395	1411
	UMTS 850						409	549	765	993	1213	1428	1680	1864
	UMTS 1900												59	691
	LTE AWS													346
	<b>Total</b>	<b>400</b>	<b>627</b>	<b>1009</b>	<b>1219</b>	<b>1697</b>	<b>2285</b>	<b>2711</b>	<b>3288</b>	<b>3886</b>	<b>4388</b>	<b>4793</b>	<b>5216</b>	<b>6498</b>
Promedio de sectores	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
AB asignado (MHz)	25	25	25	35	35	35	35	35	35	35	35	35	95	

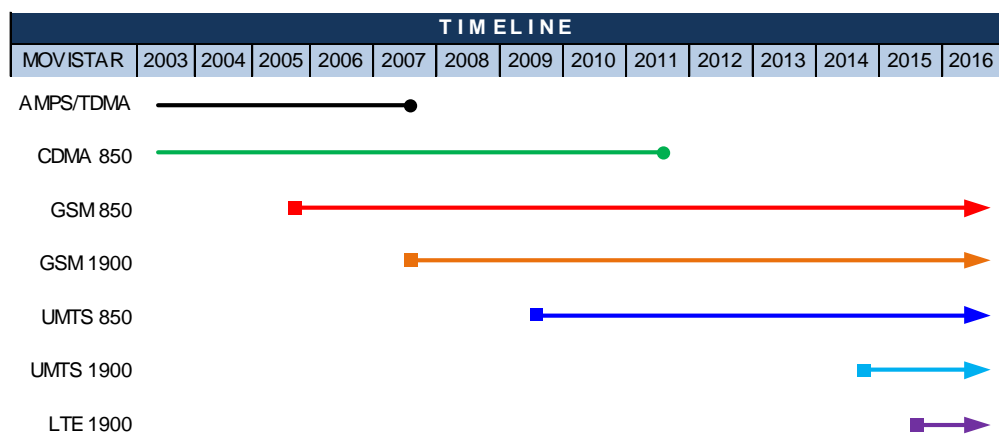
Fuente: (ARCOTEL)



**Figura 5 Crecimiento anual de radiobases por tecnología CONECEL**  
Fuente: (ARCOTEL)

### 1.3.2 Otecel (Movistar)

Otecel Inició sus operaciones con la tecnología analógica AMPS en el año 1993, bajo el nombre de Celular Power. Posteriormente para el año 1997 adaptó la tecnología digital TDMA al igual que su directo competidor. En el año 2002 implementa la red CDMA ofreciendo nuevos servicios y diferentes terminales atractivos al usuario. Para el año 2005, OTECEL decide implementar la red GSM debido al éxito comercial de esta tecnología en la región. La red AMPS/TDMA de esta operadora es dada de baja el año 2007. El 17 de abril de 2008 Otecel renovó el Contrato de Concesión con el Estado ecuatoriano y para el año 2009 se implementa la red de tercera generación basada en UMTS. En el año 2015, puso en funcionamiento la red 4G LTE de forma parcial en las ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato, Atacames y Salinas. (ARCOTEL), (Wikipedia, 2016)



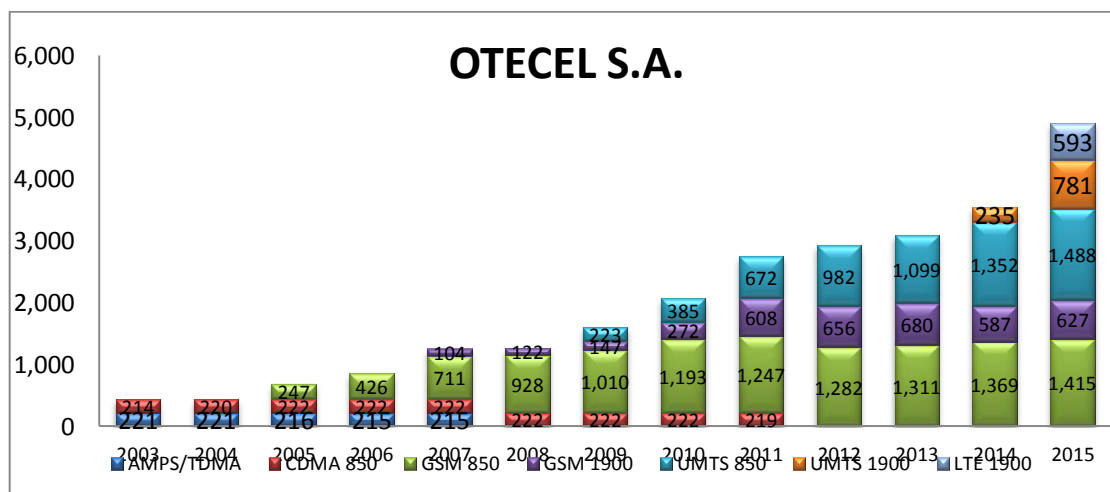
**Figura 6 Timeline tecnologías OTECEL**

A continuación se detalla el crecimiento anual por tecnología que ha tenido esta operadora celular.

**Tabla 2**  
**Crecimiento anual de radiobases por tecnología OTECEL**

ANUAL														
MOVISTAR	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Radiobases	AMPS/TDMA	221	221	216	215	215								
	CDMA 850	214	220	222	222	222	222	222	222	219				
	GSM 850			247	426	711	928	1010	1193	1247	1282	1311	1369	1415
	GSM 1900					104	122	147	272	608	656	680	587	627
	UMTS 850							223	385	672	982	1099	1352	1488
	UMTS 1900											235	781	
	LTE 1900												593	
	<b>Total</b>	<b>435</b>	<b>441</b>	<b>685</b>	<b>863</b>	<b>1252</b>	<b>1272</b>	<b>1602</b>	<b>2072</b>	<b>2746</b>	<b>2920</b>	<b>3090</b>	<b>3543</b>	<b>4904</b>
Promedio de sectores	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
AB asignado (MHz)	25	25	25	35	35	35	35	35	35	35	35	35	85	

Fuente: (ARCOTEL)



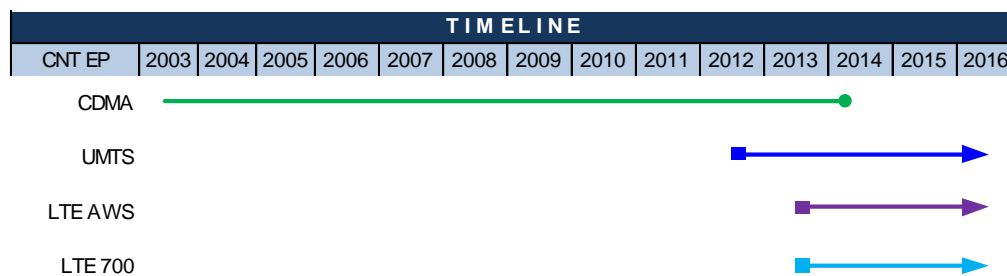
**Figura 7 Crecimiento anual de radiobases por tecnología OTECEL**

Fuente: (ARCOTEL)



### 1.3.3 CNT

Inició sus operaciones con la tecnología CDMA en diciembre del año 2003 bajo el nombre comercial de Alegro PCS brindando el servicio SMA, que se entiende es superior a un servicio celular y adoptó la banda de frecuencia de los 1900MHz. En el año 2005, empieza a brindar servicio de datos móviles y acceso a internet a través de la tecnología CDMA 1X (EV-DO) en la banda de 1900 MHz. Al inicio adoptó tecnologías norteamericanas muy costosas como es el caso de CDMA, pero luego en el año 2007, realiza un convenio con OTECEL para arrendar la infraestructura de acceso GSM y brindar el servicio de telefonía móvil con tecnología GSM, debido a que estaba perdiendo competitividad en el mercado. A nivel de América Latina, la tendencia es adoptar tecnologías 3GPP, debido a que los terminales y equipos de conectividad son más baratos. Es la primera operadora en el país en brindar tecnología LTE a partir del año 2013 en puntos específicos de la ciudad de Quito y Guayaquil (Wikipedia, 2016).



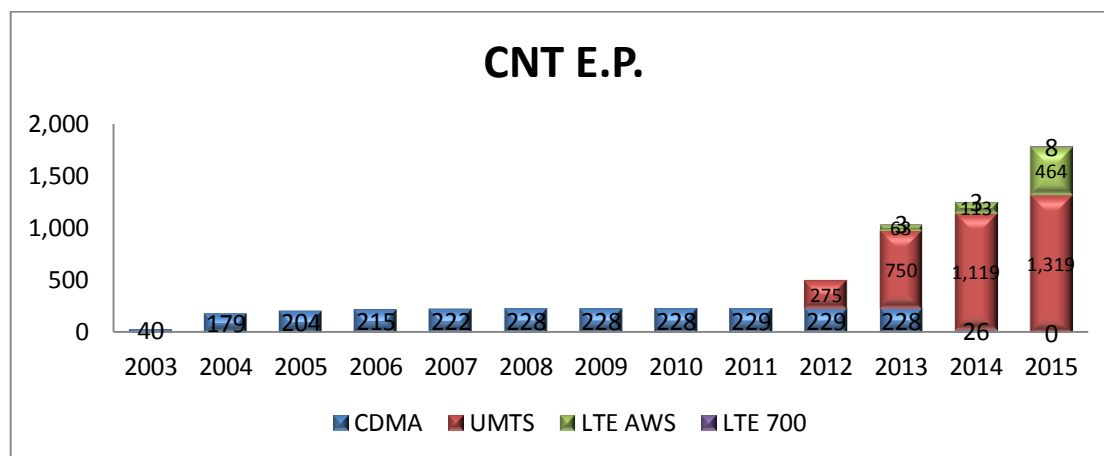
**Figura 8 Timeline tecnologías CNT**

A continuación, se detalla el crecimiento anual por tecnología que ha tenido esta operadora celular.

**Tabla 3**  
**Crecimiento anual de radiobases por tecnología CNT**

		ANUAL													
ALEGRO		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Radiobases	CDMA	40	179	204	215	222	228	228	228	229	229	228	26	0	
	UMTS										275	750	1.119	1.319	
	LTE AWS											63	113	464	
	LTE 700											3	3	8	
	Total	40	179	204	215	222	228	228	228	229	504	1.044	1.261	1.791	
	Promedio de sectores	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
AB asignado (MHz)		30	30	30	30	30	30	30	20	40	110	110	110	110	

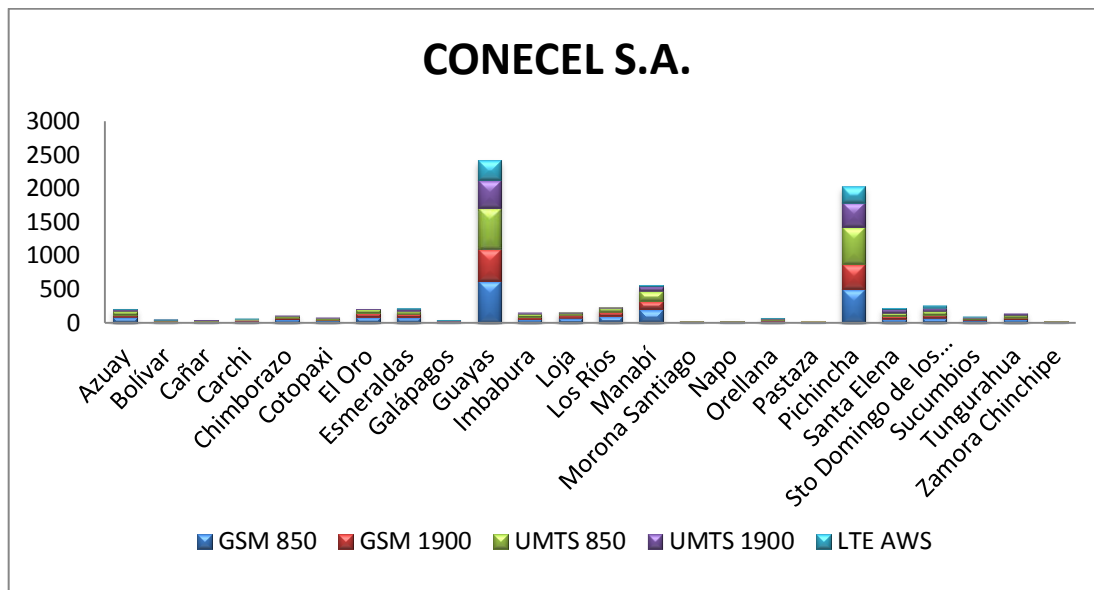
**Fuente:** (ARCOTEL)



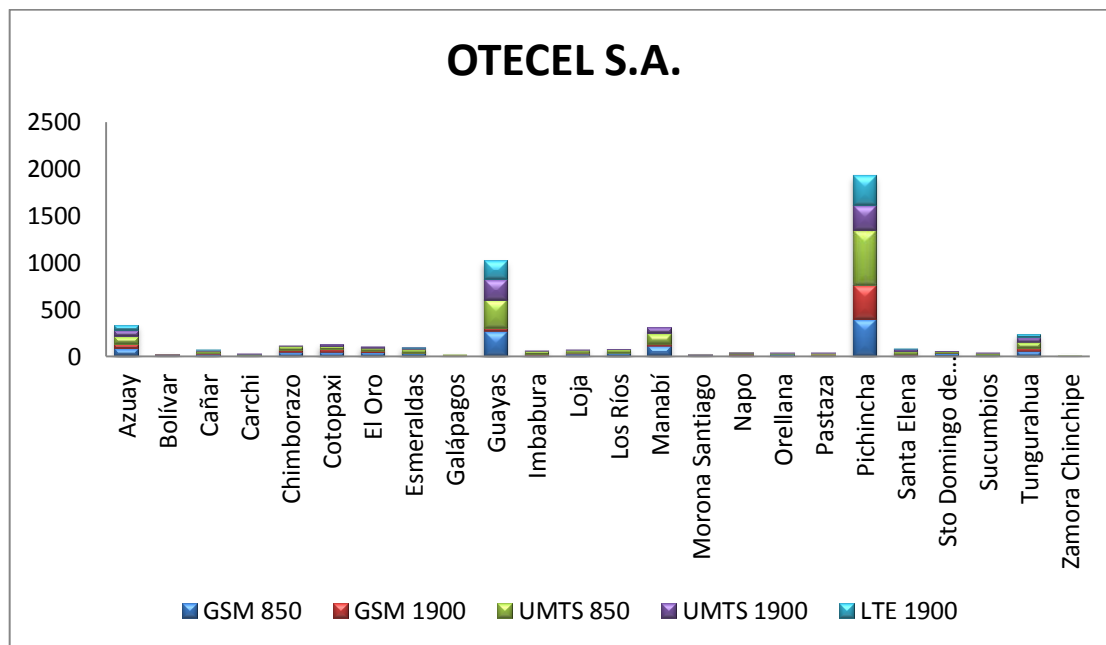
**Figura 9 Crecimiento anual de radiobases por tecnología CNT**

**Fuente:** (ARCOTEL)

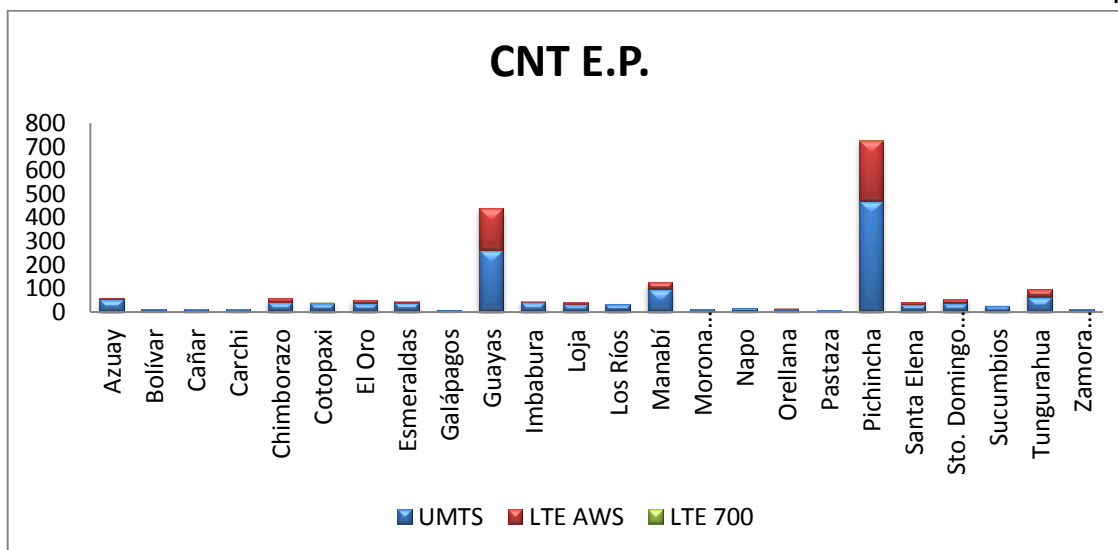
A continuación, se muestra la presencia de cada operadora por tecnología a nivel provincial en el Ecuador.



**Figura 10 Distribución de radiobases por provincia y tecnología CONECEL**  
 Fuente: (ARCOTEL)



**Figura 11 Distribución de radiobases por provincia y tecnología OTECEL**  
 Fuente: (ARCOTEL)



**Figura 12 Distribución de radiobases por provincia y tecnología CNT**  
Fuente: (ARCOTEL)

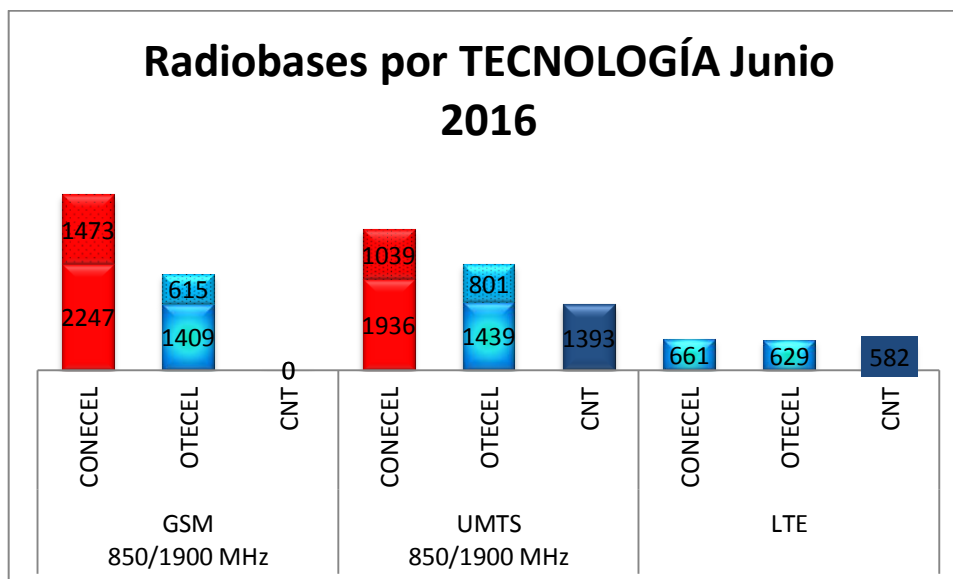
De acuerdo con los datos presentados a diciembre de 2015, las tecnologías que tienen mayor despliegue a nivel nacional son GSM con 5.639 radiobases y UMTS con 6.143 radiobases y las provincias con mayor densidad de radiobases son Pichincha con 4.384 y Guayas con 3.780 radiobases entre las tres operadoras (ARCOTEL).

Realizando el análisis de despliegue de radiobases de las tres operadoras a nivel nacional, durante el primer semestre 2016, se tiene los siguientes datos:

**Tabla 4**  
**Radiobases por Operador y Tecnología Junio 2016**

OPERADOR/TECNOLOGÍA	GSM 850	GSM 1900	UMTS 850	UMTS 1900	LTE
CONECEL	2247	1473	1936	1039	661
OTECCEL	1409	615	1439	801	629
CNT	0	0	1393	0	582

Fuente: (ARCOTEL)



**Figura 13 Radiobases por Operador y Tecnología Junio 2016**  
Fuente: (ARCOTEL)

#### 1.4 PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS

El espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial.

A través del espectro radioeléctrico, es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones que tienen una importancia creciente para el desarrollo social y económico de un país.

El espectro radioeléctrico es considerado por la Constitución de la República como un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. Dentro de este contexto, la legislación de telecomunicaciones ecuatoriana lo define como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible (ARCOTEL).

Para el funcionamiento de las operadoras, el Estado ha concesionado un rango específico de frecuencias a cada operador celular, teniendo la siguiente distribución:

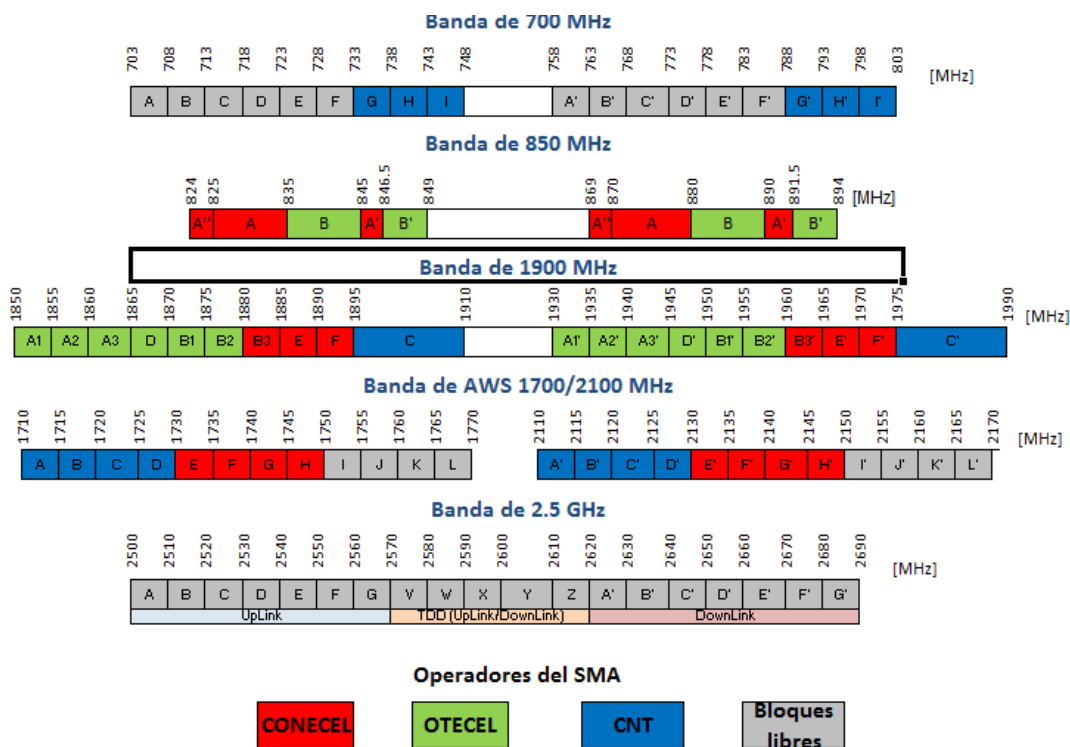
**CONECEL**

Tiene concesionado 95 MHz, distribuido de la siguiente forma:

850 MHz: A, A', A''

1900 MHz: B3, E, F, B3', E', F'

AWS: E, F, G, H, E', F', G', H'



**Figura 14 Espectro frecuencias esenciales**  
Fuente: (ARCOTEL).

**OTECCEL**

Tiene concesionado 85 MHz, distribuido de la siguiente forma:

850 MHz: B, B´.

1900 MHz: A1, A2, A3, D, B1, B2, A1´, A2´, A3´, D´, B1´, B2´.

### *CNT*

Tiene concesionado 100 MHz, distribuido de la siguiente forma:

700 MHz: G, H, I, G´, H´, I´.

1900 MHz: C, C´.

1700/2100 MHz: A, B, C, D, A´, B´, C´, D´.

## **1.5 ORGANISMOS REGULADORES Y DE CONTROL**

### **1.5.1 Ministerio De Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información**

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) fue creado mediante Decreto Ejecutivo N° 8 firmado por el Presidente de la República, Econ. Rafael Correa Delgado, el 13 de agosto de 2009.

Su creación responde a la necesidad de coordinar acciones de apoyo y asesoría para garantizar el acceso igualitario a los servicios que tienen que ver con el área de telecomunicación, para de esta forma asegurar el avance hacia la Sociedad de la Información y así el buen vivir de la población ecuatoriana.

#### *Objetivos*

- Establecer y coordinar la política del sector de las telecomunicaciones, orientada a satisfacer las necesidades de toda la población;
- Desarrollar los planes de manera concertada con la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones y con la ciudadanía;

- Garantizar la masificación de las Tecnologías de la Información y Comunicación en la población del Ecuador, incrementando y mejorando la Infraestructura de Telecomunicaciones;

#### *Entidades Adscritas al MINTEL*

ARCOTEL: Es la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, tiene como misión ser un ente de regulación y control de los servicios de telecomunicaciones, en beneficio de los usuarios. Asimismo, vigila el cumplimiento de la normativa para la concesión de frecuencias del espectro radioeléctrico.

ARCPOSTAL: Agencia de Regulación y Control Postal.

CDE – EP: Correos del Ecuador E.P.

CNT – EP: Brinda servicios como los de Internet, televisión, telefonía móvil y fija.

DINARDAP: La Dirección Nacional de Registro de Datos Públicos.

REGISTRO CIVIL: Ofrece los servicios de inscripción de nacimiento, cedulação. (Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, S/F)

### **1.5.2 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones**

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) está adscrita al Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

Es la entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión, así como de los



aspectos técnicos de la gestión de medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes. Entre las funciones que competen a este organismo regulador están:

1. Emitir las regulaciones, normas técnicas, planes técnicos y demás actos que sean necesarios en el ejercicio de sus competencias, para la provisión de los servicios de telecomunicaciones.
2. Elaborar, aprobar, modificar y actualizar el Plan Nacional de Frecuencias.
3. Elaborar las propuestas de valoración económica para la asignación y uso, aprovechamiento y/o explotación del espectro radioeléctrico, tarifas por uso de frecuencias y derechos por otorgamiento y renovación de títulos habilitantes.
4. Ejercer el control de la prestación de los servicios de telecomunicaciones, incluyendo el servicio de larga distancia internacional.
5. Ejercer el control técnico de los medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes, tales como los de audio y video por suscripción.
6. Controlar y monitorear el uso del espectro radioeléctrico. (ARCOTEL)

## **1.6 CONTRATO DE CONCESIÓN PARA EL SMA**

A continuación se presenta un extracto del Contrato de Concesión de CONECEL, firmado en Agosto 2008.

### **1.6.1 Resumen de Cláusulas**

#### **Cláusula 6.- Objeto del Contrato**

6.1 La SENATEL otorga a favor de la Sociedad Concesionaria la Concesión de los siguientes servicios finales de telecomunicaciones, de acuerdo a los

términos, condiciones y plazos establecidos en el presente Contrato con sujeción a la Legislación Aplicable y al Ordenamiento Jurídico Vigente:

- a) Servicio Móvil Avanzado (SMA); y
- b) Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional;

Los servicios finales antes indicados podrán prestarse a través de terminales de telecomunicaciones de uso público. Así mismo, se concesionan las bandas de Frecuencias Esenciales según lo establecido en la Cláusula 8 y en el Anexo 3 de este Contrato.

### **Cláusula 7.- Ejecución de la Concesión**

7.1 La instalación, ampliación, renovación tecnológica y actualización de las redes y plataformas de telecomunicaciones asociadas al Servicio Concesionado, no requerirá de autorización posterior de la SENATEL siempre y cuando se realicen dentro de las bandas de Frecuencias Esenciales asignadas, no se cambie el objeto de la concesión y se notifique previamente y por escrito a la SENATEL y a la SUPTEL. La SENATEL podrá pedir ampliación de la información presentada, de considerarlo necesario.

7.2 La Sociedad Concesionaria podrá prestar los Servicios Concesionados utilizando su propia red o uno o más elementos de terceros. En el caso de utilizar elementos de terceros, la Sociedad Concesionaria es la única responsable de los derechos y obligaciones derivados del presente Contrato.

### **Cláusula 8.- Espectro y Asignación de Frecuencias**

8.1 Por el presente Contrato, el Estado ecuatoriano a través de la SENATEL y previa autorización del CONATEL, otorga a favor de la Sociedad Concesionaria, la concesión de bandas de Frecuencias Esenciales, de conformidad con lo establecido en el Anexo 3 de este Contrato.

### **Cláusula 9.- Área de la Concesión**

La Sociedad Concesionaria, en virtud de este Contrato, tiene derecho a prestar los Servicios Concesionados en todo el territorio ecuatoriano, de conformidad con sus propios planes de expansión y con el Plan Mínimo de Expansión indicado en el Anexo 2 de este Contrato.

### **Cláusula 21.- Plan Mínimo de Expansión**

21.1 La Sociedad Concesionaria se obliga a cumplir con el Plan Mínimo de Expansión constante en el Anexo 2.

### **Cláusula 40.- Parámetros Mínimos de Calidad de los Servicios**

40.1 Los Servicios Concesionados serán prestados sobre la base de los Parámetros Mínimos de Calidad establecidos en el Anexo 5. Los Parámetros de Calidad del servicio constan en el Anexo 5 del presente Contrato y posteriormente serán establecidos anualmente por el CONATEL, teniendo en cuenta el punto de vista de la Sociedad Concesionaria.

### **1.6.2 Anexo 3: Asignación de Frecuencias Esenciales**

Se concesionan las frecuencias esenciales para ser utilizadas de acuerdo al presente contrato, dentro del área de concesión que comprende todo el territorio nacional las siguientes bandas de frecuencia.

El detalle de las mismas se lo hace referencia en la sección 1.4 del presente documento y a la Figura 14.

### **1.6.3 Anexo 5: Parámetros de calidad**

## **ZONA DE COBERTURA (5.9)**

### **Definición**

Es el área que la Sociedad Concesionaria informa al usuario, dentro de la cual se tendrá un nivel de señal que permita la prestación del servicio concesionado, de conformidad con los valores objetivos establecidos.

### **Valor Objetivo**

Valor objetivo para zonas urbanas:  $\%c \geq 95\%$  de las mediciones superiores o iguales al nivel mínimo de señal establecido.

Valor objetivo para zonas rurales y carreteras:  $\%c \geq 90\%$  de las mediciones superiores o iguales al nivel mínimo de señal establecido.

### **Metodología de Medición**

#### ***Forma de medición***

La Sociedad Concesionaria realizará las mediciones por medio de Drive Test conjuntamente con un delegado de la SUPTEL, sobre la base de la cobertura presentada y reportada a sus usuarios en su publicidad.

Dentro de la zona de cobertura reportada por la Sociedad Concesionaria, la SUPTEL establecerá las rutas sobre las cuales se realizará la medición de posición, nivel de señal y velocidad, preferentemente cada segundo. El Drive Test se realizará a unas velocidades máximas de 40 kilómetros por hora en zonas urbanas y 60 kilómetros por hora en carreteras y zonas rurales. El 90% de las muestras tomadas deberán estar dentro de los límites de velocidad establecidos.

#### ***Variables que conforman el parámetro***

- $p$  : Posición del equipo terminal.

- $n_s$  : Número de muestras con nivel de señal en el canal de control del equipo terminal superiores o iguales del nivel mínimo de acuerdo a la tecnología y por tipo de zona (urbana o rural y carreteras).
- $v$  : Velocidad del equipo terminal.
- $n$  : Número de muestras válidas por tecnología y por tipo de zona (urbana o rural y carreteras).
- $\%c$  : Porcentaje de cobertura por tecnología y por tipo de zona (urbana o rural y carreteras).
- 

Los niveles mínimos de acuerdo a la tecnología y para zona urbana son:

- $n_s$  (GSM)  $\geq$  -85 dBm (Rx Level sobre el canal de control)
- $n_s$  (CDMA/UMTS)  $\geq$  -14 dB (Ec/Io sobre el canal de control)

Los niveles mínimos de acuerdo a la tecnología y para zona rural y carreteras son:

- $n_s$  (GSM)  $\geq$  -98 dBm (Rx Level sobre el canal de control)
- $n_s$  (CDMA/UMTS)  $\geq$  -17 dB (Ec/Io sobre el canal de control)

Rx Level : Nivel de recepción

Ec/Io : Energía por chip/Ruido

Las muestras válidas de nivel de señal que formarán parte para el cálculo del parámetro que se comparará con el valor objetivo, no considerarán valores repetidos en la misma posición  $p$  o en 10m alrededor de ella.

*Cálculo para obtener el índice*

$$\%c = \frac{n_s}{n} \times 100$$

***Frecuencia de Medición***

Trimestralmente, procurando que en cada trimestre del primer año se cubra alrededor de un 25% de la cobertura total de la Sociedad Concesionaria.

### **Reportes**

La Sociedad Concesionaria pondrá en conocimiento de la SENATEL y SUPTEL:

- a) Valores de  $p$ ,  $n_s$ ,  $n$  y  $v$  medidos de acuerdo a la frecuencia de medición, por tecnología y por tipo de zona (urbana o rural y carreteras) entregados trimestralmente, 15 días después de concluido el trimestre.
- b) Los índices %c (urbano), %c (rurales y carreteras) por cada tecnología. Estos índices serán usados para la verificación del cumplimiento del respectivo valor objetivo.

### **Observaciones**

La Sociedad Concesionaria reportará trimestralmente a la SUPTEL y SENATEL, el área de cobertura que ha informado a los usuarios.

Con los resultados obtenidos, la SUPTEL pondrá en conocimiento de la Sociedad Concesionaria trimestralmente los ajustes que se deban realizar a la información de cobertura publicada.

La Sociedad Concesionaria deberá remitir a la SUPTEL la información de respaldo en archivo digital y en el formato único que determine la SENATEL y SUPTEL.

La SUPTEL podrá realizar los Drive Test que considere necesarios para la verificación de la cobertura, observando la metodología de medición definida en este parámetro.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTO TEÓRICO

### TECNOLOGÍAS CELULARES

#### 2.1 TECNOLOGÍA GSM

Global System for Mobile Communications, es un estándar desarrollado por el 3GPP y consiste en una red conmutada por circuitos, ideal para transmisión de voz pero con limitaciones para el envío de datos. (3GPP, 2017)



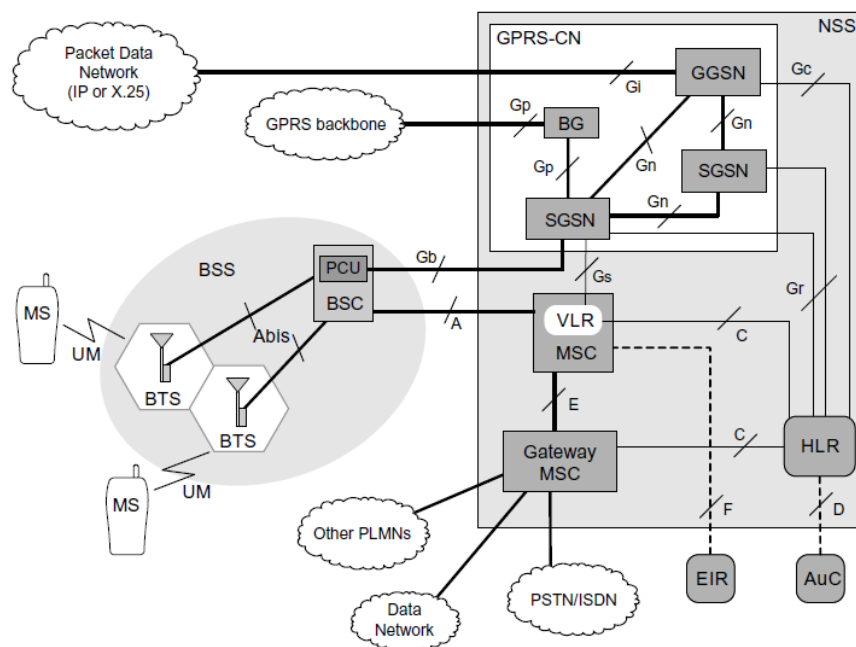
**Figura 15 Logotipo GSM**  
**Fuente:** (3GPP, 2017)

El propósito tras las especificaciones GSM era definir un conjunto de interfaces abiertas para que la operación y mantenimiento se pueda obtener de diferentes proveedores de red. Además, cuando una interface es abierta, se define estrictamente lo que sucede dentro de la misma y las acciones, procedimientos o funciones que se pueden implementar entre interfaces. (Nokia, 1998)

A diferencia de las redes móviles analógicas donde la inteligencia de la red se la manejaba de forma centralizada generando carga excesiva en el sistema disminuyendo su capacidad, en las especificaciones de GSM se distribuye la inteligencia a través de toda la red.

### 2.1.1 Arquitectura de Red

Tomando en consideración las interfaces y la carga de procesamiento que estas tendrán que manejar, el sistema distribuido de inteligencia de red GSM se lo puede dividir en tres subsistemas nombrados a continuación.



**Figura 16 Subsistemas GSM y sus interfaces**  
Fuente: (Chevallier, Brunner, & Garavaglia, 2006)

- Network Switching Subsystem (NSS)
- Base Station Subsystem (BSS)
- Network Management Subsystem

En el establecimiento de una llamada, la **BSS** permite el acceso del terminal móvil a la red y es responsable del control del radioenlace, dando paso a que la **NSS** realice las conexiones de circuitos necesarias para enrutar las llamadas, validando la identificación del usuario y enviándolo al sistema de tarificación. La



**NMS** está bajo la interface de O&M y se encarga de monitorear el buen funcionamiento de los elementos de red y el envío de estadísticas para mejorar el desempeño de red. (Kaarainen & Ahtianen, 2005)

El MS es el dispositivo con el cual el usuario accede a la red y contiene la información e identificación del usuario almacenado en la SIM Card.

#### 2.1.1.1 Subsistema de Conmutación - Network Switching Subsystem

Según (Sauter, 2014) y (Bettstetter & Hartmann, 2009), el subsistema de red y conmutación representa al núcleo de red y está compuesto por los siguientes elementos:

##### **MSC (Mobile Services Switching Centre)**

Es el elemento principal en una red de telecomunicaciones móviles, conectado a los BSCs pertenecientes a su clúster y a sus servidores de bases de datos donde se guarda la información y perfiles de usuarios. Entre sus funciones se puede citar:

- Autenticación de usuarios en la red.
- Permite el establecimiento de llamadas.
- Control y ruteo de llamadas dentro de la propia red o hacia redes externas.
- Es parte del proceso de movilidad que mantiene la conexión cuando los usuarios cambian de ubicación.

##### **GMSC (Gateway MSC)**

Es el switch de conmutación de circuitos que permite el enlace con redes externas. Todo el tráfico entrante y saliente perteneciente a otras redes debe cursar por este elemento.

##### **SGSN (Serving GPRS Support Node)**

Es el elemento responsable de transportar y enrutar paquetes de datos desde y hacia los dispositivos móviles.

### **GGSN (Gateway GPRS Support Node)**

Es el principal componente de la red de datos y es responsable de la interconexión entre la red GPRS y redes externas como internet.

### **HLR (Home Location Register)**

Es el servidor principal de base de datos permanente que guarda la información única de cada usuario dentro de la red. Contiene la información de todos los usuarios registrados y sus principales datos son:

- Número telefónico de cada usuario.
- Perfiles de servicios y suscripciones disponibles por usuario.
- Datos de Autenticación.
- Ubicación.
- Información del actual MSC/VLR.

### **VLR (Visitor Location Register)**

Es un servidor de base de datos volátil. Es responsable de guardar los datos de usuarios que estén asociados a un determinado MSC, es decir, copia la información del HLR para un rápido acceso a la misma.

La información de cada usuario en esta base de datos es guardada durante el tiempo que este permanece en la zona de cobertura de la MSC (Kaaraneen & Ahtianen, 2005).

#### **2.1.1.2 Subsistema de Estaciones Base - Base Station Subsystem**

Este subsistema es responsable del transporte de datos, tráfico y señalización desde el dispositivo móvil hacia los elementos de core y está compuesto por los siguientes elementos:

## **BTS (Base Transceiver Station)**

Es el elemento de red más cercano y visible al usuario, usualmente conocido como radiobase. Permite la interconexión entre el dispositivo móvil y los elementos de red a través del uso del espectro radioeléctrico. Sus componentes básicos son:

- Antenas.
- Transceivers (TRX).
- Elementos de banda base.
- Medio de transmisión hacia la BSC.

Una BTS puede dar servicio a un número limitado de usuarios, por la cantidad de recursos y espectro disponible, siendo necesaria la planificación de división de territorio e instalación de nuevas radiobases para satisfacer la demanda de usuarios (Sauter, 2014).

Teóricamente el radio de cobertura de una radiobase puede llegar hasta los 35 km. El área que se genera por este radio de cobertura representa una celda celular.

## **BSC (Base Station Controller)**

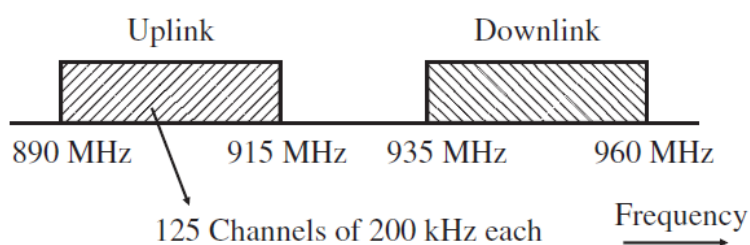
La BSC es elemento central de la red de acceso, que agrupa a las BTS de una determinada área de servicio o clúster. Sus principales funciones son:

- Establecer la conexión entre el dispositivo móvil y la NSS.
- Manejo de movilidad de usuarios.
- Recolección de datos y estadísticas de performance.
- Control de interfaces de acceso y red de radio.

La Arquitectura computacional de la BSC es de forma distribuida y redundante con el objeto de garantizar la disponibilidad de la red.

### 2.1.2 Interface Aire

Inicialmente, el estándar GSM fue concebido para operar en la banda de 900 MHz diferenciando los bloques Uplink y Downlink con su respectiva porción de frecuencias y separados en 45 MHz. Cada bloque tiene asignado 25 MHz y se subdivide en 125 canales con ancho de banda de 200 KHz cada uno.



**Figura 17 Bloques Uplink / Downlink GSM 900MHz.**  
Fuente: (Sauter, 2014)

Debido al despliegue exitoso de esta red, el número de canales disponibles no fue suficiente para cubrir la demanda de los usuarios, razón por la cual se agregaron nuevas bandas de frecuencia para el uso en GSM y se estandarizó a nivel mundial.

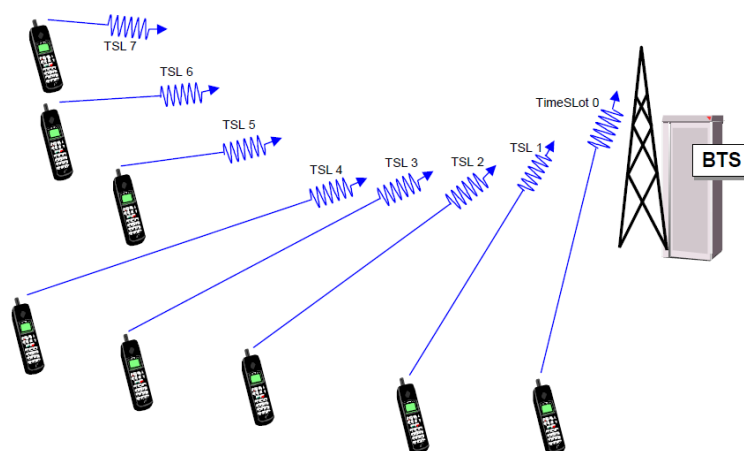
Band	ARFCN	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
GSM 900 (primary)	0–124	890–915	935–960
GSM 900 (extended)	975–1023, 0–124	880–915	925–960
GSM 1800	512–885	1710–1785	1805–1880
GSM 1900 (North America)	512–810	1850–1910	1930–1990
GSM 850 (North America)	128–251	824–849	869–894
GSM-R	0–124, 955–1023	876–915	921–960

**Figura 18 Bandas de frecuencia GSM**  
Fuente: (Sauter, 2014)

Según lo mencionado en el Manual de entrenamiento Systra de Nokia, el estándar GSM implementó su transmisión con tecnología digital y se la obtiene usando los métodos de acceso FDMA & TDMA.

Con FDMA (Frequency Division Multiple Access) a cada BTS se le asigna un set diferente de canales de radio dependiendo de su número de celdas y banda de operación.

Mediante TDMA (Time Division Multiple Access), se divide un canal de frecuencia en consecutivos periodos de tiempo llamados TDMA Frame. De esta forma se comparte los recursos de radio entre múltiples usuarios, asignando el canal durante intervalos específicos de tiempo conocidos como "timeslot". Cada TDMA Frame está compuesto por ocho timeslots.



**Figura 19 Principio TDMA**

**Fuente:** (Nokia, 1998)

Se definieron actualizaciones al estándar GSM en la cual incorporaron nuevos elementos en la red como es el caso del SGSN y GGSN que permiten brindar servicios de datos móviles. (Nokia, 1998)

**Tabla 5**  
**Características GSM**

<b>RESUMEN GSM</b>	
Acceso	FDMA & TDMA
Bandas de frecuencia	850MHz / 1900 MHz
Distancia Dúplex Frecuencia	45MHz / 80 MHz
Ancho de banda Portadora	200 kHz
Servicios	Voz, SMS, Datos
Velocidad Máxima Datos DL	GPRS: 54kbit/s EDGE: 220kbit/s

## **2.2 TECNOLOGÍA UMTS**

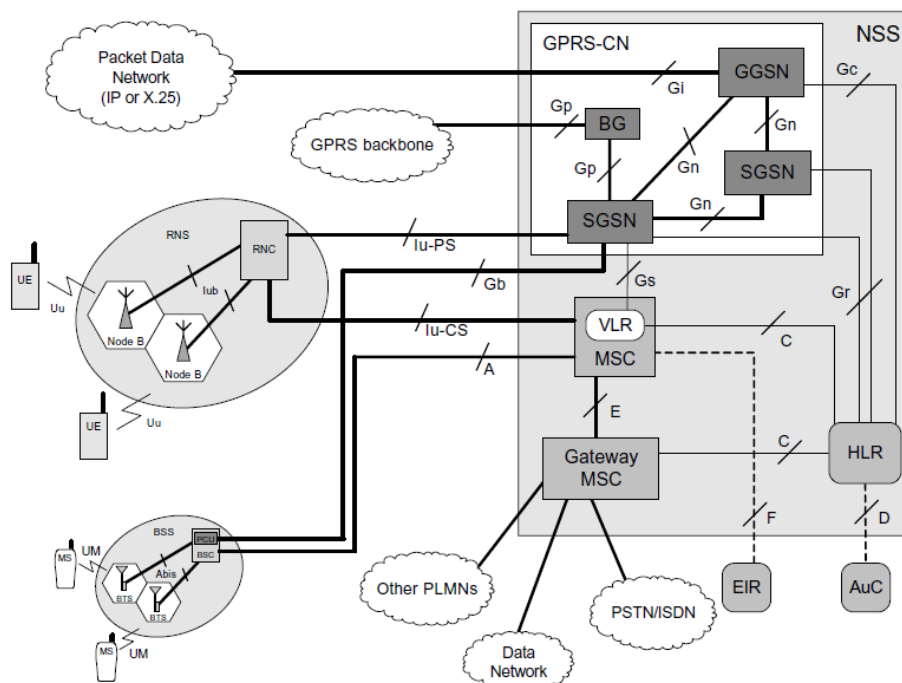
Universal Mobile Telecommunications System, es un estándar de tercera generación desarrollado por el 3GPP cuya base es el estándar GSM. Diseñado para comunicaciones multimedia al combinar la red conmutada por circuitos con la red conmutada por paquetes, permitiendo incrementar la cantidad de usuarios conectados y a diferencia de su predecesora es una red con mejores tasas de transferencia de datos móviles.

### **2.2.1 Arquitectura de Red**

Cuando se introdujo la tecnología de tercera generación, la mayoría de operadores celulares tenían una red 2G existente, es así como la tecnología WCDMA, base del UMTS, utiliza la mayoría de elementos del subsistema NSS de la red GSM para brindar servicios de tercera generación.

Tomando como referencia la red GSM, la diferencia con la nueva arquitectura UMTS es el reemplazo de la BSC y BTS por la Radio Network Controller (RNC) y el NodoB respectivamente, que juntos forman la UTRAN. De

esta forma, las dos redes GSM y UMTS se complementan para brindar un mejor servicio a los usuarios.



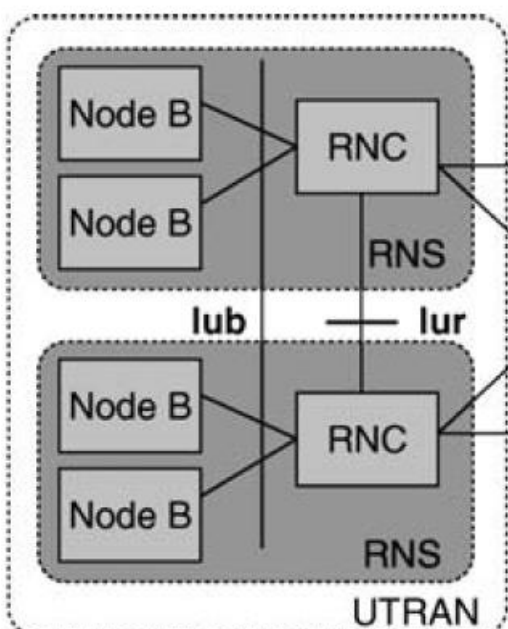
**Figura 20 Arquitectura UMTS**

**Fuente:** (Chevallier, Brunner, & Garavaglia, 2006)

Funcionalmente, estos dos nuevos elementos de red son agrupados por la UTRAN quien se encarga de todas las funcionalidades de radio; CN quien es responsable del enrutamiento de llamadas, conexión de datos y vinculación con redes externas. A nivel de usuario está presente el UE que sirve de interface entre el usuario y la red UMTS.

#### 2.2.1.1 Red de Radio Acceso - Umts Terrestrial Radio Access Network (Utran)

Consiste en la red de radio acceso UMTS y permite la conexión de los usuarios hacia el Core Network. Está formada por una o más Radio Network Subsystem, la cual contiene una RNC y uno o más nodosB.



**Figura 21 Arquitectura UTRAN**

**Fuente:** (Holma & Toskala, WCDMA FOR UMTS, 2004)

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

Es el elemento principal de la UTRAN responsable del control y gestión de los recursos de radio de los nodosB conectados a este elemento.

Establece conexiones hacia la plataforma conmutada por circuitos (voz) y hacia la plataforma conmutada por paquetes (datos) (Holma & Toskala, WCDMA FOR UMTS, 2004). Entre sus funciones se puede listar:

- Control de NodosB.
- Manejo de movilidad.
- Encriptación de datos.

### **NodoB**

Corresponde a la radiobase UMTS, es responsable del envío y recepción de datos hacia el usuario a través de la interface aire y su posterior transmisión hacia la RNC. Entre sus principales características se puede listar.



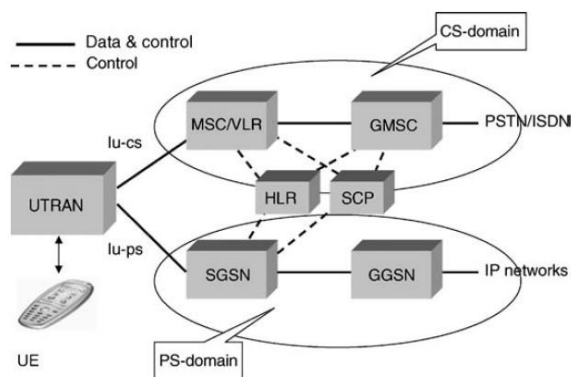
- Establece el enlace con el UE.
- Envío de reportes hacia la RNC.
- Codificación de canal.
- Control de Potencia hacia el UE.

Por lo general, un nodoB se encuentra sectorizado en celdas, de esta forma se incrementa la capacidad dentro de un área de cobertura.

### 2.2.1.2 Núcleo de Red - Core Network

El Core o núcleo de la red UMTS maneja todo el procesamiento y administración del sistema y es equivalente al subsistema NSS de la red GSM. Gracias a la arquitectura de estas dos tecnologías se logró compartir elementos de red para una operación en conjunto.

Para poder brindar los servicios de tercera generación, se “actualizó la versión” de los elementos existentes para de esta forma soportar mayor capacidad de tráfico tanto en el plano de usuario como en el plano de control.



**Figura 22 Arquitectura CN**

**Fuente:** (Holma & Toskala, WCDMA FOR UMTS, 2004)

El CN sirve de interface de enlace hacia las redes externas y en función de los datos cursados por esta, se la puede dividir en dos dominios.

***Circuit Switched (CS) Domain:*** Contiene los elementos basados en la red GSM y transporta los datos en forma de conmutación de circuitos. Sus elementos se listan a continuación:

### **MSC (Mobile Switching Centre)**

Este elemento es usado tanto por la BSC como la RNC gracias a que dispone de diferentes interfaces de conexión.

### **GMSC (Gateway MSC)**

Es el elemento que es usado tanto en GSM como en UMTS y permite la interconexión con redes externas de tráfico de voz.

### ***Packet Switched (PS) Domain***

Estos elementos están diseñados para transportar paquetes de datos y enrutarlos hacia su correcto destino, permitiendo incrementar velocidades de transmisión (Radio Electronics).

### **SGSN (Serving GPRS Support Node)**

Es el elemento principal en una red conmutada por paquetes, contiene información del suscriptor, registros de localización, brinda soporte en la movilidad para los usuarios, monitorea el flujo de datos del usuario y lo envía hacia el sistema de facturación.

### **GGSN (Gateway GPRS Support Node)**

Es considerado como un router sofisticado, el cual permite alcanzar redes externas a través de la conmutación de paquetes.

### 2.2.1.3 Equipamiento de Usuario - User Equipment

Es el principal elemento fuera de la infraestructura de la red UMTS y permite la comunicación entre el usuario y la red. Establece la conexión con el NodoB en los lugares donde exista cobertura celular y pueda demandar los servicios que requiera.

En su interior aloja la USIM y esta contiene el perfil de usuario, la IMSI, lenguaje predeterminado y una lista de redes preferidas y restringidas tanto de telefonía pública o móvil.

### 2.2.2 Interface Aire

Inicialmente el estándar UMTS fue definido para operar en la banda de 2 GHz, separando sus bloques Uplink y Downlink en 190 MHz. Su técnica de acceso es WCDMA cuya portadora tiene ancho de banda de 5 MHz.

Operating band	UL frequencies (UE transmit, BS receive) (MHz)	DL frequencies (UE receive, BS transmit) (MHz)
WCDMA core band	1,920–1,980	2,110–2,170
1,900 MHz	1,850–1,910	1,930–1,990
1,800 MHz	1,710–1,785	1,805–1,880
1.7/2.1 GHz (USA)	1,710–1,770	2,110–2,170
UMTS850	824–849	869–894
UMTS800 (Japan)	830–840	875–885

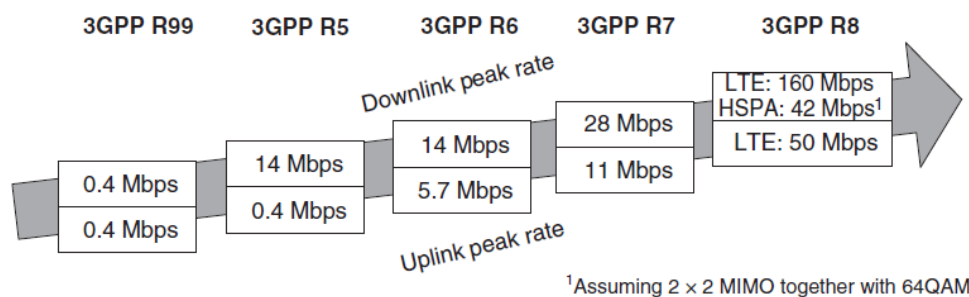
**Figura 23 Bloques de frecuencia UMTS**

**Fuente:** (Kaarainen & Ahtianen, 2005)

Se han definido varias actualizaciones al estándar UMTS introduciendo nuevas técnicas de modulación, codificación de canal y equipos para lograr mejores velocidades de transmisión de datos como se muestra a continuación.

**Tabla 6**  
**Características UMTS**

RESUMEN UMTS	
Acceso	WCDMA
Bandas de frecuencia	850MHz / 1900 MHz
Distancia Dúplex Frecuencia	45MHz / 80 MHz
Ancho de banda Portadora	5 MHz
Servicios	Voz, SMS, Datos 3G
Velocidad Máxima Datos DL	R99: 2Mbps HSDPA: 14 Mbps HSPA: 28 Mbps



**Figura 24 Evolución de UMTS**

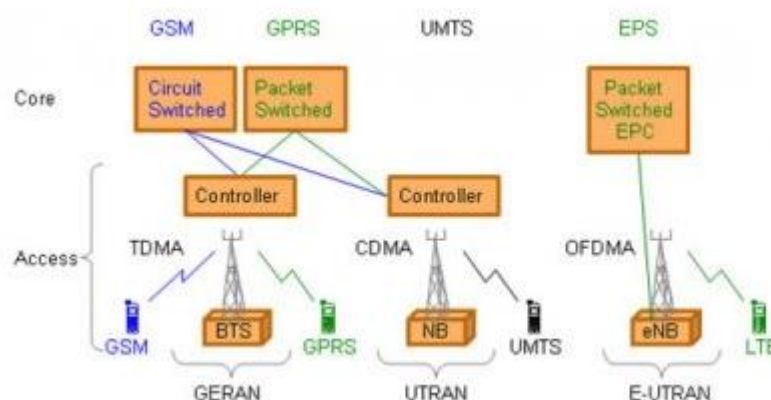
**Fuente:** (Holma & Toskala, WCDMA FOR UMTS, 2004)

## 2.3 TECNOLOGÍA LTE

Long Term Evolution, es un estándar de cuarta generación desarrollado por el 3GPP el cual permite la transmisión de datos de alta velocidad con alta

eficiencia espectral, baja latencia, con ancho de banda adaptativo y compatible con otras tecnologías 3GPP.

Si bien es cierto que se le considera una evolución del UMTS, LTE presenta una nueva arquitectura evolutiva, orientada a la transmisión de datos. En la figura 25 se puede observar que se ha prescindido de un elemento controlador.



**Figura 25 Tecnologías 3GPP**

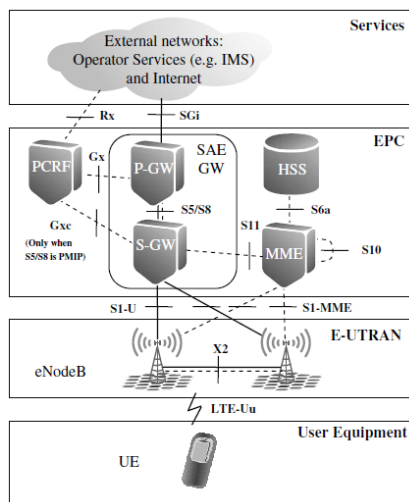
Fuente: (3GPP, 2017)

### 2.3.1 Arquitectura de Red (Sae)

De forma general, su arquitectura sigue el principio de las tecnologías GSM y UMTS al separar la parte de Radio y la parte de Core. Se ha dividido las siguientes entidades.

- User Equipment (UE).
- Evolved UTRAN (E-UTRAN)

## Evolved Packet Core Network (EPC)



**Figura 26 Tecnologías 3GPP**

**Fuente:** (Holma & Toskala, LTE FOR UMTS, 2009)

### 2.3.1.1 Equipo de Usuario - User Equipment

Es el dispositivo que posee el usuario para acceder a los servicios y dependiendo de sus características pueden aprovechar todo el potencial que ofrece la red LTE. Se ha clasificado en 5 categorías de terminales, cada uno con mejores prestaciones y esquemas de modulación para permitir mejores velocidades de conexión.

Category	1	2	3	4	5
Maximum downlink data rate (20 MHz carrier)	10	50	100	150	300
Maximum uplink data rate	5	25	50	50	75
Number of receive antennas	2	2	2	2	4
Number of MIMO downlink streams	1	2	2	2	4
Support for 64 QAM in the uplink direction	No	No	No	No	Yes

**Figura 27 Tecnologías 3GPP**

**Fuente:** (Sauter, 2014)

En su interior contiene la tarjeta USIM que es responsable de almacenar la información de suscripción del usuario y los servicios que pueden acceder en la red.

### 2.3.1.2 E-UTRAN (eNodeB)

A diferencia de las redes de acceso GSM y UMTS, en la E-UTRAN se elimina el elemento controlador, asignando sus funciones al único elemento eNodeB que es la radiobase del sistema LTE.

La E-UTRAN es responsable de todas las funciones de radio que se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Control de Recursos de Radio.
- Compresión de datos, para hacer un uso eficiente de la interface de radio.
- Seguridad, al encriptar todos los datos que pasan por la interface de radio.
- Ruteo de paquetes hacia el EPC.
- Decisiones de Handover hacia otro eNodeB

### 2.3.1.3 Núcleo de Red de Paquetes - Evolved Packet Core (epc)

Posee una arquitectura plana totalmente IP, que soporta altas tasas de throughput a baja latencia y separa los datos de usuario de los datos de control entre sus elementos. Gracias a esta separación, los operadores pueden dimensionar de forma independiente la escalabilidad de sus elementos.

#### **MME (Mobility Management Entity)**

Es el elemento de control el cual procesa la señalización entre el eNodeB y el CN y a su vez entre el UE y el CN. Sus funciones son:

- Autenticación, cuando un usuario se registra en la red LTE, el MME realiza una consulta a la base de datos HSS para verificar si es un usuario activo.

- Manejo de Movilidad, mantiene el registro de ubicación de todos los UE en su área de servicio.
- Administrar el perfil de suscripción para asignación de portadoras de servicio.
- Ayuda en el proceso de Handover inter eNodeB.
- Interoperabilidad con otras redes móviles, cuando el UE sale del área de cobertura LTE el MME lo ayuda para mantener la continuidad del servicio.

### **S-GW (Serving Gateway)**

Es el elemento que trabaja en el user plane, responsable de administrar los túneles de datos entre los eNodeB y el P-GW que administra la salida a internet. Por este router cursan los paquetes IP de todos los usuarios. Entre sus funciones se listan:

- Coordinar los inter eNodeB handover.
- Coordinar los handover inter redes 3GPP.
- Buffer de paquetes de datos Downlink, mientras el MME localiza al UE objetivo.

### **P-GW (Packet Data Network Gateway)**

Es el router de borde entre el EPC y las redes externas de datos. Es el administrador de movilidad de más alto nivel en el sistema. Establece la dirección IP del UE que le sirve para comunicarse dentro de la red y hacia otras redes. Entre sus funciones se puede listar:

- Filtrado de paquetes de datos.
- Asignación de direcciones IP.
- Tarifación.



### HSS (Home Subscriber Server)

Es un servidor de base de datos para LTE, el cual comparte su información con el HLR de las tecnologías GSM/UMTS, para permitir el roaming intra redes. Sus funciones son:

- Guarda la base de datos de suscriptores y sus perfiles.
- Brinda soporte en la autenticación de usuarios.
- Habilita y restringe roaming intra operadores.

### PCRF (Policy and Charging Resource Function)

Este elemento es responsable de establecer las políticas de control, así como también controlar el flujo de datos enviados hacia facturación. Provee la autorización del QoS para determinar el flujo de datos entregado al usuario de acuerdo a su perfil de suscripción.

#### 2.3.2 Interface Aire

LTE para su despliegue ha estandarizado sus frecuencias de operación con el fin de globalizar el servicio. El ancho de banda de sus portadoras es dinámico y puede ser de 1.25, 2.5, 5, 10, 15 y 20 MHz.

Operating band	3GPP name	Total spectrum	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]
Band 1	2100	2x60 MHz	1920-1980	2110-2170
Band 2	1900	2x60 MHz	1850-1910	1930-1990
Band 3	1800	2x75 MHz	1710-1785	1805-1880
Band 4	1700/2100	2x45 MHz	1710-1755	2110-2155
Band 5	850	2x25 MHz	824-849	869-894
Band 6	800	2x10 MHz	830-840	875-885

**Figura 28 Bandas de Frecuencia LTE**

**Fuente:** (Holma & Toskala, LTE FOR UMTS, 2009)

Para lograr alcanzar altas velocidades, la interface de radio usa dos tipos de técnicas de acceso, OFDMA en Downlink y SC-FDMA para el Uplink.

Este sistema está diseñado para satisfacer la necesidad de los usuarios y las nuevas tendencias como el internet de las cosas, permitiendo conexiones en tiempo real y con la mayor disponibilidad.

**Tabla 7**  
**Características LTE**

RESUMEN LTE	
Acceso	OFDMA / SC-FDMA
Bandas de frecuencia	banda 4 AWS (1700/2100 MHz)
Distancia dúplex Frecuencia	400 MHz
Ancho de banda Portadora	1.25, 2.5, 5, 10, 15, 20 MHz
Servicios	Datos de alta velocidad
Velocidad Máxima Datos DL	+100Mbps

## 2.4 RADIOBASES

Como se describió en secciones anteriores, la radiobase es el elemento más visible de las redes celulares y el hecho que los usuarios puedan acceder al servicio celular depende mucho de la cantidad de radiobases desplegadas y tecnologías instaladas. Están compuestas por Módulos de banda base, Módulos de radio frecuencia y Antenas

### 2.4.1 Huawei

La DBS 3900 series base stations son radiobases de cuarta generación desarrolladas por Huawei. Posee un diseño modular el cual con la tarjetería adecuada puede soportar GSM, UMTS o LTE de forma independiente o combinada.



**Figura 29DBS3900**  
**Fuente: (HUAWEI, 2017)**

### Características

- Ideal para ambientes Outdoor y de espacio reducido.
- Estructura Modular.
- Soporta co existencia con otras tecnologías en un mismo DBS.
- Transmisión ATM/IP.
- Permite escalabilidad de tecnología.

Sus componentes se listan a continuación:

- BBU
- RRU

### BBU

La Unidad de Banda Base es el cerebro de la radiobase, procesa señales digitales y permite ser configurada de acuerdo a las tarjetas instaladas. Entre sus funciones se puede listar:

- Procesamiento de datos Uplink / Downlink.
- Procesamiento de señalización y manejo de recursos.
- Proveer puertos para equipos de Transmisión.
- Proveer puertos para los módulos RF (RRU).

- Guardar la configuración del sistema.
- Posee slots para instalación de tarjetas funcionales.

En los Slots de la BBU se pueden instalar tarjetas y brindar diferentes tipos de configuración a la radiobase.

La distribución de slots en la BBU se la presenta a continuación.

Slot 16	Slot 0	Slot 4	Slot 18
	Slot 1	Slot 5	
	Slot 2	Slot 6	Slot 19
	Slot 3	Slot 7	

**Figura 30 en BBU3900**  
Fuente: (HUAWEI, 2017)

Los Slots 16, 18 y 19 se utilizan para FAN y tarjetas de Power respectivamente, siendo totalmente definidos para esa función.

En la siguiente figura se muestra el tipo de tarjetas que se puede instalar en cada slot de la BBU.

FAN	UTRP/WBBP/LBBP/UBBP	UTRP/WBBP/LBBP/UBBP	UPEU/UEIU
	UTRP/WBBP/LBBP/UBBP	GTMU	
	UBRI/WBBP/LBBP/UBBP		WMPT / UMPT
	WBBP/LBBP/UBBP		

**Figura 31 Tarjetas en BBU3900**  
Fuente: (HUAWEI, 2017)

La BBU se la puede instalar en un rack o gabinete de 19 pulgadas de forma indoor.

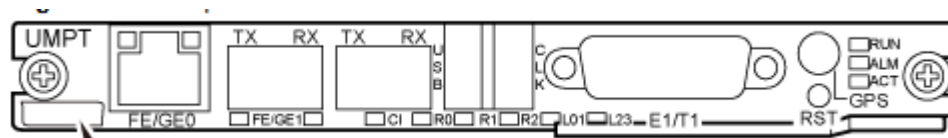
## Tarjetas en BBU

### UMPT

Universal Main Processing and Transmission Unit, es la tarjeta principal en la BBU, al ser Universal es capaz de ser configurada para servicios de GSM/UMTS/LTE. Entre sus funciones se puede listar:

- Maneja la configuración de la BBU.
- Procesa señalización y tráfico del resto de tarjetas en la BBU.
- Provee puertos de Transmisión (IP/E1).
- Provee puertos de mantenimiento.

A continuación se muestra una ilustración de la tarjeta.



**Figura 32 Tarjeta UMPT**  
Fuente: (HUAWEI, 2017)

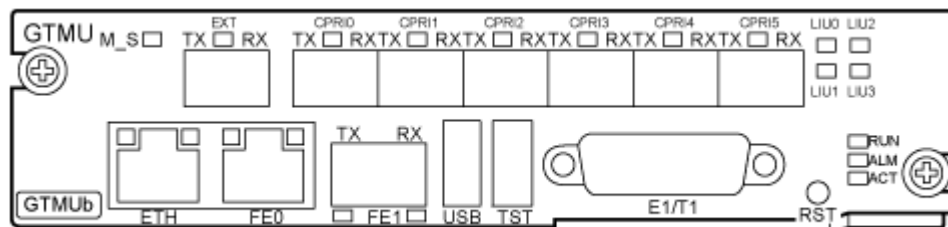
### GTMU

GSM Transmission and Timing and Management Unit, controla y opera a toda la BTS en configuración GSM. Tiene la capacidad de funcionar independientemente de las tarjetas WMPT/UMPT. Entre sus funciones se puede mencionar:

- Maneja la configuración de la BBU en modo GSM.
- Procesa señalización y tráfico GSM.
- Provee puertos de Transmisión (IP/E1).
- Provee 6 interfaces CPRI para conexión hacia los módulos RF (RRU).

- Procesa señales de sincronismo para GSM.

A continuación se muestra una ilustración de la tarjeta.



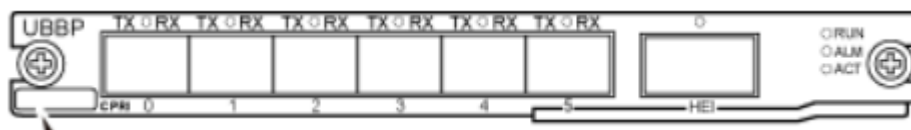
**Figura 33 Tarjeta GTMU**  
Fuente: (HUAWEI, 2017)

## UBBP

Universal Baseband Processing Unit, es la tarjeta que sirve de interface hacia las unidades RF. Al ser universal puede ser configurada en modo GSM/UMTS/LTE. Entre sus funciones se puede identificar:

- Provee las interfaces CPRI que sirven para la comunicación entre la BBU y la RRU.
- Procesamiento de señales de banda base Uplink/Downlink.
- Multitecnología.
- Administra la cantidad de recursos de radio y procesamiento.

A continuación se muestra una ilustración de la tarjeta.



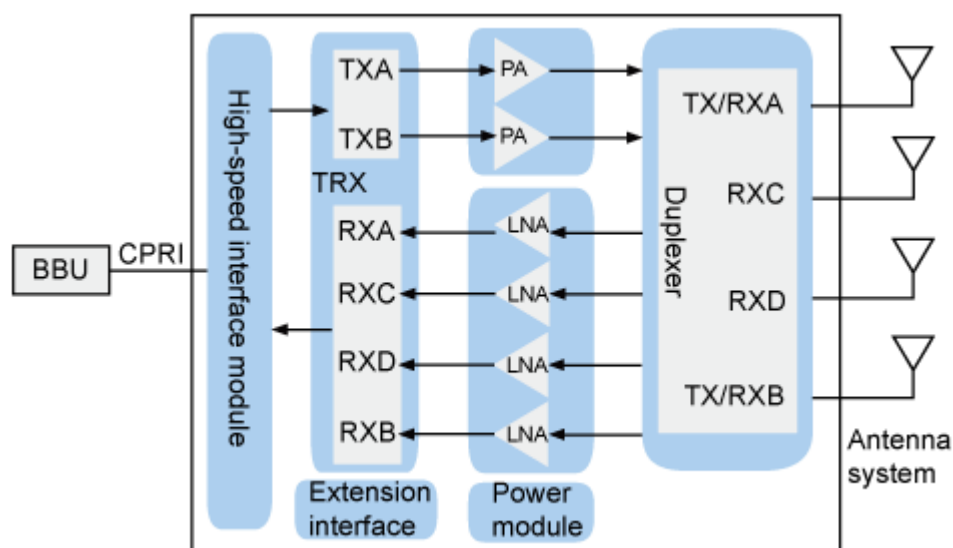
**Figura 34 Tarjeta UBBP**  
Fuente: (HUAWEI, 2017).

## RRU

Radio Remote Unit, es un módulo Outdoor de radio frecuencia, parte de la DBS3900. Su diseño permite su ubicación cerca de las antenas.

La RRU está compuesta por:

- Interface de alta velocidad, hacia la BBU.
- Unidad procesadora de señales RF y Duplexor.
- Modulo y Amplificadores de potencia.

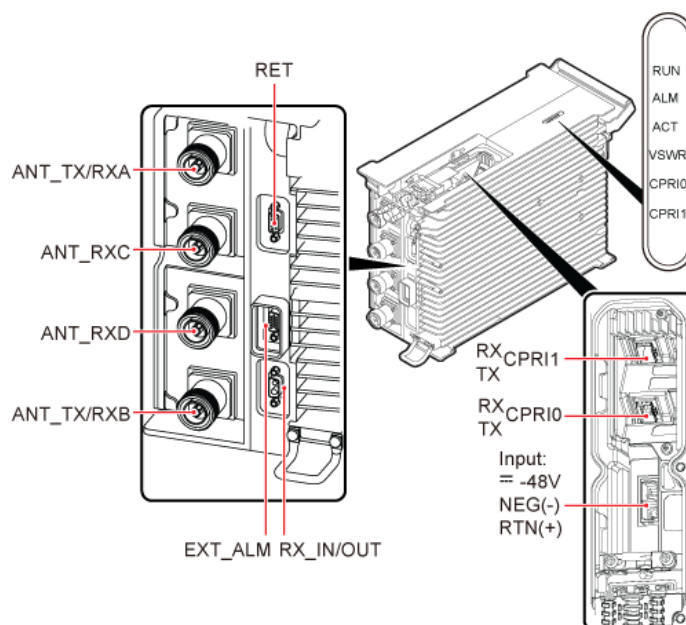


**Figura 35 Diagrama de bloques RRU**

Fuente: (HUAWEI, 2017)

Sus funciones se listan a continuación.

- Transmisión de datos en banda base con la BBU.
- Realiza la conversión Analógica / Digital de señales banda base a señales RF.
- Multiplexa la transmisión y recepción para compartición de antena.
- Recibe señales de RF desde el sistema de antenas.



**Figura 36 RRU 3942**  
**Fuente:** (HUAWEI, 2017)

- Puertos TX/RX: Son puertos de transmisión/recepción que se conectan a las antenas.
- Puertos RX: son puertos de recepción que se conectan a las antenas.
- Puerto RET, sirve para cambios de optimización remotos en las antenas.
- EXT\_ALM: sirve para transporte de alarmas externas hacia la BBU.
- TXRX CPRI 0/1: interfaces CPRI para conexión con la BBU mediante FO.
- Puertos de energía -48V DC.

Las RRU se las instala en polos, mástiles o soportes verticales. De acuerdo al modelo y configuración de puertos pueden brindar servicios de GSM/UMTS/LTE.

A continuación se presentan las características básicas de la RRU 3942.



**Tabla 8**  
**Características RRU 3942**

Type	Banda de Frecuencia (MHz)	Banda de Frecuencia Recepción (MHz)	Banda de Frecuencia Transmisión (MHz)	Modo de Operación	Capacidad	Sensibilidad en recepción (dBm)	Potencia de Salida
RRU3942	850	824 to 849	869 to 894	GSM, UMTS, GU	GSM: 8 TRXs UMTS: 4 Portadoras	GSM: 850 MHz: -113.4 1900 MHz: -113.7 UMTS: 850 MHz: -125.5 1900 MHz: -125.8	Usa sus dos amplificadores en configuración: 2 x 60 W 40 W + 80 W
	1900	1850 to 1910	1930 to 1990	GSM, UMTS, GU			

Ejemplos de instalación:



**Figura 37 Sitio ejemplo**

## ANTENAS

Las antenas celulares son dispositivos diseñados para emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas y una receptora realiza la función inversa.

Para determinar las características básicas de una antena, se debe consultar el Patrón de Radiación que es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, lo más habitual es representar la densidad de potencia radiada. En el diagrama se puede apreciar parámetros como:

- Frecuencia de Operación.
- Dirección de apuntamiento: Es la dirección de máxima radiación, directividad y ganancia.
- Lóbulo principal: Es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
- Lóbulos secundarios: Son el resto de máximos relativos, de valor inferior al principal.
- Ancho de haz: Es la apertura horizontal que genera el lóbulo principal tomado 3 dB por debajo del máximo.
- Ganancia: Se define como la ganancia de potencia en la dirección de máxima radiación.

Una adecuada configuración de antenas se la obtiene mediante una optimización del sistema radiante basado en el eje de la antena. El tilt permite reducir interferencias o cobertura dirigiendo la radiación de la antena hacia un punto deseado.

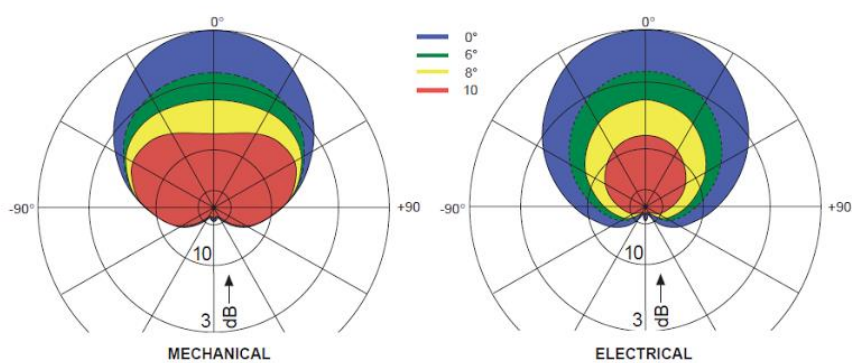
Por lo general, las antenas tienen grados de downtilt (inclinadas hacia abajo), sin embargo, dependiendo de los requerimientos puede colocarse grados de uptilt.

Hay dos tipos de tilt: tilt eléctrico y tilt mecánico. El tilt mecánico es la inclinación de la antena, a través de accesorios específicos en la misma, sin cambiar la fase de la señal de entrada, se modificación el patrón de radiación de la antena. Causa un efecto de ensanchamiento del lóbulo central reduciendo su cobertura.



**Figura 38 Representación de Downtilt**  
Fuente: (Jelsoft Enterprises, 2017)

En tilt eléctrico modifica las características de fase de la señal, sin afectar mucho el patrón de radiación, es decir el lóbulo central mantiene su forma, reduciendo su cobertura.



**Figura 39 Tilt Mecánico y Tilt Eléctrico**  
Fuente: (DragonByte Technologies Ltd, 2017)

## Antena Kathrein 742266 / Andrew DBXLH-6565C-VTM

Son antenas de especificaciones similares utilizadas para sectores de telefonía celular que operan en las bandas de frecuencia 850 y 1900 MHz.

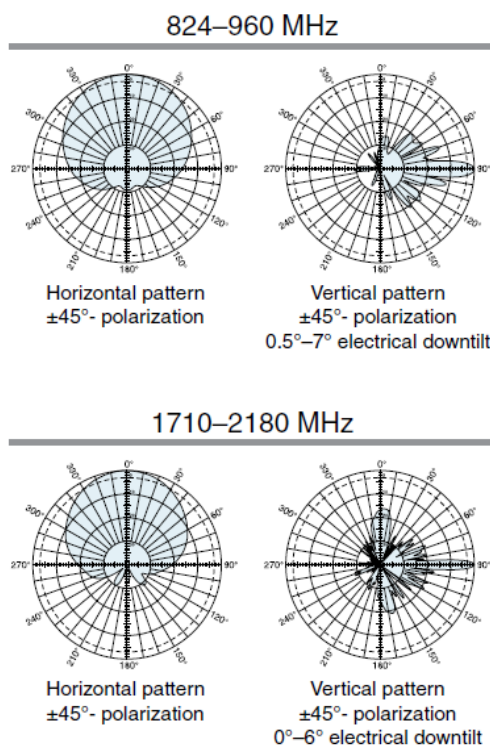
Su característica principal es que tiene una apertura horizontal de 65°.

### Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	824–896	870–960	1710–1880	1850–1990	1920–2180
Gain, dBi	16.8	17.4	18.5	18.7	18.3
Beamwidth, Horizontal, degrees	70	67	66	62	60
Beamwidth, Vertical, degrees	7.7	7.4	4.9	4.6	4.3
Beam Tilt, degrees	0–8	0–8	0–6	0–6	0–6
USLS, dB	15	15	15	15	15
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	26	27	32	32	28
Isolation, dB	30	30	30	30	30
Isolation, Intersystem, dB	35	35	35	35	35
VSWR   Return Loss, dB	1.4   15.6	1.5   14.0	1.5   14.0	1.4   15.6	1.5   14.0
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-150	-150	-150	-150	-150
Input Power per Port, maximum, watts	350	350	350	350	350
Polarization	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm

**Figura 40 Características de Antenas de 65°**

Fuente: (Commscope, 2017)



**Figura 41 Diagrama de radiación de antenas de 65°**

Fuente: (Readbag, 2015)

## ANTENA LBX-3319-DS-VTM

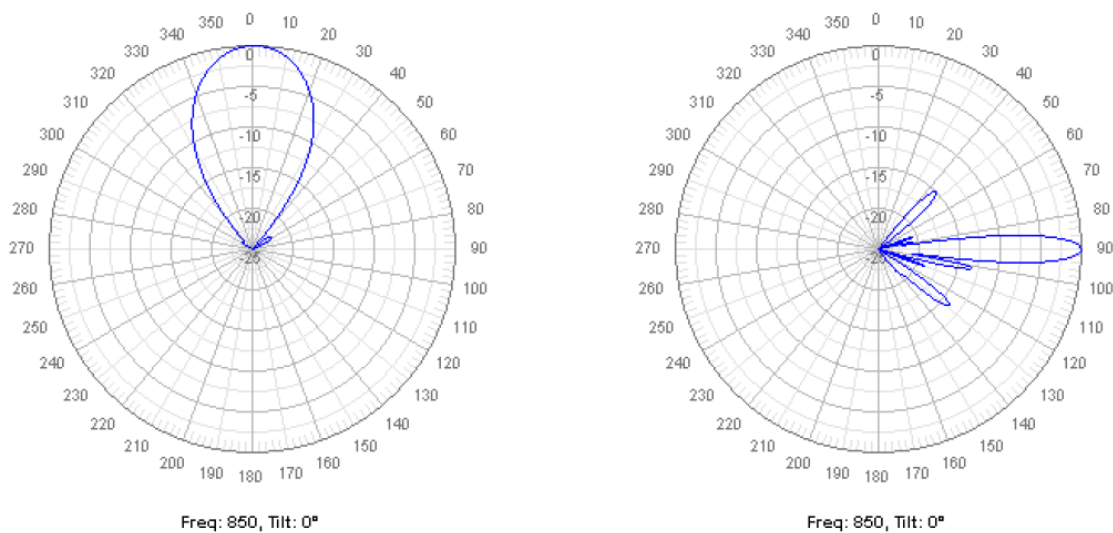
Son antenas de optimización para sectores de telefonía celular que operan en las bandas de frecuencia 850 MHz.

Su característica principal es que tiene una apertura horizontal de 33°.

<b>Frequency Band, MHz</b>	<b>806–896</b>
Beamwidth, Horizontal, degrees	33
Gain, dBd	17.2
Gain, dBi	19.3
Beamwidth, Vertical, degrees	7.5
Beam Tilt, degrees	0–8
Upper Sidelobe Suppression (USLS), typical, dB	17
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	30
Isolation, dB	30
VSWR   Return Loss, db	1.4:1   15.6
Intermodulation Products, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-150
Input Power, maximum, watts	300
Polarization	±45°
Impedance, ohms	50
Lightning Protection	dc Ground

**Figura 42 Características de Antenas de 33°**

**Fuente:** (Commscope, 2017)



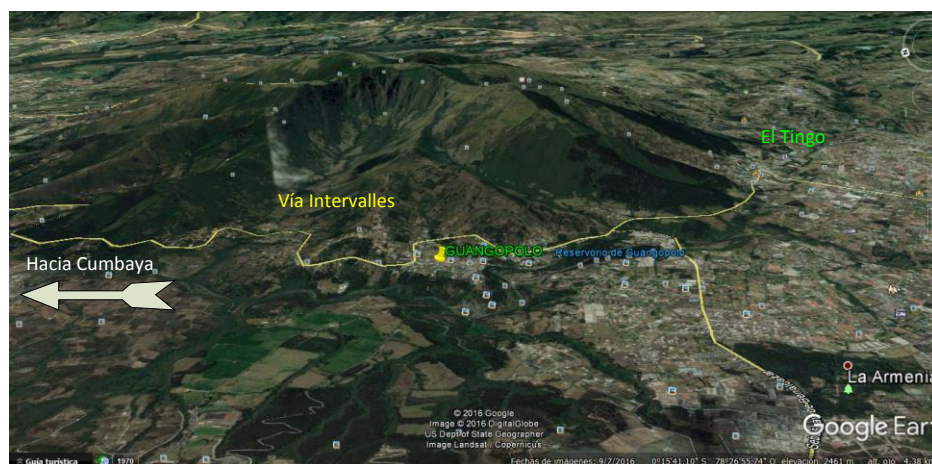
**Figura 43 Diagrama de radiación de antenas de 33°**

**Fuente:** (Commscope, 2017)

### CAPÍTULO III

## SITUACIÓN ACTUAL DE COBERTURA CELULAR EN LA PARROQUIA DE GUANGOPOLO Y SUS VÍAS DE ACCESO

Guangopolo está ubicado al Este con respecto a la ciudad de Quito, al pie del cerro Ilaló, es una parroquia del Distrito metropolitano de Quito, la cual según datos del censo de INEC del año 2010, cuenta con 3.059 habitantes (Secretaría Nacional de Información, 2014), de los cuales 2.273 son posibles usuarios potenciales de telefonía celular.

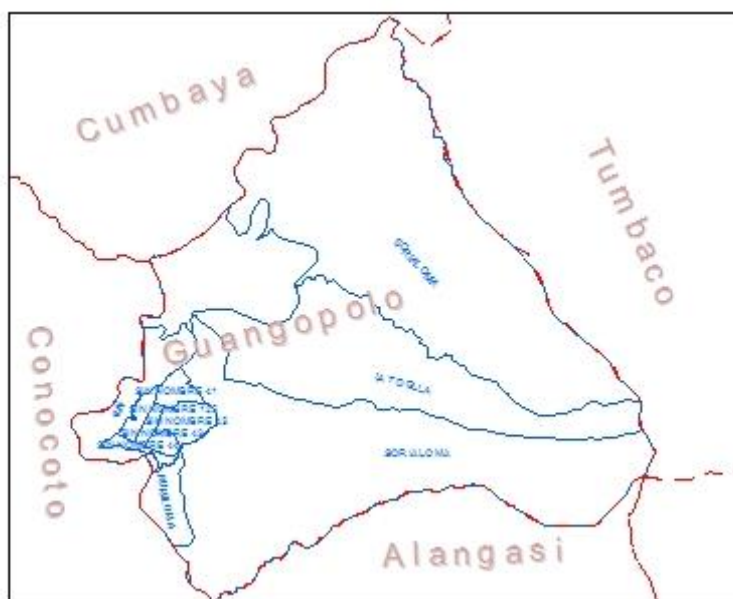


**Figura 44 Ubicación de Guangopolo**

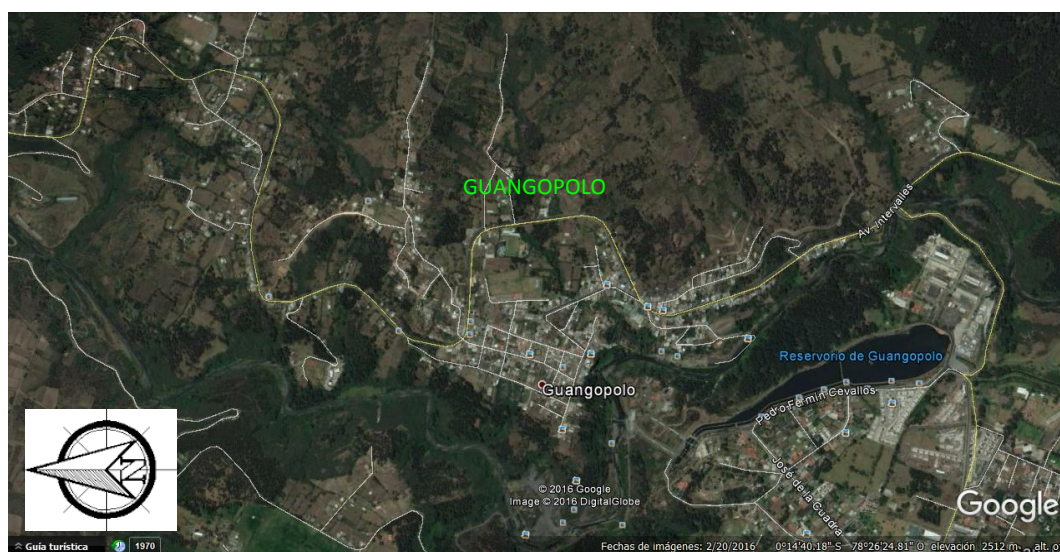
La vía de acceso a esta parroquia es la ruta Intervalles cuya longitud es de 11.5 km de carretera asfaltada, comprendidos entre la parroquia de El Tingo, hasta la Ruta Viva.

Norte	:	Parroquia Cumbayá y Tumbaco
Sur	:	Parroquia Conocoto y Alangasí
Este	:	Parroquia Tumbaco y Alangasí
Oeste	:	Distrito Metropolitano de Quito
Superficie	:	29,95 Km <sup>2</sup>





**Figura 45 Limites de la Parroquia Guangopolo**  
**Fuente:** (Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda STHV)



**Figura 46 Vista Satelital de Guangopolo**

De acuerdo a estadísticas de infraestructura de radiobases por operador y por tecnología con fuente Arcotel, se evidencia que en el primer semestre del año 2016 (ARCOTEL), en la parroquia de Guangopolo existía únicamente infraestructura de OTECEL S.A.

**Tabla 9**  
**Radiobases por Operador y por tecnología en Guangopolo**

OPERADORA	TECNOLOGIA	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16
CONECEL S.A	GSM 850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GSM 1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	UMTS 850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	UMTS 1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	LTE (AWS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OTECCEL	GSM 850	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	GSM 1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	UMTS 850	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	UMTS 1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LTE 1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNT	LTE 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	UMTS 1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LTE AWS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con este antecedente surge la necesidad de realizar una evaluación de cobertura celular en la parroquia de Guangopolo desarrollada en el presente proyecto.

En el mes de Agosto 2016, Conecel solicita el registro ante el estado de una nueva radiobase con el nombre de GUANGOPOLO para obtención de autorización de uso de frecuencias y documentación necesaria para despliegue del nuevo sitio.

### 3.1 METODOLOGÍA Y MATERIALES PARA LA EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA RED

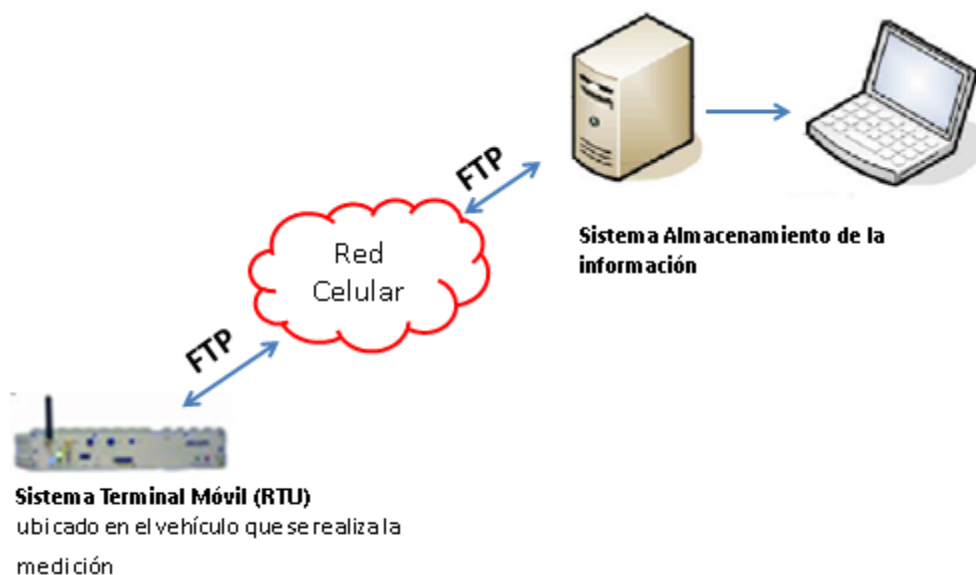
La optimización de redes celulares se la puede hacer a través de análisis de KPI (Key Performance Indicator), por herramientas de predicción, estadísticas y reportes de los elementos de red o mediante una evaluación en campo a través de un Drive Test.

Un Drive Test es una prueba en campo sobre redes celulares, la cual implica el uso de equipos de medición ubicados en un vehículo y colectan información de la red mientras el vehículo circula por una ruta definida. Esta información



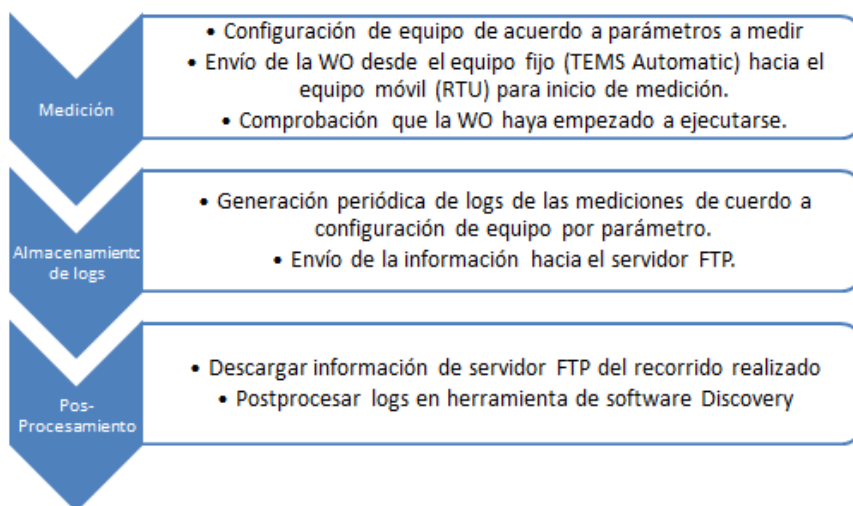
sirve para analizar cobertura, potencia de transmisión de radiobases, ubicación de antenas, eventos de degradación en la red y performance en general.

El esquema de medición y control está compuesto por una RTU (Remote Test Unit), ubicada en un vehículo que realiza la medición en la zona/polígono definido, un servidor local FTP en el cual se almacenan los logs y una PC con el software TEMS Automatic, aplicación encargada de ejecutar la activación/desactivación de las mediciones, tal como se indica en el siguiente diagrama:



**Figura 47 Esquema equipos de medición**

El flujo del sistema de medición y control utilizado incluye la toma de medidas con la RTU, la carga de esta información en un servidor vía FTP, la posterior descarga de la información (logs) y su procesamiento como se indica a continuación:



**Figura 48 Etapas Drive Test**

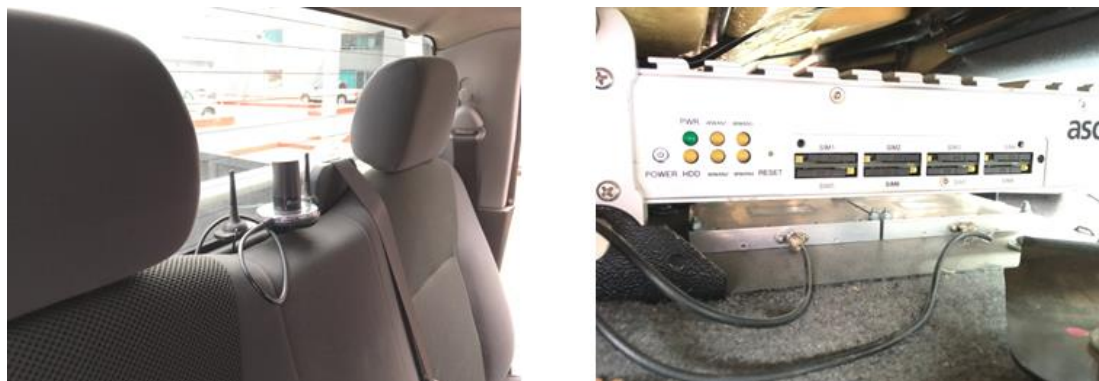
**Tabla 10**  
**Características equipo de medición**

Información del Tipo de Equipo utilizado	Marca	Ascom
	Modelo	TEMS Automatic Remote Test Unit RTU – 5
	Versión del software	TEMS Automatic 10.1
	Características técnicas de los equipos de DT	Windows Standart Embedded Voltaje: DC 10.0 ... 32.0 V max 7.5A Consumo de RTU con 3 dispositivos internos: 34.6 W Dimensiones (HxWxD) 50x260x176 mm Peso: 2.6 kg Temperatura: –30°C ... +50°C CPU Intel Core i7-2610UE Memoria interna 2.0 GB Memoria Non-volatile 8.0 GB No. de canales GPS 16
	Marca y Modelo de Terminales utilizados	Terminal Ericsson F3607gw (clase 10)
	Tecnologías y bandas de frecuencias de trabajo de los equipos terminales	GSM – 850 MHz GSM – 1900 MHz UMTS – 850 MHz UMTS – 1900 MHz
	Ganancias de las antenas internas o externas de los equipos terminales	5.15 dBi de antena externa (para ganancia real, se debe considerar combinador 4:1 con pérdidas de 6.5 dB / balance de pérdidas y ganancias)
	Nombre y versión de software de pos-procesamiento	TEMS Discovery 11.1.5

Las mediciones de cobertura GSM se efectúan sobre el canal de control (BCCH) en modo IDLE. Para obtener esta medida se ha muestreado el parámetro Rx Level que da los valores de nivel de potencia de recepción del terminal en modo IDLE.

Las mediciones de cobertura en WCDMA se realizan sobre el canal de control CPICH (Common Pilot Channel) con el terminal en modo IDLE, para obtener esta medida se ha muestreado el parámetro RSCP (Received Signal Code Power), que permite determinar la cobertura en un sistema WCDMA.

El equipo móvil con el que se realizan las mediciones son las RTU (Remote Test Unit), las cuales son instaladas en el vehículo de recorrido, las antenas que simulan un teléfono móvil, se colocan sobre un soporte a la altura de los apoya cabezas de los asientos para simular la altura promedio de una persona al hablar por celular.

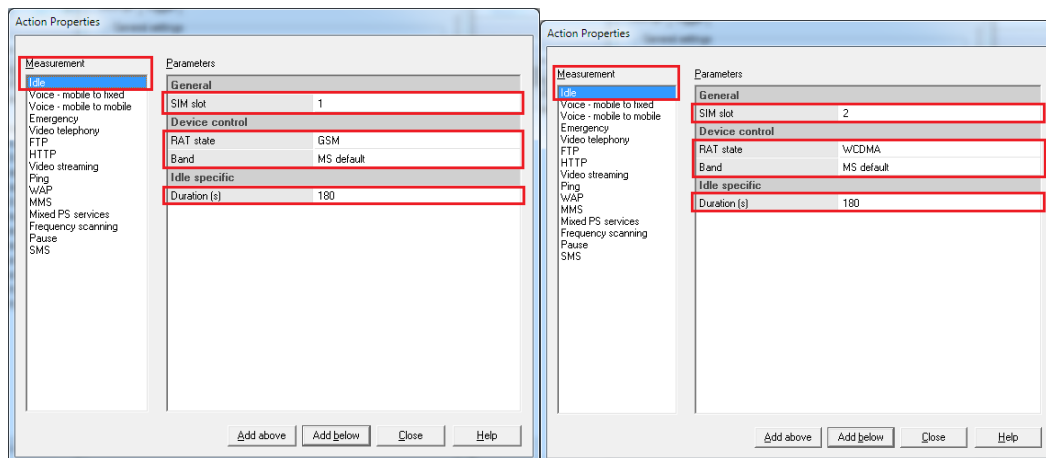


**Figura 49 Equipo RTU + Antenas en vehículo**

Para iniciar la recolección de datos en la herramienta TEMS Automatic, es necesario realizar la configuración del equipo especificando los siguientes parámetros.

- Tecnología a ser evaluada
- Slot de ubicación de la USIM Card.

- Tiempo de generación de logs.



**Figura 50 Configuración RTU en Servidor**

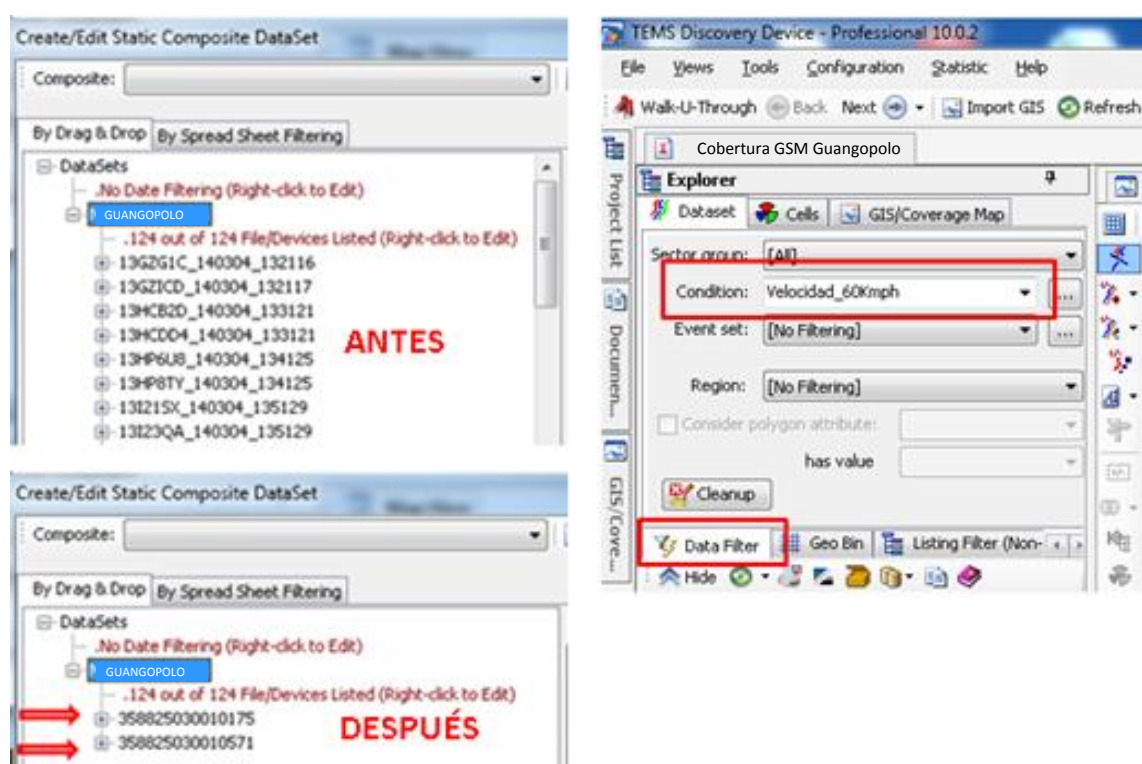
Para la correcta ejecución de un Drive Test, se debe tomar en cuenta las especificaciones estipuladas en el Contrato de Concesión Anexo 5.9 que determina la velocidad a la que debe ir el vehículo durante el recorrido.

Una vez finalizada la toma de datos, se da paso al post procesamiento de la información, que consiste en importar los archivos log hacia la herramienta TEMS Discovery tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se eliminan las muestras que tengan el valor “cero” o están “vacíos” en el parámetro de medición de cobertura (Rx Level, RSCP o Ec/Io).
- Se eliminan las muestras de frecuencias de canales de control que no correspondan a la banda de frecuencias del prestador del servicio objeto de medición.
- Se consideran como muestras válidas aquellas que tienen un valor de Rx Level, RSCP o Ec/Io, asociado a una determinada coordenada geográfica.
- Las muestras válidas de Rx Level, RSCP o Ec/Io se obtendrán sacando secuencialmente el valor promedio de las mediciones de cobertura que se registran cada 10 m.

- Se excluirán las muestras que no cumplan con el límite de velocidad establecido.

Debido a que los logs de los recorridos se configuraron para que se generen cada 180 segundos, es necesario unificar la información de todos los logs en un solo archivo. Se han agrupado de acuerdo al número de dispositivos que se haya utilizado en el Drive Test.



**Figura 51 Agrupación de archivos Log y filtro de velocidad**

Finalmente, la herramienta TEMS Discovery, generará en formato Excel los datos de Latitud, Longitud, Fecha, Hora de medición, Nivel de señal (RSCP) / RXLevel, Ec/Io.

Time	Date	Latitude	Longitude	Ec/Io (dB)	RSCP (dB)	PSC:A1	Cell Name
11:05:13.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-5.1	-80.7	479	INTERVALLESZ
11:05:15.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-6.4	-83.1	479	INTERVALLESZ
11:05:17.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-4.3	-80.4	479	INTERVALLESZ
11:05:19.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-5.2	-80.2	479	INTERVALLESZ
11:05:21.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-3.2	-79.7	252	CUNUYACUY
11:05:23.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-3.8	-77.7	252	CUNUYACUY
11:05:25.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-8.3	-83.1	479	INTERVALLESZ
11:05:27.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-7.9	-83.4	479	INTERVALLESZ
11:05:29.000	7/26/2016	-0.2214012	-78.4231662	-7.7	-83.8	479	INTERVALLESZ

Figura 52 Ejemplo de formato post procesado

### 3.1.1 Parámetros a ser evaluados

Los parámetros que serán evaluados se describen a continuación:

**RxLevel:** Este parámetro determina la intensidad de señal GSM recibida en el dispositivo móvil, se calcula de la siguiente forma:

$$RxLev(dBm) = EiRP(dBm) - PathLoss (dB)$$

EiRP consiste en la cantidad de potencia transmitida desde la antena y se da por la siguiente fórmula:

$$EiRP(dBm) = Potencia\ de\ salida\ desde\ la\ antena(dBm) \\ + Ganancia\ de\ antena(dB)$$

Las pérdidas de espacio libre son calculadas de acuerdo a:

$$PathLoss (dB) = 32.44 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$$

$d$  = distancia en km desde la antena de la radiobase hacia el terminal móvil

$f$  = frecuencia en MHz.

**RSCP** (Recived Signal Code Power) Este parámetro determina la intensidad de señal UMTS recibida en el dispositivo móvil. Se calcula de la siguiente forma:

$$RSCP(dBm) = EiRP(dBm) - PathLoss (dB)$$

**Ec/Io** Es el parámetro de relación Potencia de la Señal Portadora, frente al Ruido causado por otras portadoras que el móvil detecta. Se utiliza para determinar la calidad del canal.

De acuerdo al Contrato de Concesión, Anexo 5.9, se establecen los siguientes valores mínimos de cumplimiento:

**Tabla 11**  
**Umbral Arcotel de parámetros de evaluación**

Parámetro	ZONA URBANA	ZONA RURAL
RxLev	$\geq -85$ dBm	$\geq -98$ dBm
RSCP	$\geq -85$ dBm	$\geq -98$ dBm
Ec/Io	$\geq -14$ dB	$\geq -17$ dB

Con el archivo Excel generado por la herramienta Tera Discovery, se procede a crear mapas temáticos en software MapInfo, la cual ayuda a representar gráficamente los parámetros a analizar.

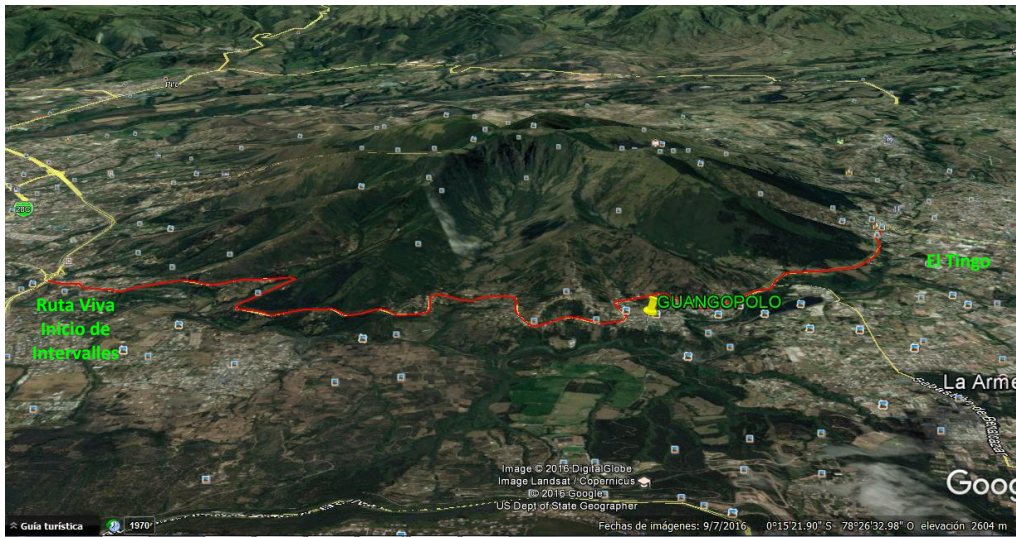
### 3.1.2 Ruta del Drive Test

El Drive Test se lo realizó con el equipo RTU, iniciando el recorrido en la intersección de la Ruta Viva con dirección hacia la Intervalles, hasta llegar al redondel de El Tingo y posteriormente dirigirse hacia la parroquia de Guangopolo, recorriendo todas sus calles.



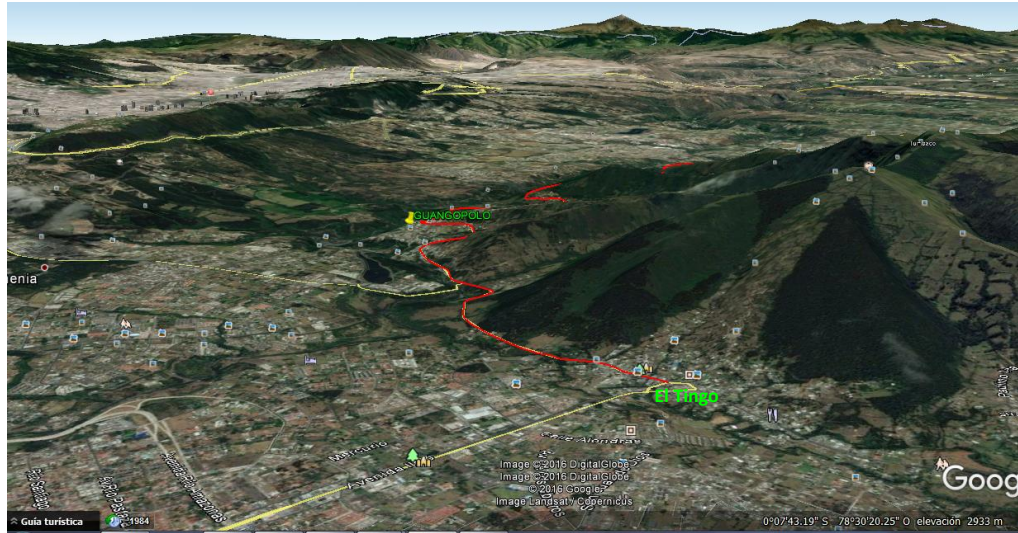


**Figura 53 Imagen satelital de la ruta del Drive Test 1**

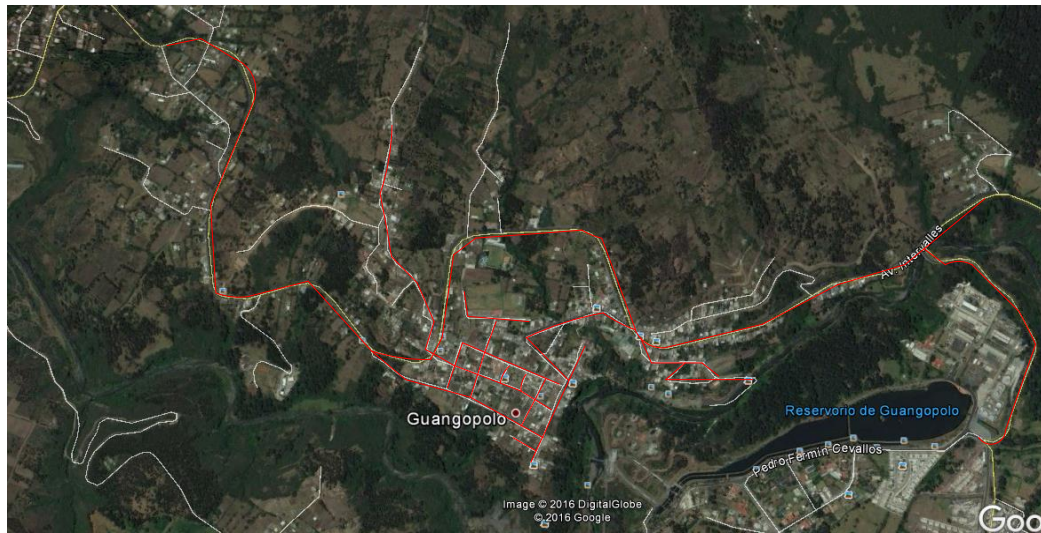


**Figura 54 Imagen satelital de la ruta del Drive Test 2**





**Figura 55 Imagen satelital de la ruta del Drive Test 3**



**Figura 56 Imagen satelital de la ruta del Drive Test 4**

En las gráficas satelitales se observa lo irregular de la topografía y terreno que presenta la vía Intervalles. Esta vía bordea el cerro Ilaló.

Pese a lo indicado en la información de la Tabla 11, se determina los siguientes rangos a usar en el análisis de información.

COBERTURA, donde se analiza el parámetro RXLev / RSCP.

**Tabla 12**  
**Rangos para análisis de muestras de Cobertura**

Colores	Rangos (dBm)
rojo	-55 to 0
rosa	-65 to -55
verde	-75 to -65
amarillo	-85 to -75
azul	-97 to -85
negro	-150 to -97

CALIDAD, donde se analiza el parámetro Ec/Io.

**Tabla 13**  
**Rangos para análisis de muestras de Calidad**

Colores	Rangos (dB)
rojo	-10 to 0
naranja	-12 to -10
verde	-14 to -12
amarillo	-17 to -14
negro	-30 to -17

## 3.2 ANÁLISIS GSM

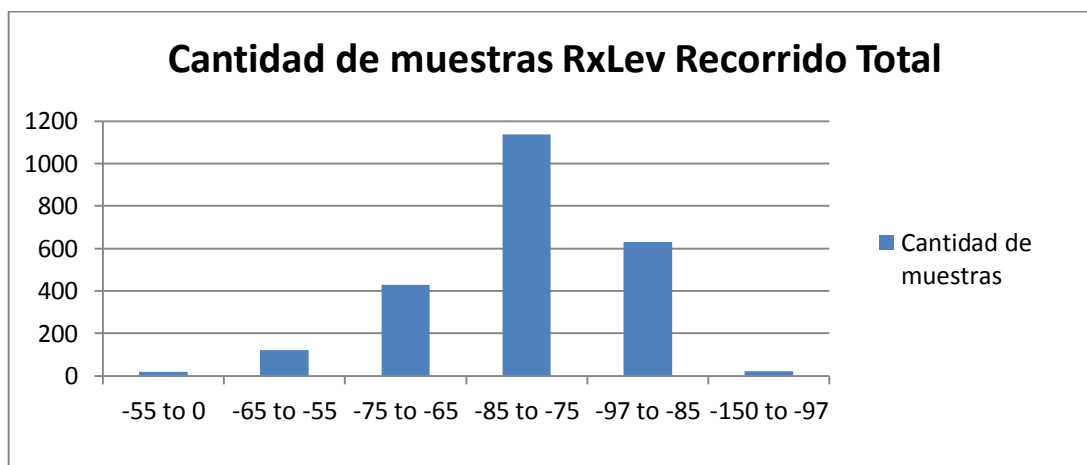
### 3.2.1 Análisis de Cobertura

Del log del recorrido se extrae la información correspondiente al parámetro RxLev.

#### Recorrido Total (Intervalles + Guangopolo)

**Tabla 14**  
**Muestras RxLev en recorrido total inicial**

Colores	Rangos (dBm)	Cantidad de muestras
rojo	-55 to 0	19
rosa	-65 to -55	121
verde	-75 to -65	428
amarillo	-85 to -75	1138
azul	-97 to -85	629
negro	-150 to -97	22



**Figura 57 Muestras RxLev en recorrido total inicial**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

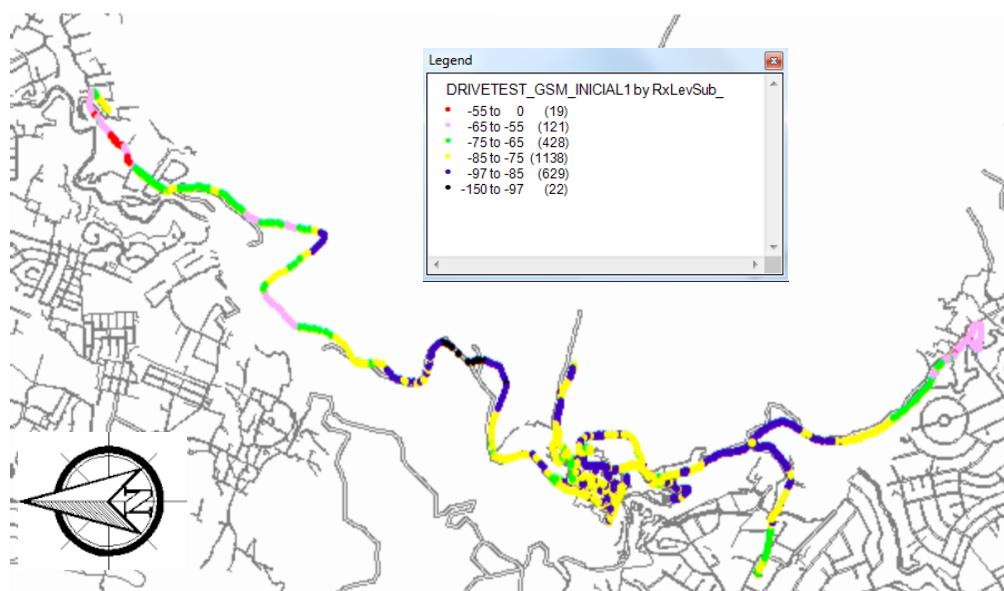
**Tabla 15**  
**Clasificación de muestras RXLev en recorrido total inicial**

RxLev Recorrido Total Inicial		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
Muestras	72.38%	99.06%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 72.38% de muestras RxLev con valores superiores a -85 dBm.

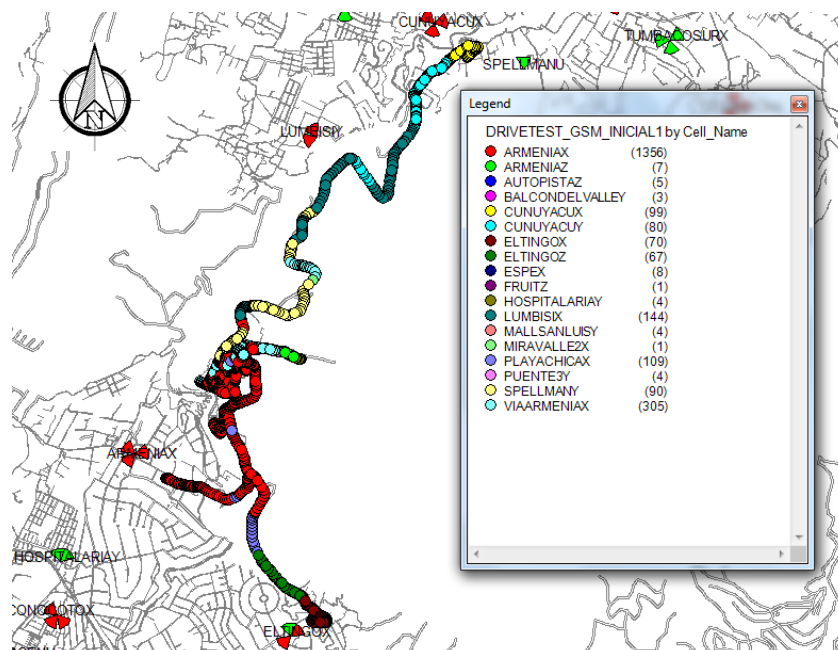
Analizando a nivel rural y carreteras, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 99.06% de muestras RxLev con valores superiores a -98 dBm.

En la Figura 58, se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro RxLev en el polígono de análisis vía Intervalles y Población de Guangopolo.



**Figura 58 Plot de muestras de RxLev en recorrido total inicial**

Con las muestras tomadas, en la Figura 59, se identificó 18 sectores servidores a lo largo de todo el recorrido con el fin de garantizar continuidad de cobertura celular.



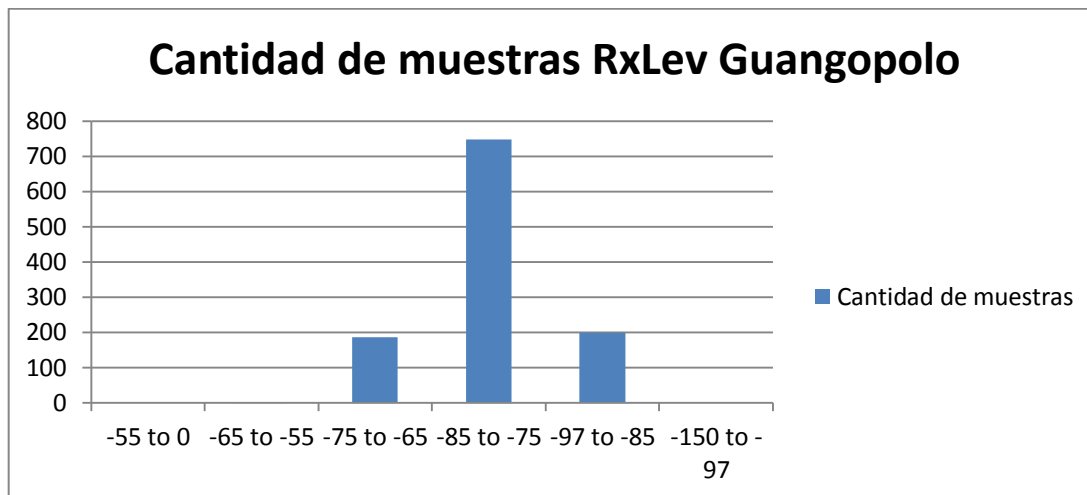
**Figura 59 Plot de radiobases servidoras GSM en recorrido total inicial**

### Recorrido en Guano

**Tabla 16**

**Muestras RxLev en recorrido Guano inicial**

Colores	Rangos (dBm)	Cantidad de muestras
rojo	-55 to 0	0
rosa	-65 to -55	1
verde	-75 to -65	187
amarillo	-85 to -75	748
azul	-97 to -85	200
negro	-150 to -97	0



**Figura 60 Muestras RxLev en recorrido Guangopolo inicial**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 17**

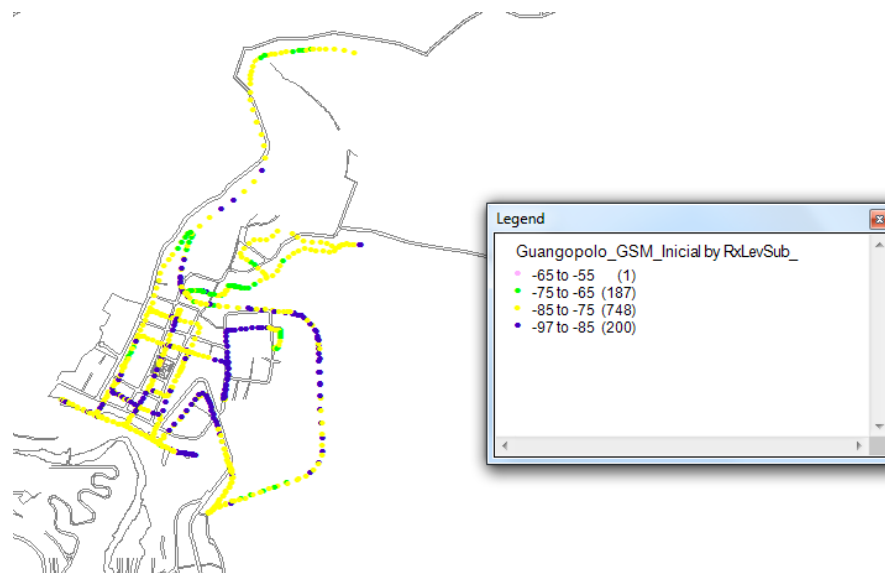
**Clasificación de muestras RXLev en recorrido Guangopolo inicial**

RxLev Recorrido Guangopolo Inicial		
Ítem	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
Muestras	82.39%	100.00%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 82.39% de muestras RxLev con valores superiores a -85 dBm.

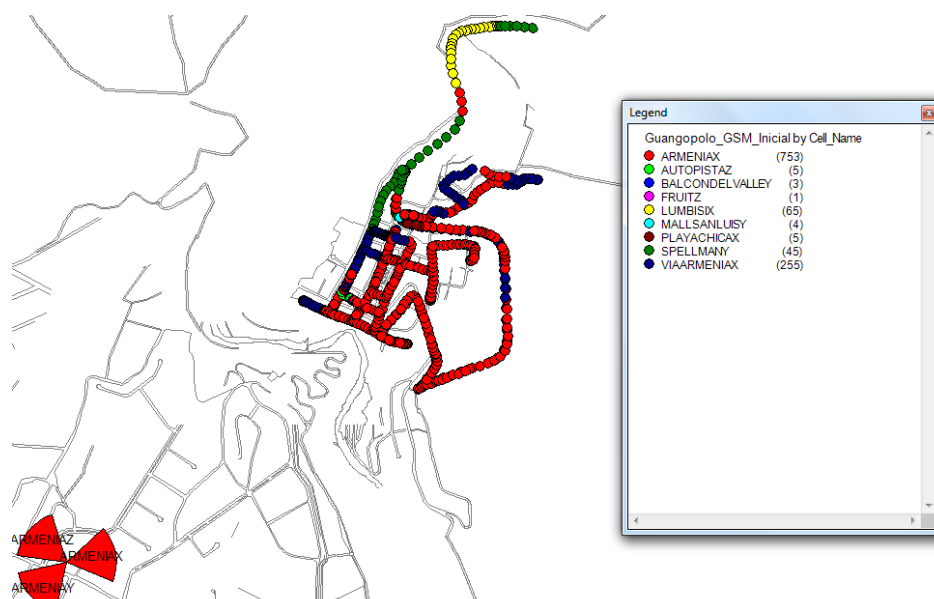
Analizando a nivel rural y carreteras, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 100% de muestras RxLev con valores superiores a -98 dBm.

En la Figura 61 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro RxLev en el polígono de análisis de la Población de Guangopolo.



**Figura 61** Plot de muestras RxLev en recorrido Guangopolo inicial

En la Figura 62 se identificó 9 sectores servidores en el polígono de análisis Guangopolo, con predominio del sector ARMENIAX, ubicado a 1.8 km del parque de Guangopolo.



**Figura 62** Plot de muestras radiobases GSM servidoras en Guangopolo inicial



### 3.3 ANÁLISIS UMTS

#### 3.3.1 Análisis de cobertura

Del log del recorrido se extrae la información correspondiente al parámetro RSCP.

#### Recorrido Total (Intervalles + Guangopolo)

Tabla 18

Muestras RSCP en recorrido total inicial

Colores	Rangos (dBm)	Cantidad de muestras
rojo	-55 to 0	0
rosa	-65 to -55	4
verde	-75 to -65	63
amarillo	-85 to -75	603
azul	-97 to -85	1320
negro	-150 to -97	375

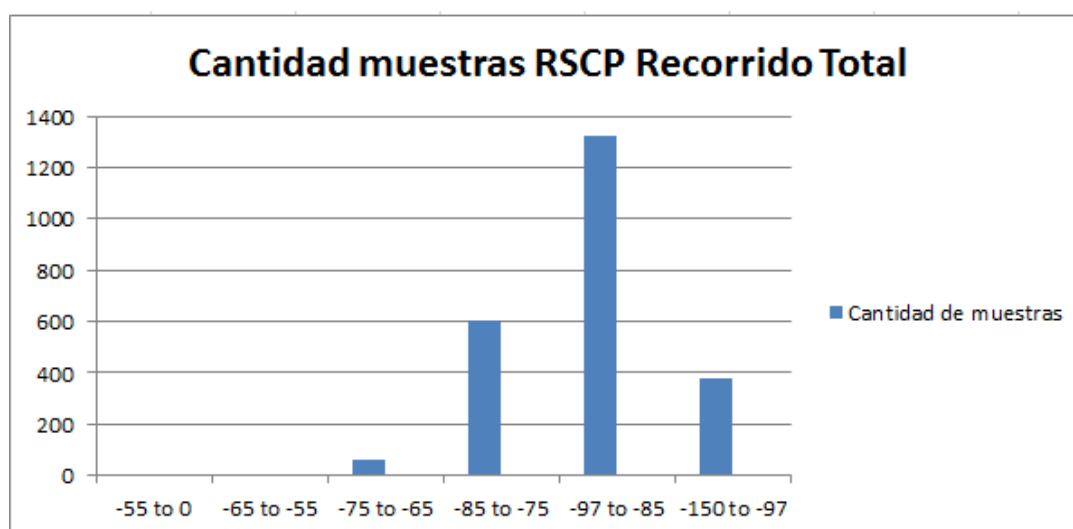


Figura 63 Muestras RSCP en recorrido total inicial



Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

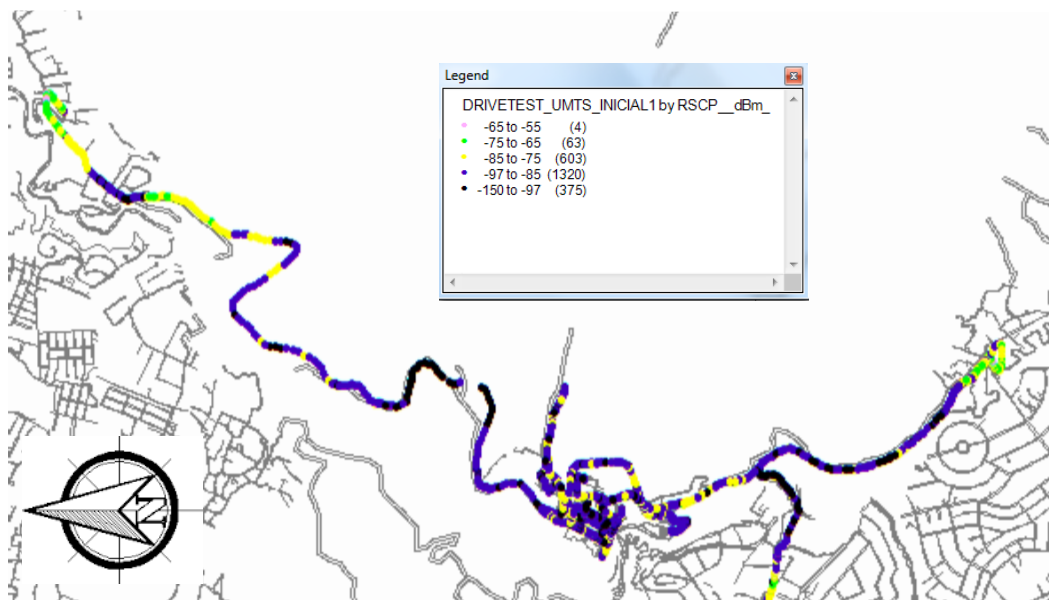
**Tabla 19**  
**Clasificación de muestras RSCP en recorrido total inicial**

<b>RSCP Recorrido Total Inicial</b>		
<b>Item</b>	<b>Urbano</b>	<b>Rural y carreteras</b>
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
Muestras	28.32%	84.13%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 28.32% de muestras RSCP con valores superiores a -85 dBm.

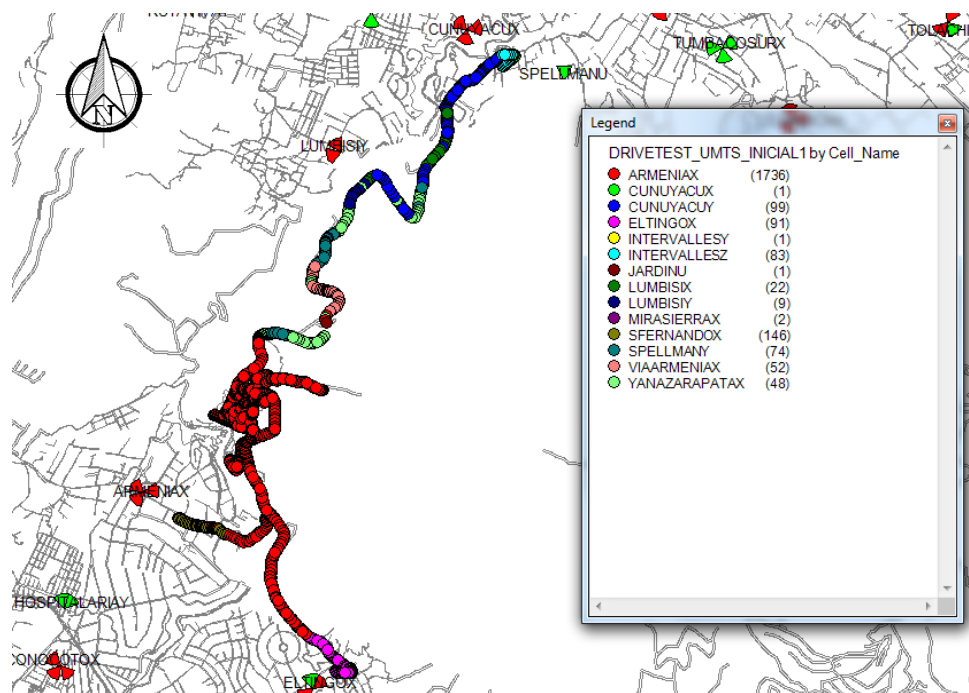
Analizando a nivel rural y carreteras, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 84.13% de muestras RSCP con valores superiores a -98 dBm.

En la Figura 64 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro RSCP en el polígono de análisis vía Intervalles y Población de Guangopolo.



**Figura 64 Plot de muestras RSCP en recorrido total inicial**

Con las muestras tomadas, se identificó 14 sectores servidores a lo largo de todo el recorrido como se puede observar en la Figura 65.



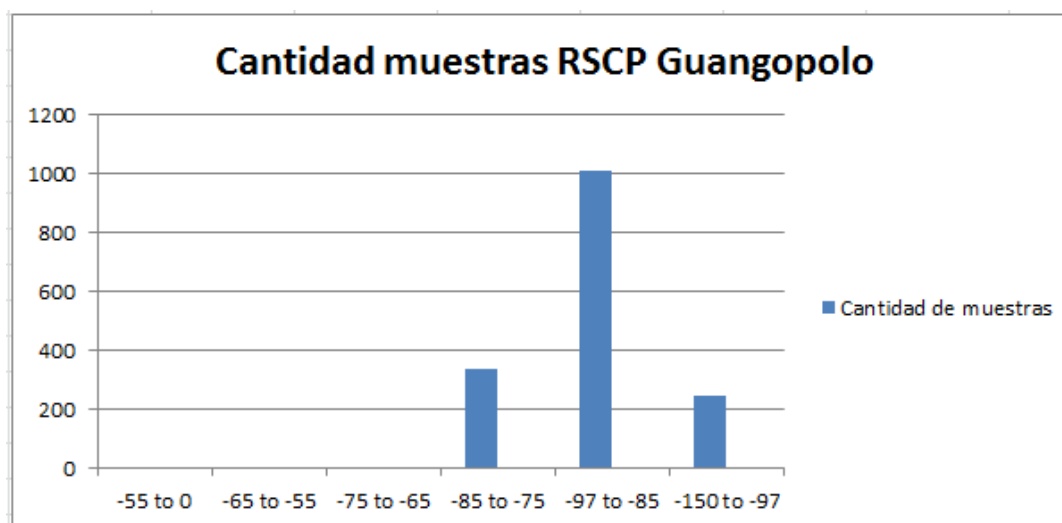
**Figura 65 Plot de muestras NodosB servidores en recorrido total inicial**

Se evidencia polución de servidores en la ruta, debido a las condiciones geográficas y topográficas de la zona, sumando a que no se tiene un servidor definido o un sector que apunte directamente a esta vía.

### Recorrido en Guangopolo

**Tabla 20**  
**Muestras RSCP en recorrido Guangopolo inicial**

Colores	Rangos (dBm)	Cantidad de muestras
rojo	-55 to 0	0
rosa	-65 to -55	0
verde	-75 to -65	0
amarillo	-85 to -75	336
azul	-97 to -85	1010
negro	-150 to -97	248



**Figura 66 Muestras RSCP en recorrido Guangopolo inicial**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

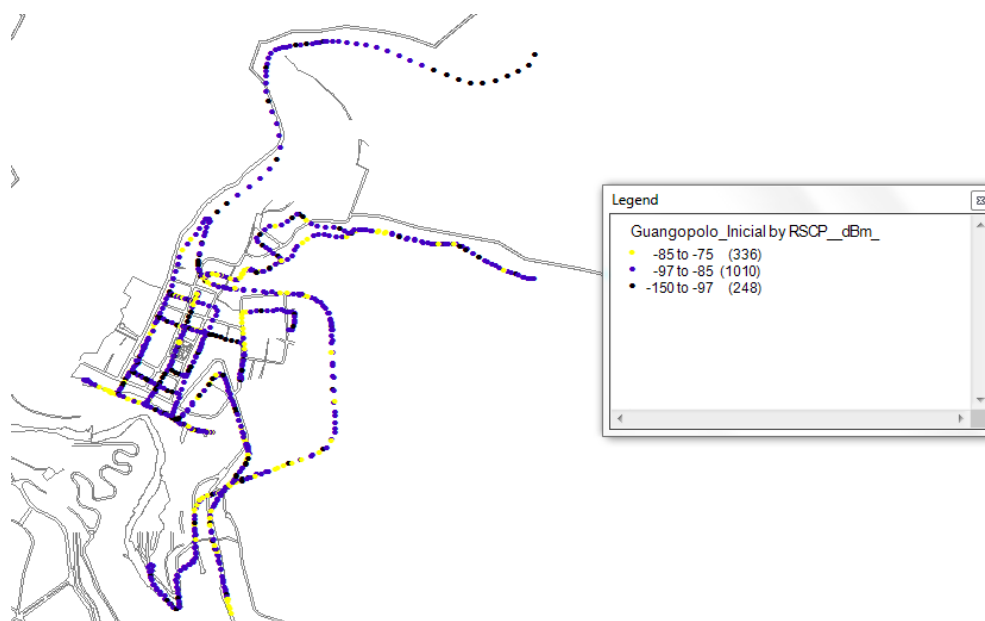
**Tabla 21**  
**Clasificación de muestras RSCP en recorrido Guangopolo inicial**

RSCP Recorrido Guangopolo Inicial		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
Muestras	21.07%	84.44%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 21.07% de muestras RSCP con valores superiores a -85 dBm.

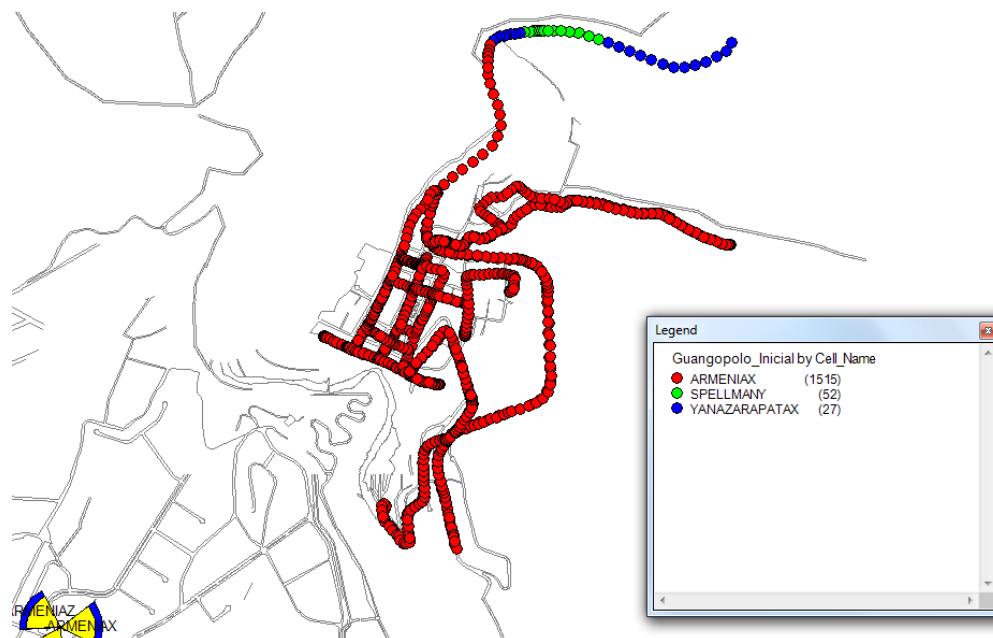
Analizando a nivel rural y carreteras, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 84.44% de muestras RSCP con valores superiores a -98 dBm.

En la Figura 67 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro RSCP en el polígono de análisis de la Población de Guangopolo.



**Figura 67 Plot de muestras RSCP en recorrido Guangopolo inicial**

Se identificó 3 sectores servidores en el polígono de análisis Guangopolo, mostrados en la Figura 68, con predominio del sector ARMENIAX, ubicado a 1.8 km del parque de Guangopolo



**Figura 68 Plot de muestras NodosB servidores en recorrido Guangopolo inicial**

### 3.3.2 Análisis de calidad

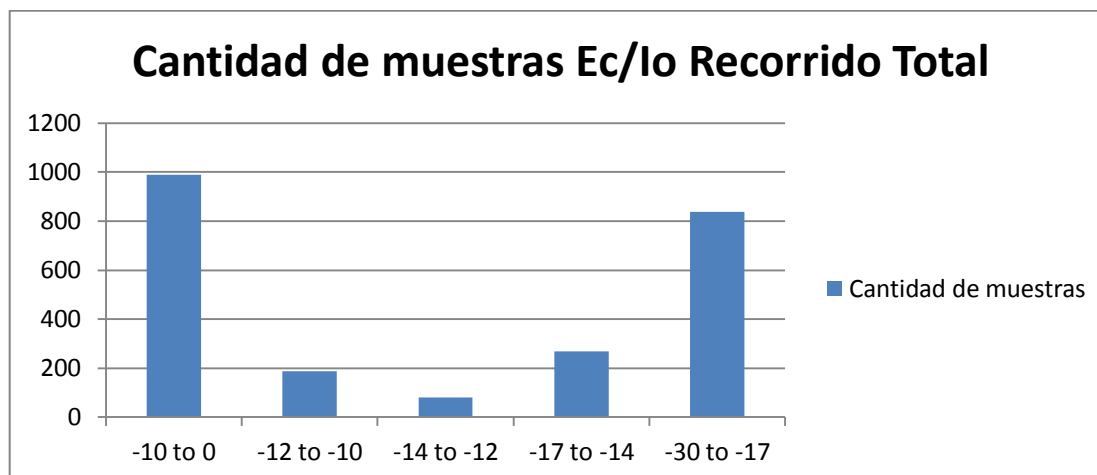
Del log del recorrido se extrae la información correspondiente al parámetro Ec/Io.

#### Recorrido Total (Intervalles + Guangopolo)

**Tabla 22**

#### Muestras Ec/Io en recorrido total inicial

Colores	Rangos (dB)	Cantidad de muestras
rojo	-10 to 0	989
naranja	-12 to -10	188
verde	-14 to -12	80
amarillo	-17 to -14	270
negro	-30 to -17	838



**Figura 69 Muestras Ec/lo en recorrido total inicial**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

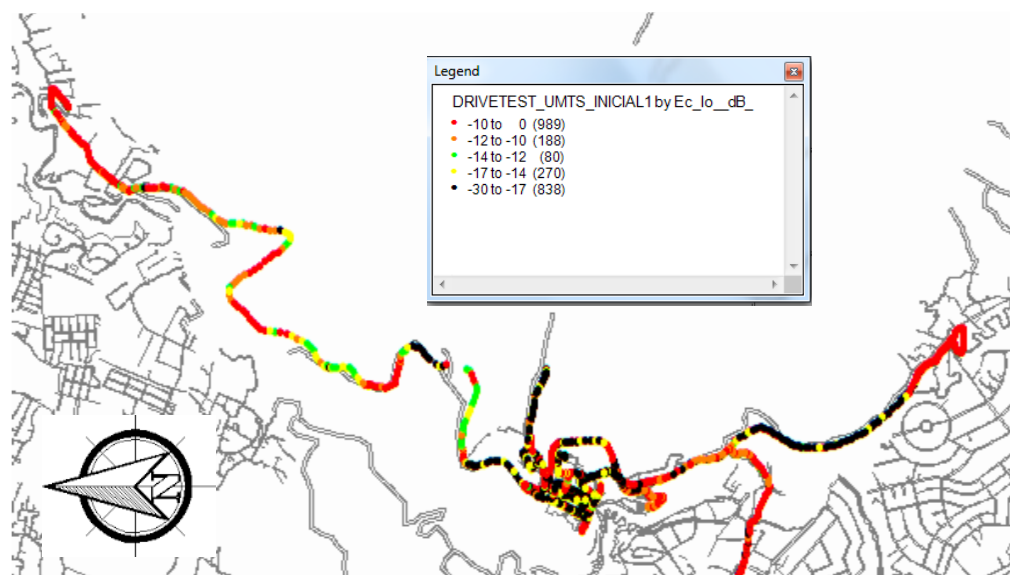
**Tabla 23**  
**Clasificación de muestras Ec/lo en recorrido total inicial**

Ec/lo Recorrido Total Inicial		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -14 dB	90% muestras $\geq$ -17 dB
Muestras	53.15%	64.56%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 53.15% de muestras Ec/lo con valores superiores a -14 dB.

Analizando a nivel rural y carreteras, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 64.56% de muestras Ec/lo con valores superiores a -17 dB.

En la Figura 70 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro Ec/lo en el polígono de análisis vía Intervalles y Población de Guangopolo.



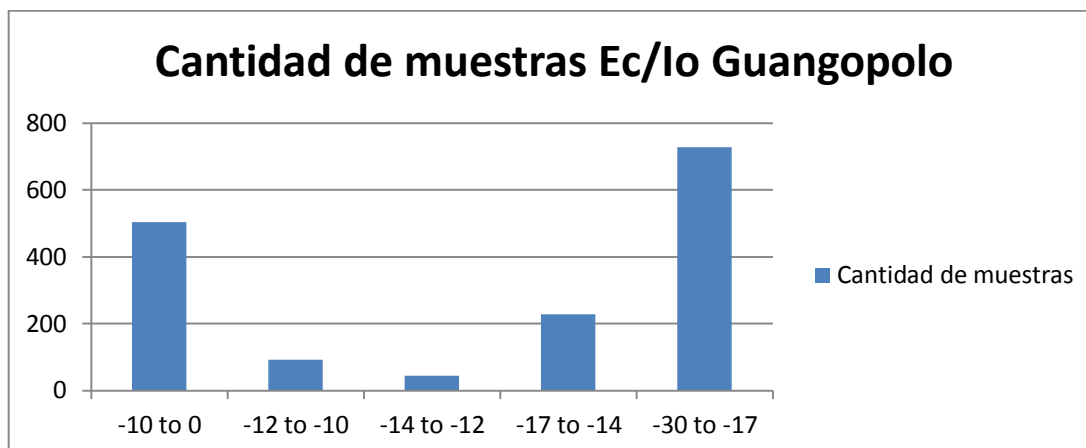
**Figura 70 Plot de Muestras Ec/lo en recorrido total inicial**

La existencia de varias celdas servidoras a lo largo de la ruta, que sumados a la baja potencia con que llega el canal CPICH, se refleja en bajos valores de calidad Ec/lo.

### Recorrido en Guangopolo

**Tabla 24**  
**Muestras Ec/lo en recorrido Guangopolo inicial**

Colores	Rangos (dB)	Cantidad de muestras
rojo	-10 to 0	503
naranja	-12 to -10	92
verde	-14 to -12	44
amarillo	-17 to -14	228
negro	-30 to -17	727



**Figura 71 Muestras Ec/lo en recorrido Guangopolo inicial**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 25**  
**Clasificación de muestras Ec/lo en recorrido Guangopolo inicial**

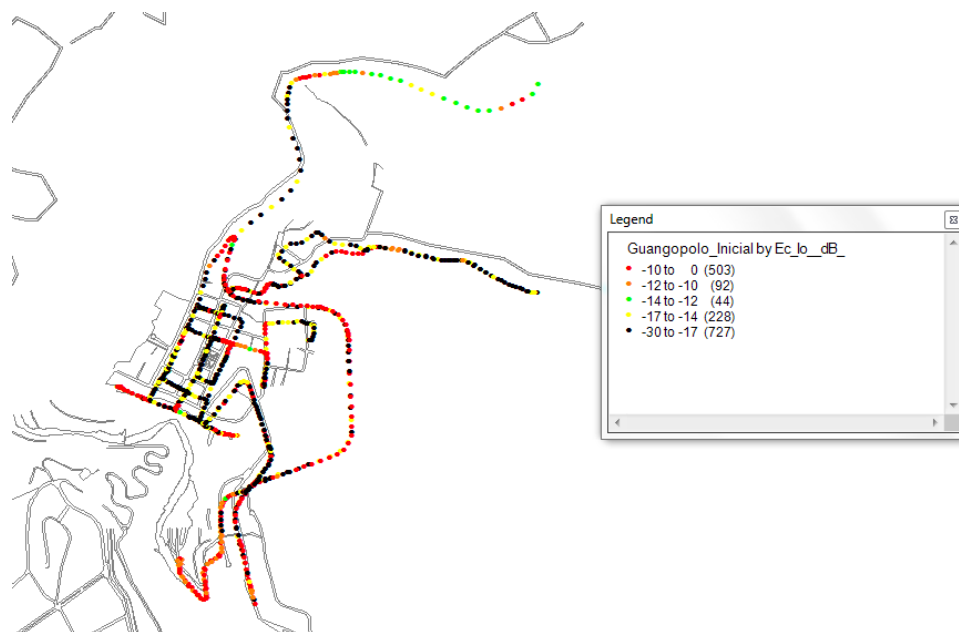
Ec/lo Recorrido Guangopolo Inicial		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -14 dB	90% muestras $\geq$ -17 dB
Muestras	40.08%	54.39%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 40.08% de muestras Ec/lo con valores superiores a -14 dB.

Analizando a nivel rural y carreteras, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 54.39% de muestras Ec/lo con valores superiores a -17 dB.

En la Figura 72, se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro Ec/lo en el polígono de análisis de la Población de Guangopolo.





**Figura 72 Plot de muestras Ec/Io en recorrido Guangopolo inicial**

Si bien es cierto, que solo se tiene tres celdas servidoras reportadas por el terminal móvil durante la ejecución del Drive Test en el polígono de análisis Guangopolo, la baja potencia con que llega el canal CPICH se refleja en bajos valores de calidad Ec/Io.

### 3.4 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE BAJA COBERTURA

En el presente trabajo para identificar zonas de baja cobertura, se ha analizado las muestras del parámetro RxLev & RSCP que tengan valores inferiores a -85 dBm y presenten continuidad superior a los 200 m en el recorrido.

En zona poblada la velocidad máxima de recorrido es de 20 km/h, que a una frecuencia de muestro de GPS de 2 segundos, los datos son tomados cada 10 m.

En carretera la velocidad máxima de recorrido es de 60 km/h, que a una frecuencia de muestro de GPS de 2 segundos, los datos son tomados cada 30 m.

### 3.4.1 Análisis GSM

En el recorrido realizado se determinó tres zonas que cumplen las condiciones establecidas para identificar zonas de baja cobertura, reflejadas en la Figura 73.

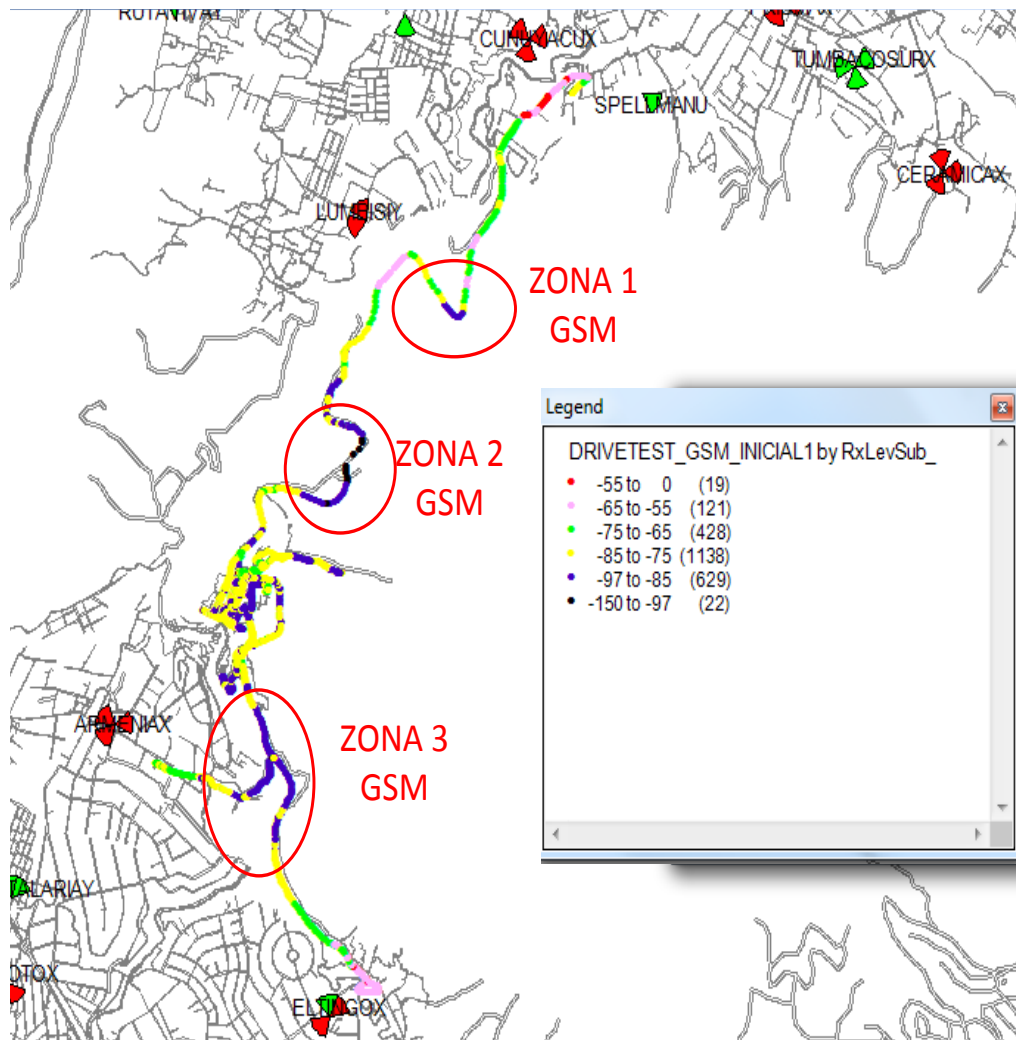
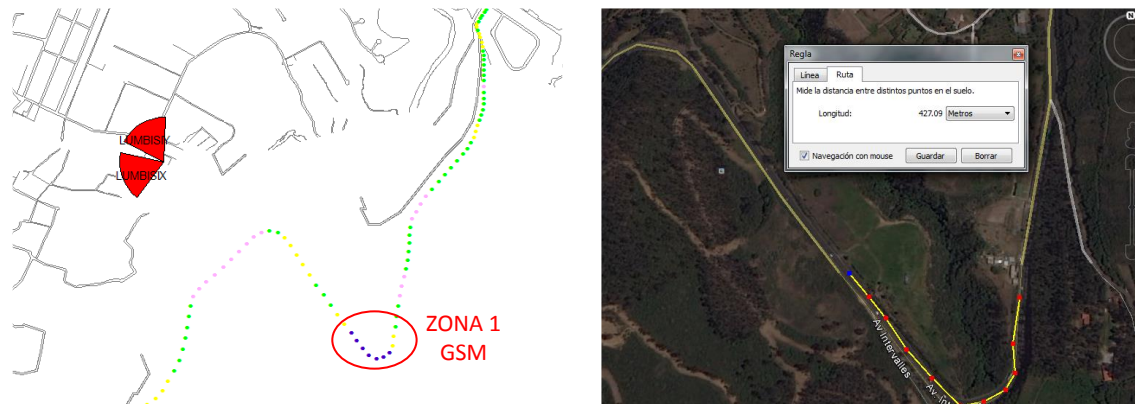


Figura 73 Zonas baja cobertura GSM Inicial

### Zona 1 GSM



**Figura 74 Zona 1 de baja cobertura GSM**

**Tabla 26**

**Características Zona 1 de baja cobertura GSM**

ZONA 1 GSM	
Ubicación	Vía Intervalles, Kilómetro 2.1 tomado desde la ruta viva en dirección hacia Guangopolo.
Distancia de Zona	427 m
Promedio RxLev	-88.5 dBm
Celda Servidora	LUMBISÍX
Distancia hacia la Celda Servidora	1,089 m
Obstrucciones Topográficas	Cerro ILALÓ

Trazando una línea directa desde la radiobase LUMBISÍ hacia la Zona 1 GSM, se aprecia que a los 570 m se tiene la obstrucción topográfica del Cerro Ilaló, mostrado en la Figura 75, que impide el paso directo de las ondas electromagnéticas, causando degradación en el parámetro RxLev.

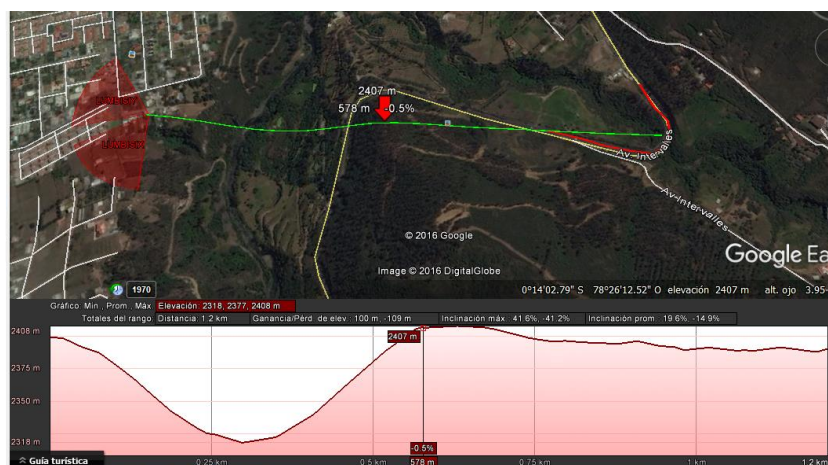


Figura 75 Perfil de relieve Zona 1 de baja cobertura GSM

### ZONA 2 GSM

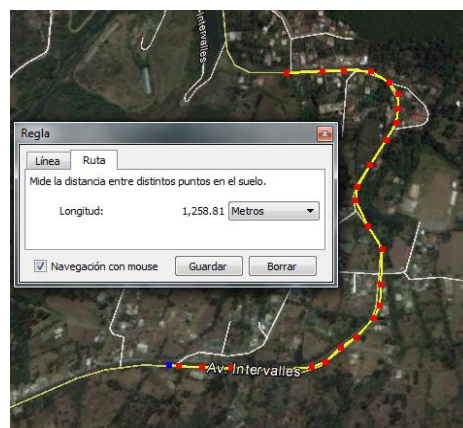
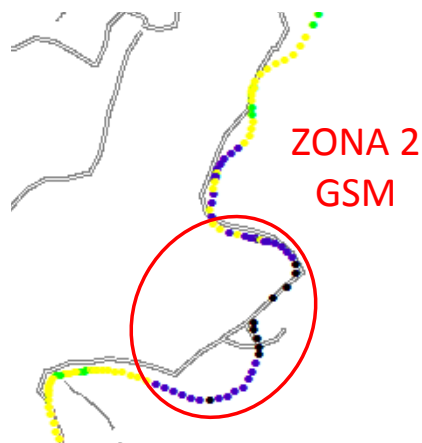


Figura 76 Zona 2 de baja cobertura GSM

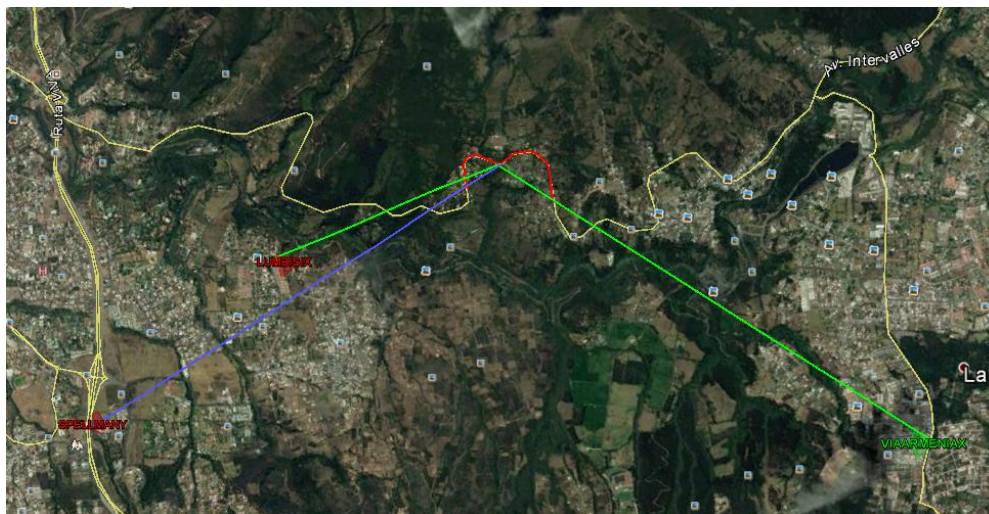
Tabla 27

Características Zona 2 de baja cobertura GSM

ZONA 2 GSM	
Ubicación	Vía Intervalles, Kilómetro 4.7 tomados desde la ruta viva en dirección hacia Guangopolo.
Distancia de Zona	1,258 m
Promedio RxLev	-90 dBm
Celda Servidora	LUMBISÍX, SPELLMANY, VIAARMENIAX,
Distancia hacia la Celda Servidora	1,646 / 3,663 / 4,093 m
Obstrucciones Topográficas	Cerro ILALÓ



La Zona 2 GSM no tiene un servidor definido y se encuentra confinada por el cerro Ilaló. Por su ubicación geográfica, no tiene línea de vista directa con la radiobase GSM más cercana que es LUMBISÍ, razón por la cual el dispositivo móvil decodifica información de radiobases lejanas.



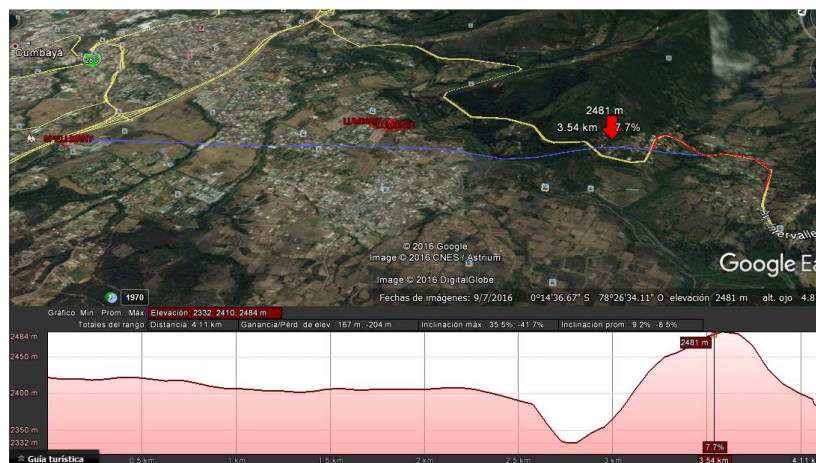
**Figura 77 Radiobases cercanas a Zona 2 de baja cobertura GSM**

Trazando una línea directa desde la radiobase LUMBISÍ hacia la Zona 2 GSM, se aprecia que a los 1.5 km se tiene la obstrucción topográfica del Cerro Ilaló, mostrado en la Figura 78, impidiendo el paso directo de las ondas electromagnéticas y causando degradación en el parámetro RxLev.



**Figura 78 Perfil de relieve desde LUMBISÍ hacia Zona 2 de baja cobertura GSM**

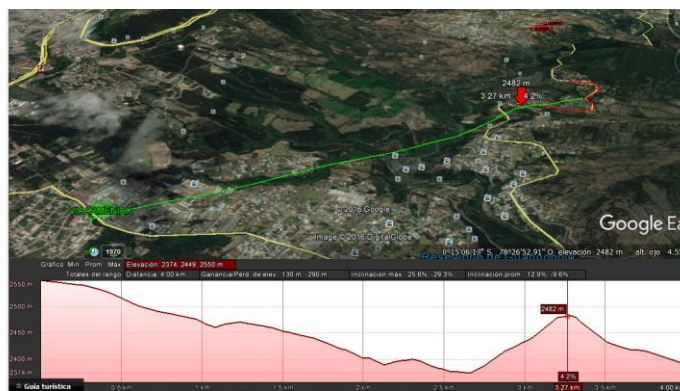
La segunda radiobase cercana es SPELLMAN, sin embargo, a 3.5 km de esta se encuentra el cerro Ilaló, impidiendo el paso de la señal celular, como se observa en la Figura 79.



**Figura 79 Perfil de relieve desde SPELLMAN hacia Zona 2 de baja cobertura GSM**

La tercera radiobase servidora en esta zona es VIAARMENIA, la que se ubica a 163 m sobre el nivel de referencia de la Zona 2 GSM, una ladera del cerro Ilaló ubicado a 3.2 km provoca el efecto de sombra de cobertura hacia la zona analizada como se observa en la Figura 80.

Por la distancia de la radiobase hacia la zona de interés no se consiguen buenos niveles de señal GSM.



**Figura 80 Perfil de relieve desde VIAARMENIA hacia Zona 2 de baja cobertura GSM**

### ZONA 3 GSM

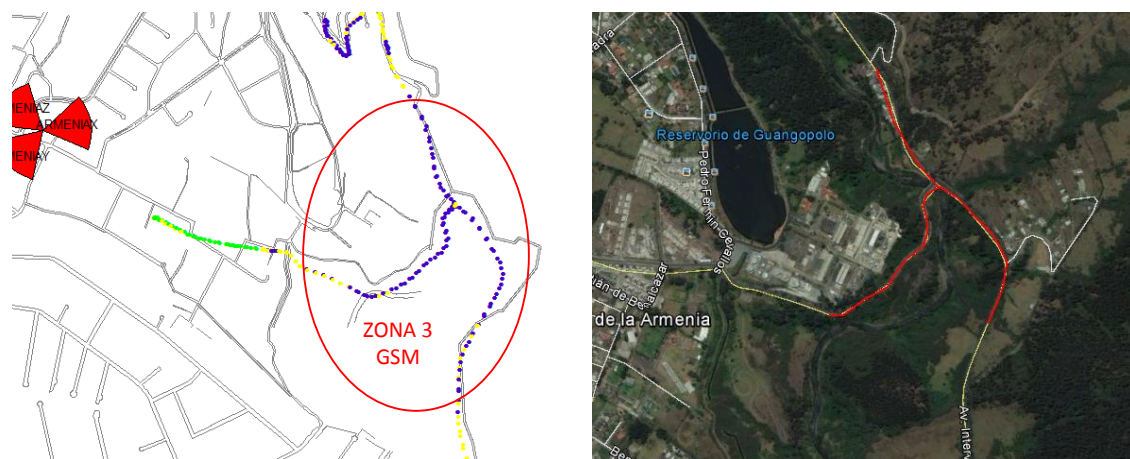


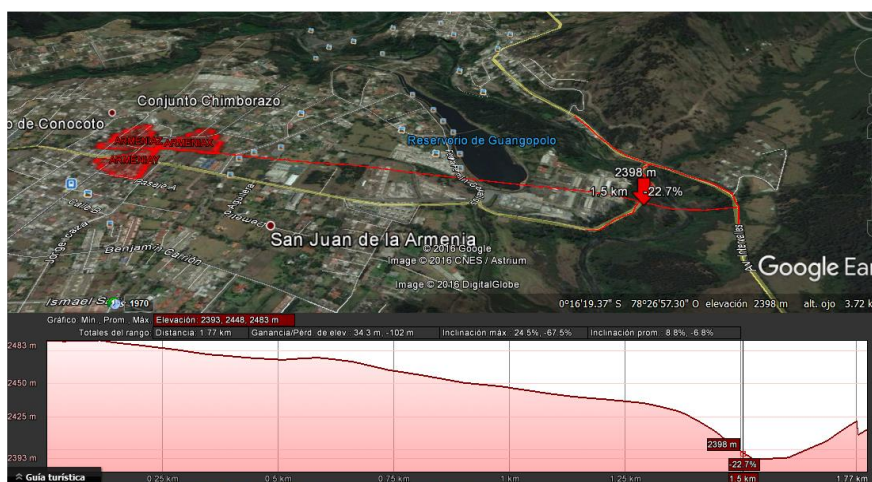
Figura 81 Zona 3 de baja cobertura GSM

Tabla 28  
Características Zona 3 de baja cobertura GSM

ZONA 3 GSM	
Ubicación	Vía Intervalles, Y entre Guangopolo, La ARMENIA y El Tingo.
Distancia de Zona	1,339 m
Promedio RxLev	-89.7 dBm
Celda Servidora	ARMENIAX
Distancia hacia la Celda Servidora	1,400 m
Obstrucciones Topográficas	Topografía de la Zona

La Zona 3 GSM tiene por radiobase servidora a la celda ARMENIAX, la degradación del parámetro RxLev se debe a que esta zona se encuentra a 67 m por debajo del nivel de referencia de la radiobase ARMENIA como se puede observar en la Figura 82.

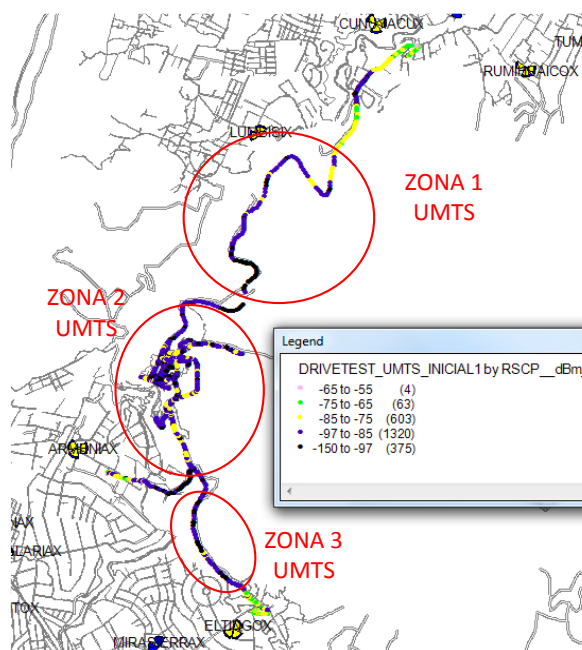




**Figura 82 Perfil de relieve desde ARMENIA hacia Zona 3 de baja cobertura GSM**

### 3.4.2 Análisis UMTS

En el recorrido realizado se determinó tres zonas que cumplen con las condiciones establecidas para identificar zonas de baja cobertura reflejadas en la Figura 83.



**Figura 83 Zonas de baja cobertura UMTS**



Se evidencia un problema de cobertura celular UMTS a lo largo de la ruta Intervalles y la población de Guangopolo. No se tienen sectores que apunten directamente a esta zona y tampoco una radiobase dedicada a dicha población.

### ZONA 1 UMTS

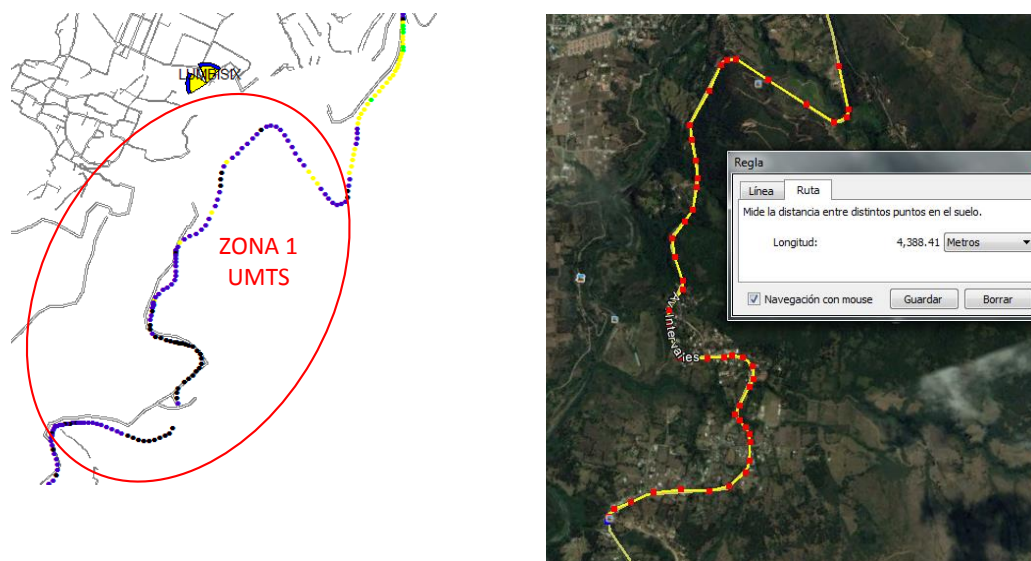


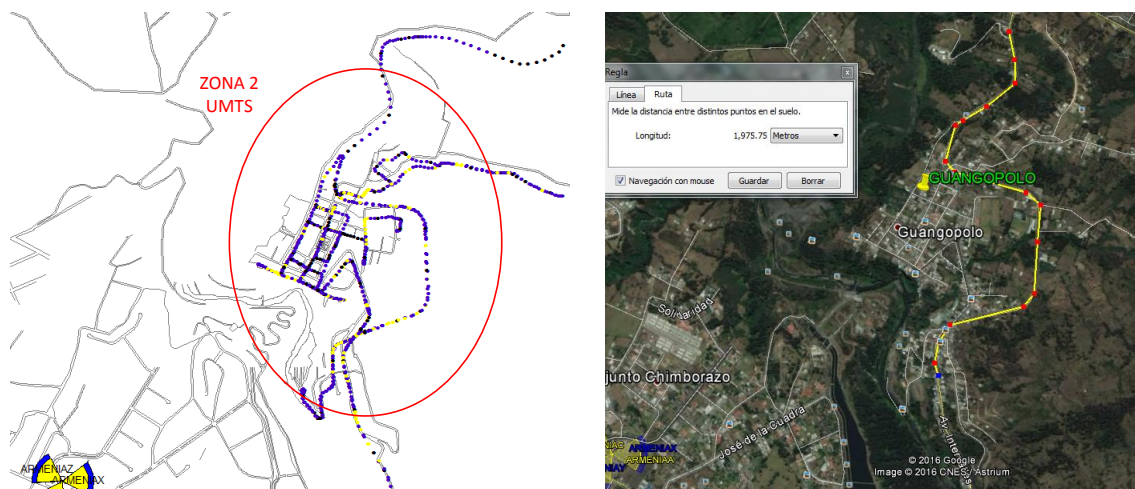
Figura 84 Zona 1 de baja cobertura UMTS

Tabla 29  
Características Zona 1 de baja cobertura UMTS

ZONA 1 UMTS	
Ubicación	Vía Intervalles, Kilómetro 2.1 tomados desde la ruta viva en dirección hacia Guangopolo.
Distancia de Zona	4,388 m
Promedio RSCP	-95.5 dBm
Celda Servidora	CUNUYACUY, LUMBISIX, SPELLMANY, YANAZARAPATAX, LUMBISIY, VIAARMENIAX, ARMENIAX
Obstrucciones Topográficas	Topografía de la Zona

La Zona 1 UMTS no posee un servidor definido ni sectores celulares que apunten directamente a esta zona.

## ZONA 2 UMTS



**Figura 85 Zona 2 de baja cobertura UMTS**

**Tabla 30**  
**Características Zona 2 de baja cobertura UMTS**

ZONA 2 UMTS	
Ubicación	Vía Intervalles, ingreso a Guangopolo + Guangopolo.
Distancia de Zona	1,975 m + Población
Promedio RSCP	-91.1 dBm
Celda Servidora	ARMENIAX, ELTINGOX
Obstrucciones Topográficas	Topografía de la Zona

La Zona 2 UMTS comprende netamente la población de Guangopolo, el servicio es brindado por los sectores ARMENAX & ELTINGOX, sin embargo, los niveles de potencia de señal señal son bajos.

A nivel de RSCP solo el 21.1% de las muestras superan el umbral de -85 dBm.

La población de Guangopolo se encuentra 25 m por debajo del nivel de referencia de la radiobase ARMENIA, evidenciado en la Figura 86, por esta razón la señal que se emite desde esta radiobase experimenta el efecto de sombra de cobertura.

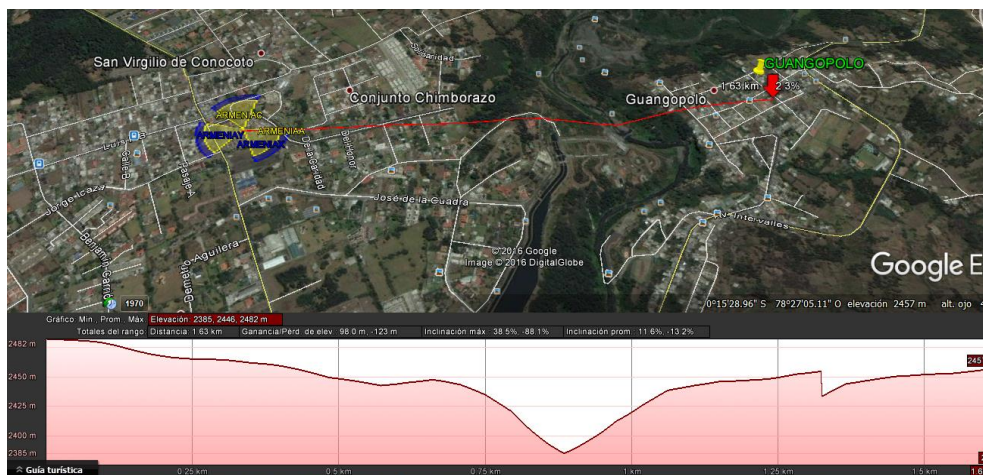


Figura 86 Perfil de relieve desde ARMENIA hacia Zona 2 de baja cobertura UMTS

### ZONA 3 UMTS

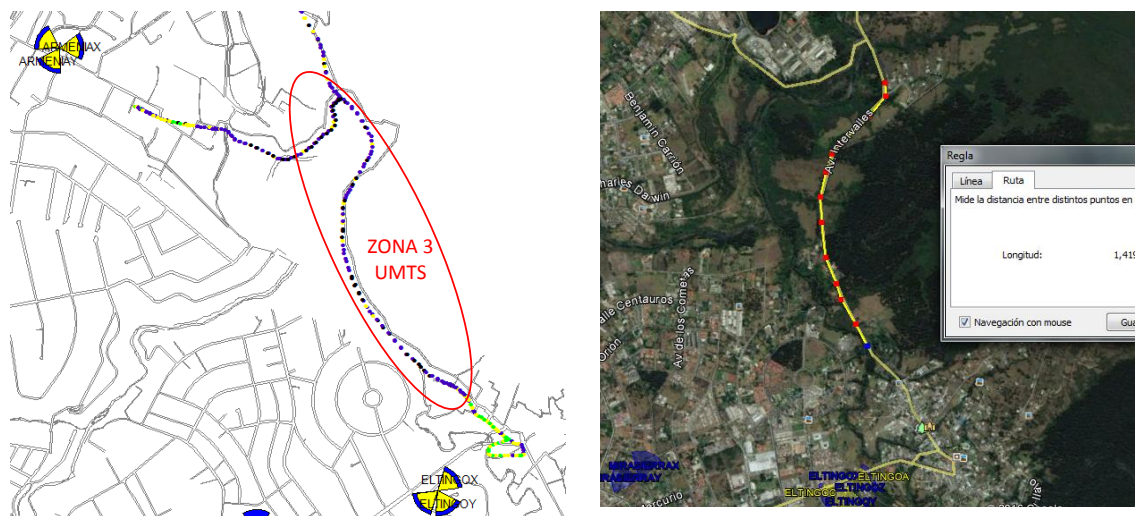


Figura 87 Zona 2 de baja cobertura UMTS

**Tabla 31**  
**Características Zona 3 de baja cobertura UMTS**

ZONA 3 UMTS	
Ubicación	Vía Intervalles, Reservorio Guangopolo - El Tingo.
Distancia de Zona	1,419 m
Promedio RSCP	-94.4 dBm
Celda Servidora	ARMENIAX, ELTINGOX
Obstrucciones Topográficas	Topografía de la Zona

La Zona 3 UMTS se encuentra a lo largo de una curva, razón por la cual es técnicamente correcto que tenga dos celdas servidoras. Sin embargo, no tiene un sector apuntando directamente a esta zona.

Realizando un análisis de la topografía de la zona, se determina obstrucciones de relieve hacia la radiobase ARMENIA mostradas en la Figura 88.



**Figura 88 Perfil de relieve desde ARMENIA hacia Zona 3 de baja cobertura UMTS**

Desde la radiobase ELTINGO no se tiene un sector dedicado a esta zona y favorablemente no se tiene obstrucciones de relieve.



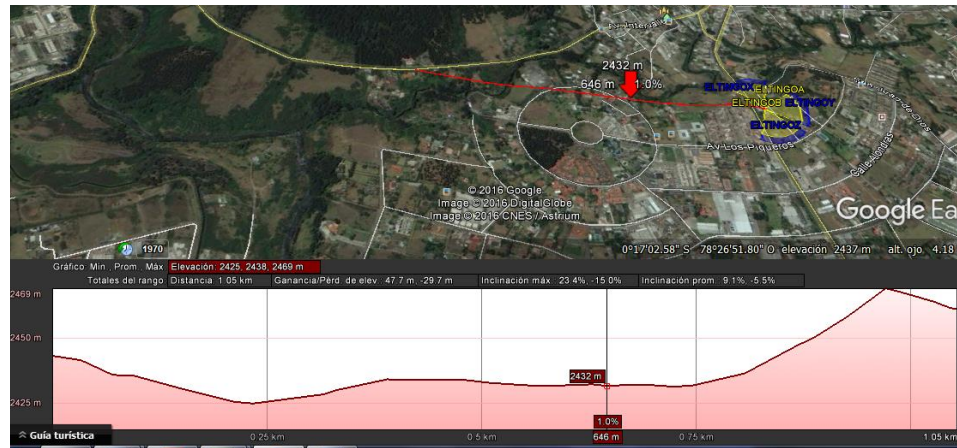


Figura 89 Perfil de relieve desde ELTINGO hacia Zona 3 de baja cobertura UMTS

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DE PROPUESTAS TÉCNICAS PARA MEJORA DE COBERTURA CELULAR

Con los datos presentados en el Capítulo III del presente documento, se evidencia falencias de cobertura celular a nivel GSM y especialmente en UMTS dentro del polígono de análisis vía Intervalles y Población de Guangopolo.

Las zonas con problemas de cobertura se las ha resumido con la información presentada en la Tabla 32.

**Tabla 32**

#### **Resumen Zonas con problemas de cobertura**

Ubicación	Problemas GSM	Problemas UMTS
Ruta Nororiental Vía Intervalles con dirección hacia Guangopolo	Zona 1 GSM	Zona 1 UMTS
	Zona 2 GSM	
Población Guangopolo	-	Zona 2 UMTS
Ruta Suroriental Vía Intervalles con dirección a El Tingo	Zona 3 GSM	Zona 3 UMTS

Dentro del proceso de optimización RF es importante analizar la relación cobertura celular vs calidad de la señal, y sus posibles escenarios representados en la Figura 90.



**Figura 90 Calidad vs Cobertura**

Tabulando los datos recolectados en el primer análisis, se presenta a continuación los porcentajes de cumplimiento de los parámetros RxLev, RSCP y Ec/Io bajo umbrales recomendados por Arcotel.

**Tabla 33**  
**Porcentajes de cumplimiento inicial sobre parámetros evaluados**

Análisis	Porcentaje Cumplimiento Cobertura GSM		Porcentaje Cumplimiento Cobertura UMTS		Porcentaje Cumplimiento Calidad UMTS	
	URBANO	RURAL Y CARRETERA	URBANO	RURAL Y CARRETERA	URBANO	RURAL Y CARRETERA
Ruta Total	72.38%	99.06%	28.30%	84.13%	53.15%	64.56%
Guangopolo	82.39%	100.00%	21.07%	84.44%	40.08%	54.39%

En la población de Guangopolo se evidencia problemas de bajos niveles de cobertura y calidad. Al no contar con un servidor dedicado, surge la necesidad de implementar un nuevo sitio cercano a la población.

En la ruta Intervalles, se observa problemas de cobertura, pero con un mejor grado de calidad comparando con la población de Guangopolo. Su longitud es

de 11.5 km y debido a su forma no es posible atender las necesidades de cobertura con un único servidor celular, razón por la cual se debe realizar un estudio sobre las zonas identificadas con baja cobertura celular.

A continuación se presentan dos propuestas técnicas para solventar el problema de falta de cobertura celular en las zonas identificadas las cuales consisten en:

- Propuesta de diseño de una nueva radiobase celular en la población de Guangopolo.
- Propuesta de implementación de nuevos sectores celulares sobre infraestructura existente para mejora de cobertura en vía Intervalles.

#### **4.1 DISEÑO DE UNA NUEVA RADIOBASE CELULAR**

El objetivo de esta propuesta es mejorar los niveles de señal y calidad GSM/UMTS en la Parroquia de Guangopolo, identificada como Zona 2 UMTS. El diseño de una nueva Radiobase celular viene determinado por las siguientes etapas analizadas a continuación:

##### **4.1.1 Zona de búsqueda y validación de la ubicación para la nueva Radiobase**

La zona de búsqueda consiste en presentar sitios candidatos donde se pueda colocar la nueva infraestructura celular, la cual al ser puesta en servicio cumpla con el objetivo planteado.





**Figura 91 Zona de búsqueda para nueva radiobase**

Para que el usuario pueda disponer de mejores muestras de cobertura y calidad, es necesario que su ubicación sea cercana a las antenas celulares, de esta forma la zona de búsqueda en este diseño debe ser en la población de Guangopolo como se lo muestra en la Figura 91.

Es este proceso es muy común que exista oposición de moradores del sector para la implantación de nueva infraestructura, lo cual puede retrasar la ejecución del proyecto.

Con la información presentada en el Capítulo III, se ratificó la existencia de infraestructura celular en la parroquia de Guangopolo perteneciente a TMS.

Frente a la posición negativa de la población en permitir la implantación de infraestructura adicional en un sitio diferente al existente, se ha considerado la compartición de infraestructura con TMS.

Para la implementación de este proyecto la operadora TMS construyó un nuevo Monopolo en el cual se reubicaron todas las antenas instaladas de la torre presentada en la Figura 92.



**Figura 92 Radiobase TMS corte Julio 2016**

La infraestructura proyectada es un Monopolo de 36 m y se ha asignado el espacio para la ubicación de antenas de Claro a los 28 m y a que a los 36 m se ubicaron las antenas de la operadora propietaria.



**Figura 93 Monopolo construido disponible para instalación**

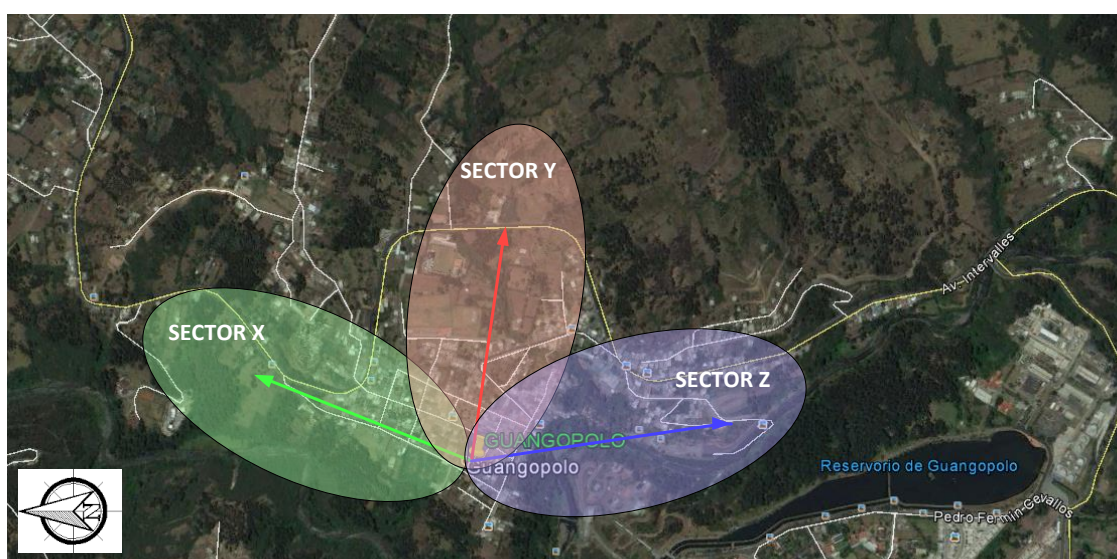
#### 4.1.2 Diseño de propagación de cobertura celular

Por la ubicación del sitio, para cubrir la zona de interés que es la población de Guangopolo, se requiere de tres sectores con antenas de 65°.

Objetivo Sector X: Vía de acceso Norte.

Objetivo Sector Y: Población central.

Objetivo sector Z: Vía de acceso Sur.



**Figura 94** Objetivo de sectores en nueva radiobase

**Tabla 34**  
Configuración propuesta de antenas en radiobase Guangopolo

SECTOR	MODELO ANTENA	ALTUR A	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
GUANGOPOLO X	DBXLH-6565C-VTM	28	30	4	4
GUANGOPOLO Y	DBXLH-6565C-VTM	28	100	2	2
GUANGOPOLO Z	DBXLH-6565C-VTM	28	170	2	2

Para realizar las predicciones de cobertura mediante la herramienta Asset, se requiere el ingreso de los siguientes parámetros:

- Coordenadas: de acuerdo a la ubicación de la estructura, para este caso las correspondientes a la torre de TMS.
- Altura de Antena: de acuerdo a la altura máxima autorizada, que es 28 m.
- Cantidad de sectores: de acuerdo a la ubicación, para cubrir efectivamente la zona objetivo se requiere de tres sectores.
- Tipo de Antena: para tener buena propagación horizontal se propone colocar antenas de 65° de apertura horizontal.
- Frecuencia de operación: para mejor propagación se diseña con 850 MHz, además esta banda es apta para las tecnologías GSM/UMTS.
- Potencia de transmisión de la radiobase: determinada por el equipamiento, en este caso se realizara la predicción usando la RRU 3942 que tiene 49.03 dBm como máxima potencia de salida.

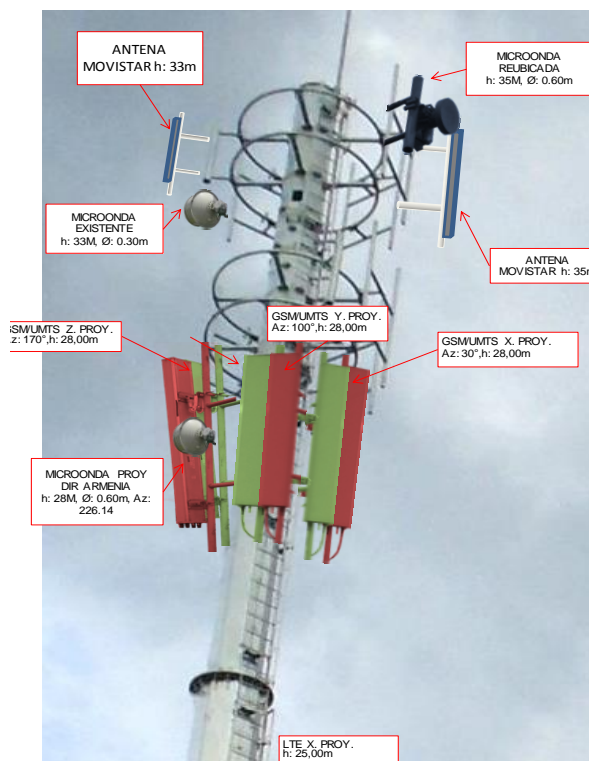
Se obtuvo el siguiente patrón de predicción de cobertura mostrado en la Figura 95.



**Figura 95 Predicción de cobertura UMTS nueva radiobase  
GUANGOPOLO**

Con la predicción de cobertura se validó la configuración propuesta de antenas, controlando la sobre propagación del sector X mediante el ajuste de Tilt eléctrico, en un valor de 4°.

A continuación se muestra la proyección de las antenas a instalar sobre el Monopolo.



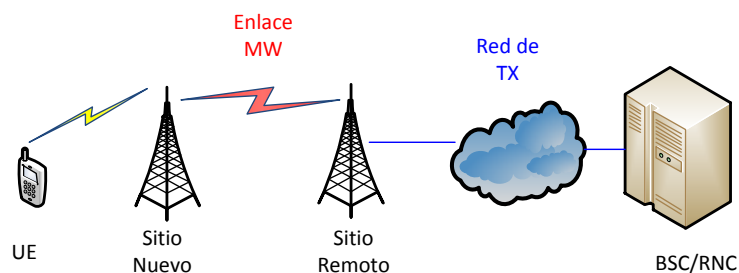
**Figura 96 Proyección de antenas propuestas en Monopolo**

#### 4.1.3 Diseño de Conectividad hacia la red

La conectividad hacia la red consiste en habilitar un medio de transmisión de datos desde la nueva radiobase hacia un elemento concentrador, como el caso de una BSC o una RNC, en el diseño GSM o UMTS respectivamente.

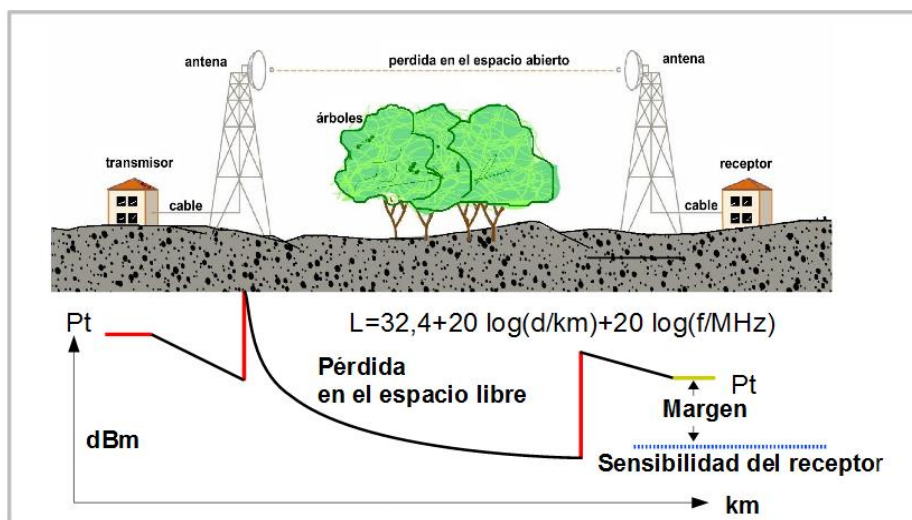
En este caso se procederá con el diseño de un enlace de Microonda que sirve para establecer conectividad entre dos sitios que tengan línea de vista (LOS) usando equipos de radiofrecuencia.





**Figura 97 Esquema de conectividad hacia la red**

Un enlace de Microonda está conformado por los siguientes elementos descritos en la Figura 98.



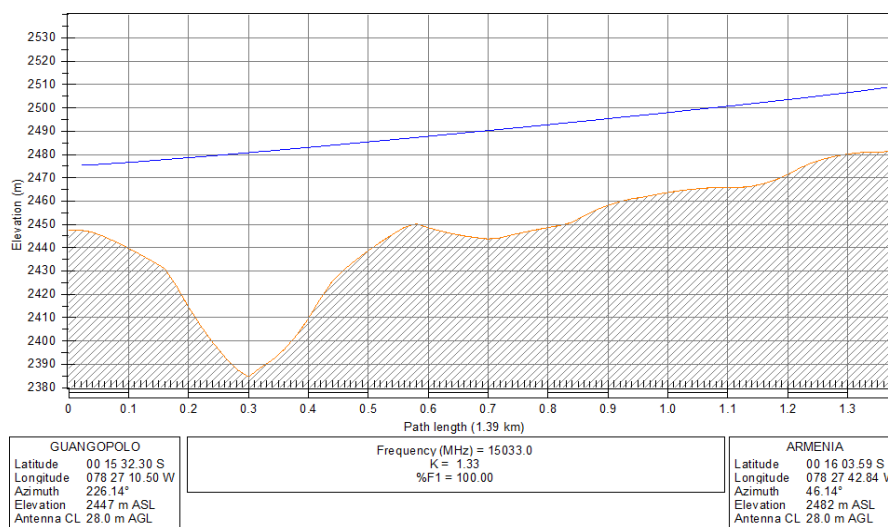
**Figura 98 Elementos en un enlace de Microonda**

Para el diseño del enlace se debe seguir los siguientes pasos:

1. Identificación de posibles sitios remotos.
2. Validación de línea de vista
3. Generación de perfil topográfico en PathLoss.
4. Generación de estudio radioeléctrico en PathLoss.

Debido a la cercanía del sitio ARMENIA, se lo considera como candidato a ser remoto del nuevo sitio.

Con la ayuda del Software PathLoss, se procede a generar el perfil topográfico del enlace, manteniendo la primera zona de Fresnel libre de obstrucciones. Para garantizar que el enlace no presente obstrucciones se recomienda elevar la altura de las antenas de microonda.



**Figura 99 Perfil Topográfico del enlace de Microonda**

En este caso se ha determinado que en el nuevo sitio se coloque la antena de MW a 28 m de altura y en el sitio remoto se coloque la antena de MW a 28m de altura.

Analizando el Path Length, se aprecia que es un enlace relativamente corto (1.39 km), razón por la cual se debe implementar con antenas de bajo diámetro y ganancia.

El equipo a utilizar opera en la frecuencia de 15 GHz y su valor de potencia de transmisión es configurable.

El enlace ha sido diseñado para cursar hasta 183 Mbps de tráfico entre sus extremos, con una disponibilidad del 100% anual mostrado en el estudio radioeléctrico presentado en la Figura 100.

	GUANGOPOLO	ARMENIA
Latitude	00 15 32.30 S	00 16 03.59 S
Longitude	078 27 10.50 W	078 27 42.84 W
True azimuth (°)	226.14	46.14
Vertical angle (°)	1.42	-1.43
Elevation (m)	2447.49	2482.01
Antenna model	WTG06-144D (TR)	WTG06-144D (TR)
Antenna file name	15g hp-06	15g hp-06
Antenna gain (dBi)	36.80	36.80
Antenna height (m)	28.00	28.00
Frequency (MHz)	15033.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	1.39	
Free space loss (dB)	118.85	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.04	
Net path loss (dB)	48.09	48.09
Radio model	15G_HP_256Q_28M_183M	15G_HP_256Q_28M_183M
Radio file name	15ghp256q28m	15ghp256q28m
TX power (dBm)	15.00	15.00
Emission designator	28M0D7W	28M0D7W
EIRP (dBm)	49.60	49.60
TX channel assignments	14823.V	15243.V
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-67.00	-67.00
Receive signal (dBm)	-33.09	-33.09
Thermal fade margin (dB)	33.91	33.91
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.02	0.02
Annual multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Annual multipath unavailability (sec)	0.07	0.07
Annual 2 way multipath availability (%)	100.00000	
Annual 2 way multipath unavailability (sec)	0.15	
Annual rain availability (%)	100.00000	
Annual rain unavailability (min)	0.00	
Annual rain + multipath availability (%)	100.00000	
Annual rain + multipath unavailability (min)	0.00	

**Figura 100 Estudio Radioeléctrico enlace de Microonda**

El equipo utilizado es una Optix RTN 950 TDM/Híbrido/Packet, que consiste en un sistema integrado de transmisión por microonda desarrollado por Huawei



para soluciones en redes de comunicaciones móviles o redes privadas. Está compuesto por la unidad Indoor (IDU), la unidad outdoor (ODU) conectada a través de un cable de IF y la antena de transmisión / recepción.

### **IDU:**

Es el cerebro del sistema de MW, se lo coloca a nivel Indoor, en un rack o protegido contra la intemperie. Consiste en un chasis de 2U (Unidades de Rack) del tipo modular, que soporta la instalación de diferentes tarjetas para diferentes servicios.



**Figura 101 Unidad IDU RTN 950**

Puede brindar los siguientes servicios:

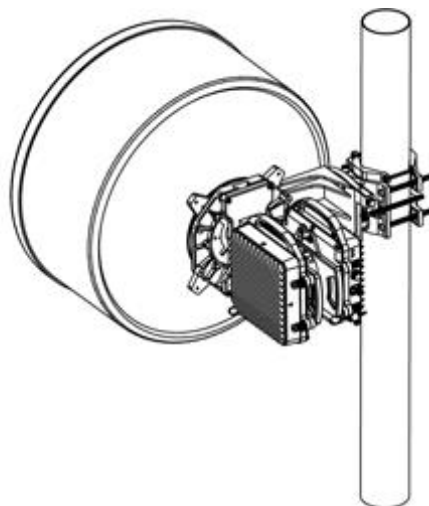
- Interfaces de E1
- Interfaces STM1 Ópticas / Eléctricas.
- Interfaces FE Ópticas / Eléctricas.
- Interfaces GE Ópticas / Eléctricas

### **ODU y ANTENA**

La ODU es el módulo Outdoor del sistema de Microondas y su función es amplificar y convertir las frecuencias IF enviadas desde la IDU hacia frecuencias de transmisión. La antena se encarga de amplificar las señales y direccionar toda la potencia de transmisión hacia la antena correspondiente en el remoto.

**Tabla 35**  
**Características de ODU RTN 950**

Característica	Valor
Frecuencias	13/15/18/23/38 GHz, 7/8 GHz
Modulación	QPSK, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM, 512 QAM, 512 QAMLIGHT, 1024 QAM, 1024 QAMLIGHT, and 2048 QAM
Ancho de banda de portadora	3.5/7/14/28/40/50/56 MHz



**Figura 102 Unidad ODU y Antena de Microonda**

**Tabla 36**  
**Potencia de ODU de acuerdo a modulación**

Frecuencia	Potencia Máxima de Transmisión de acuerdo a modulación					
	QPSK	16 QAM	32 QAM	64 QAM	128 QAM	256 QAM
7 GHz	26.5 dBm	25.5 dBm	25.5 dBm	25 dBm	25 dBm	23 dBm
15 GHz	25 dBm	22 dBm	22 dBm	20.5 dBm	20.5 dBm	18.5 dBm

#### 4.1.4 Selección de infraestructura a adoptar

De acuerdo al diseño de propagación de cobertura celular y al diseño de conectividad a la red, se determinó el siguiente resumen de requerimientos mínimos de altura para antenas proyectadas presentados en la Tabla 37.

**Tabla 37**  
**Resumen antenas proyectadas sobre Monopolo**

ANTENAS CELULARES PROYECTADAS				
TIPO	SECTOR / DIRECCION	AZIMUTH	ALTURA	MODELO
CELULAR	X	30°	28m	DBXLH 6565C VTM
CELULAR	Y	100°	28m	DBXLH 6565C VTM
CELULAR	Z	170°	28m	DBXLH 6565C VTM
MICROONDA	ARMENIA	226.14°	28m	WTG06-14DD

En conclusión se validó la ubicación de antenas celulares y de MW a la altura de 28m.

## 4.2 DISEÑO DE NUEVOS SECTORES CELULARES SOBRE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.

El objetivo de esta propuesta es mejorar los niveles de señal y calidad GSM/UMTS en la ruta Nororiental y Suroriental de la Vía Intervalles. El diseño de sectores adicionales sobre radiobases existentes, viene determinado por las etapas analizadas a continuación:

### 4.2.1 Identificación y selección de radiobases existentes cercanas a la zona de interés.

Analizando la ruta Nororiental de la vía Intervalles, que comprende las identificadas Zona1 GSM, Zona 2 GSM y Zona 1 UMTS se tiene como cercana únicamente a la radiobase de LUMBISI.

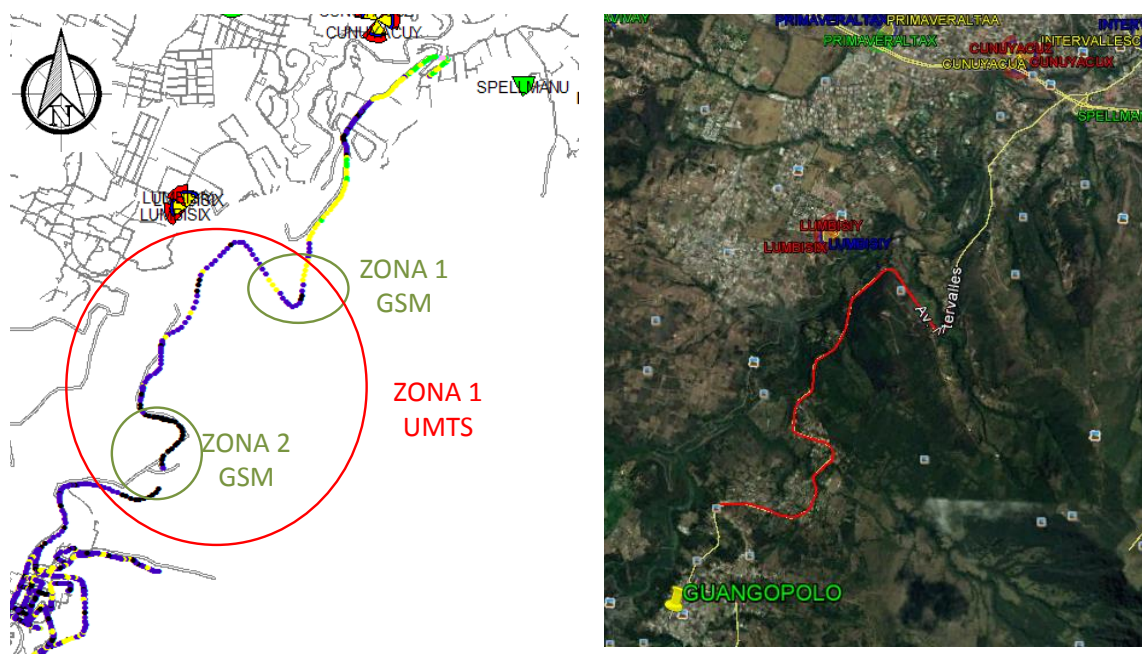
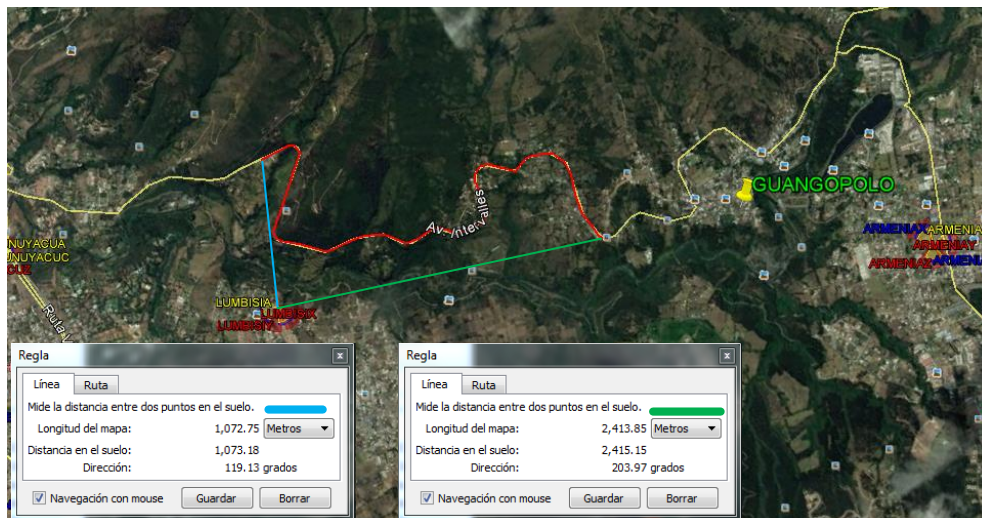


Figura 103 Ruta Nororiental vía Intervalles

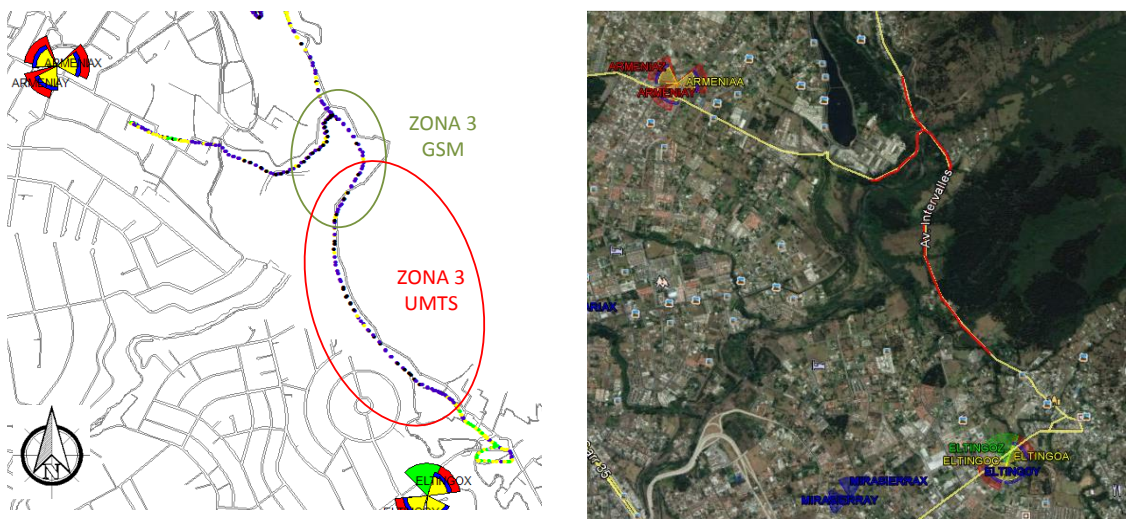
La radiobase más cercana es LUMBISI, está ubicada a 1,072 m hacia el punto inicial y a 2,413 m hacia el punto final de la ruta de análisis.

Por su cercanía a la vía Intervalles, esta radiobase es candidata para implementar nuevos sectores adicionales y así atender las falencias de cobertura celular.



**Figura 104 Distancia de radiobases a ruta Nororiental de la vía Intervalles**

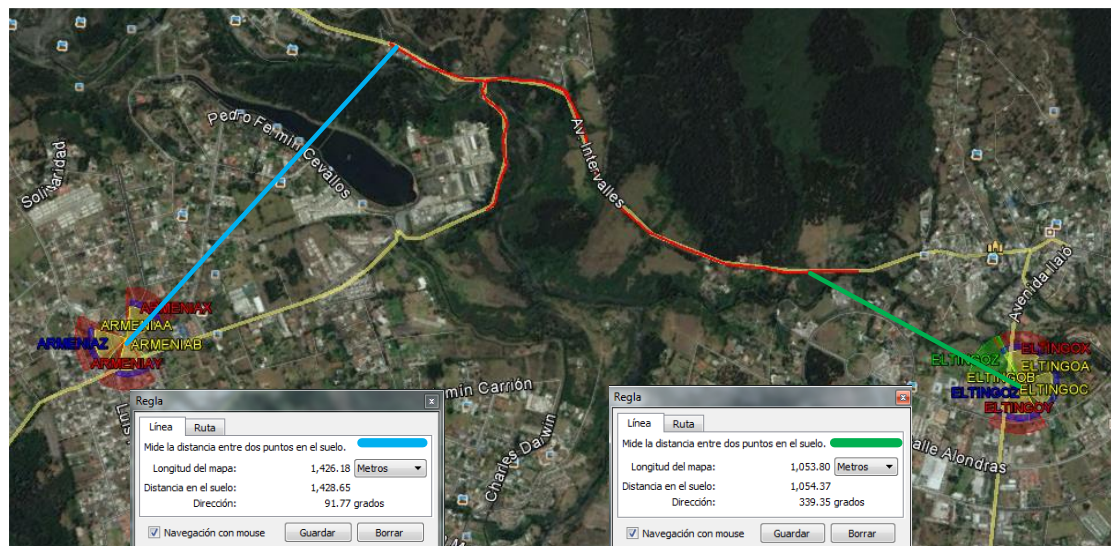
Analizando la ruta Suroriental de la vía Intervalles, que comprende las identificadas Zona 3 GSM y Zona 3 UMTS se identifica a las siguientes radiobases como cercanas presentadas en la Figura 105..



**Figura 105 Ruta Suroriental vía Intervalles**



Se observa la presencia de la radiobase ARMENIA (1,426 m) & ELTINGO (1,053 m) sobre la zona de análisis. Estas dos radiobases son candidatas para implantación de sectores adicionales.



**Figura 106 Distancia de radiobases a Ruta Suroriental de la vía Intervalles**

#### 4.2.2 Diseño de propagación de cobertura celular para nuevos sectores en infraestructura existente.

Para mejorar las deficiencias de cobertura sobre la vía Intervalles, se analiza los tres sitios candidatos a implementar sectores adicionales.

#### Diseño del Nuevo Sector ARMENIA

La infraestructura del sitio ARMENIA es una Torre de 36 m de altura, en la cual se encuentran instaladas las tecnologías GSM/UMTS. En análisis del Capítulo III no se presentó inconvenientes de cobertura a nivel de GSM.

La configuración inicial de antenas UMTS del sitio se presenta en la Tabla 38:

**Tabla 38**  
**Configuración inicial de Antenas en radiobase ARMENIA**

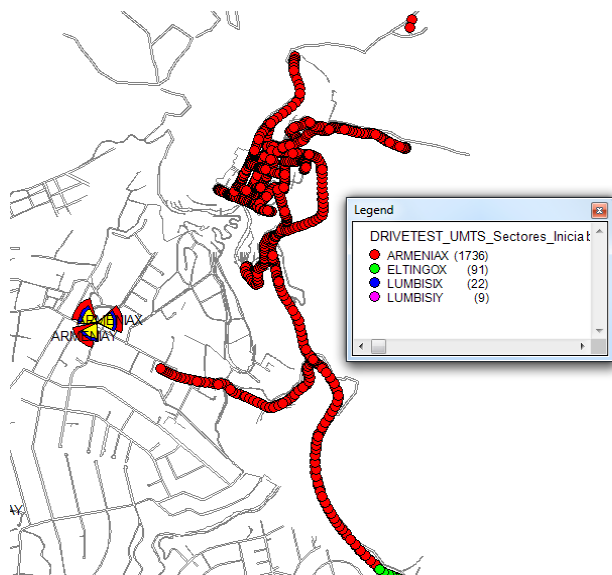
SECTOR	MODELO ANTENA	ALTURA	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
ARMENIA X	DBXLH-6565C-VTM	34	85	3	4
ARMENIA Y	DBXLH-6565C-VTM	24	210	0	8
ARMENIA Z	DBXLH-6565C-VTM	34	300	1	2



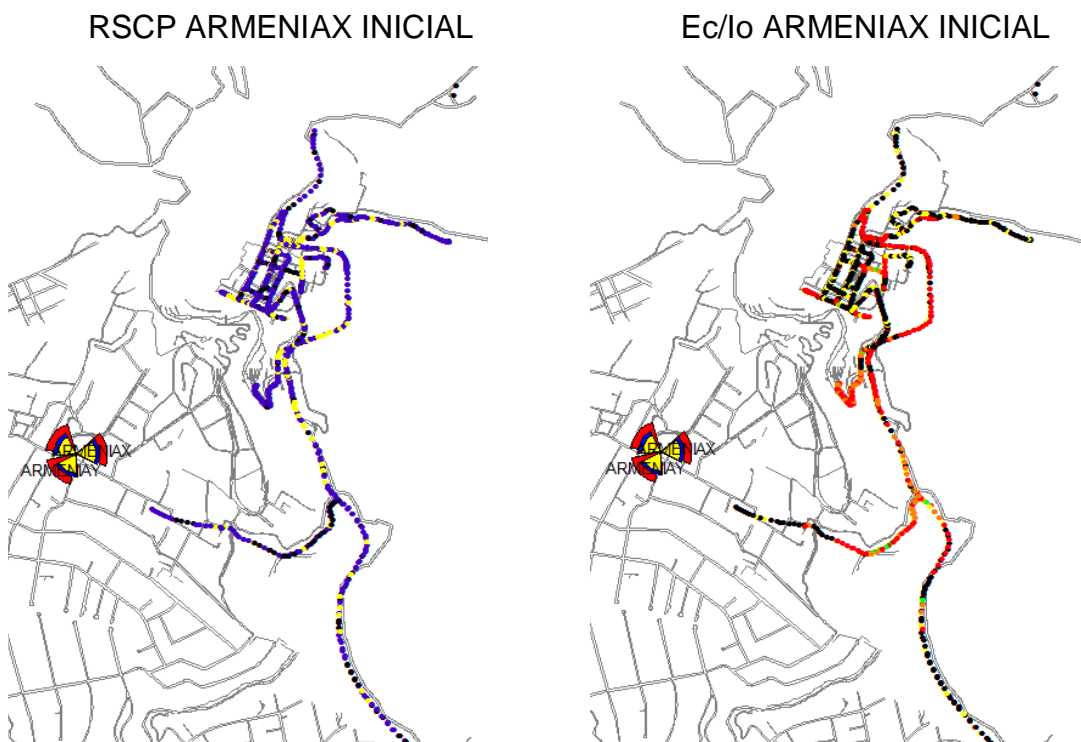
**Figura 107 Distribución inicial de sectores en radiobase ARMENIA**

El sector X está orientado con el azimut de  $85^\circ$  y la apertura de la antena instalada es  $65^\circ$ , cuyo objetivo principal es cubrir la parte Oriental de la urbanización La Armenia, en un radio de cobertura de 900 m, sin embargo, su señal llega como servidor con bajos niveles de potencia hacia la población de Guangopolo ubicada a 1.5 km y azimut de  $45^\circ$  con respecto a la radiobase en mención y a la vía Intervalles.

A continuación en la Figura 108, se presenta las muestras de propagación del Sector ARMENIAX UMTS, donde se evidencia que es el servidor en puntos lejanos a la radiobase con bajos niveles de señal y calidad.



**Figura 108 Propagación Inicial ARMENIAX**



**Figura 109 Muestras iniciales de RSCP & Ec/Io ARMENIAX**

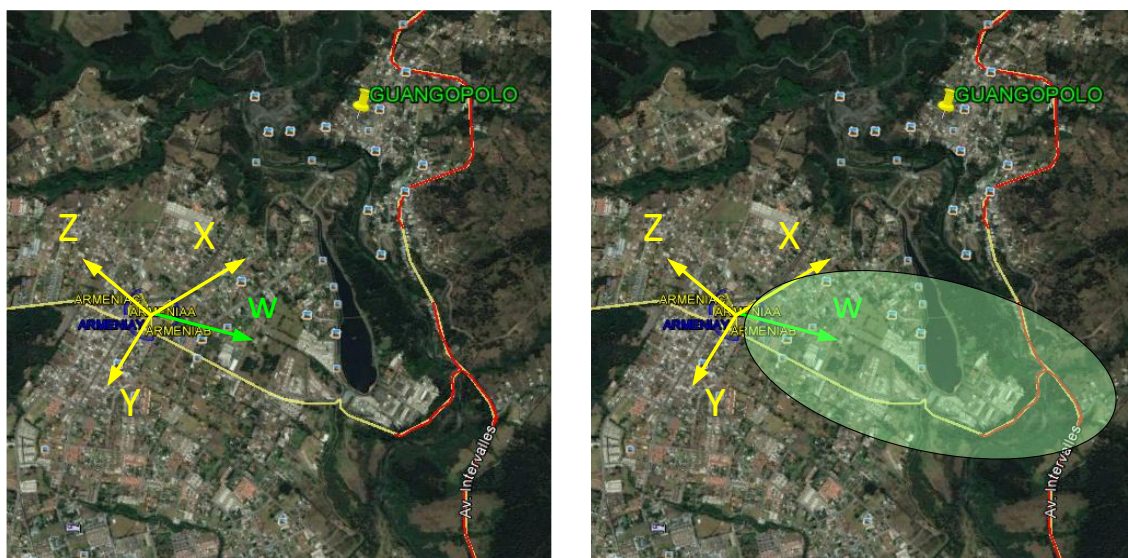


Con la información presentada en la Figura 109, se concluyó que en la parte alta de la ladera del cerro Ilaló, cercano a Guangopolo, los niveles de calidad Ec/Io de ARMENIAX superaron los -12 dB, sin embargo, los niveles de RSCP fueron inferiores a -85 dBm. Mismo escenario se presentó en la Y (Armenia – Guangopolo – El Tingo) de la vía Intervalles con dirección a El Tingo.

Para mejorar los niveles de potencia en la ruta Intervalles, donde es servidor el sector ARMENIAX, se propone re orientar dicho sector hacia el azimut de 60° con TM de 0° y la inclusión de un nuevo sector con azimut 95°, con una antena de 65° de apertura horizontal para propagar lateralmente la señal.

**Tabla 39**  
**Configuración propuesta de Antenas en radiobase ARMENIA**

SECTOR	MODELO ANTENA	ALTURA	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
ARMENIA X	DBXLH-6565C-VTM	34	60	0	0
ARMENIA Y	DBXLH-6565C-VTM	24	210	0	8
ARMENIA Z	DBXLH-6565C-VTM	34	300	1	2
ARMENIA W	DBXLH-6565C-VTM	34	95	3	4



**Figura 110 Distribución propuesta de sectores en radiobase ARMENIA**

TORRE ARMENIA

REQUERIMIENTO NUEVO SECTOR



Figura 111 Estado inicial de torre ARMENIA

### Predicción de Cobertura

Mediante la herramienta Asset se ingresó los parámetros del nuevo sector ARMENIAW mostrados en la Tabla 39 y utilizando una RRU 3942.

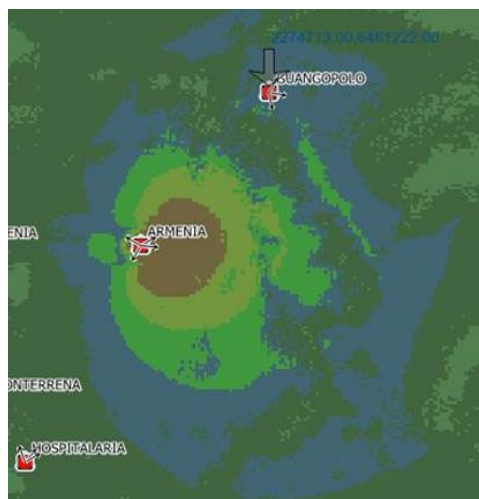


Figura 112 Predicción de cobertura UMTS del nuevo sector ARMENIA

Con la predicción de cobertura se observa la incidencia del nuevo sector sobre la vía Intervalles, validando la configuración propuesta de los parámetros de antena.

### Diseño del Nuevo Sector ELTINGO

La infraestructura del sitio ELTINGO es un Monopolo de 30 m, en la cual se encuentran instaladas las tecnologías GSM/UMTS. En análisis del Capítulo III no se presentó inconvenientes de cobertura a nivel de GSM.

La configuración inicial de antenas UMTS del sitio se presenta en la Tabla 40 mostrada a continuación:

**Tabla 40**  
**Configuración inicial de Antenas en radiobase ELTINGO**

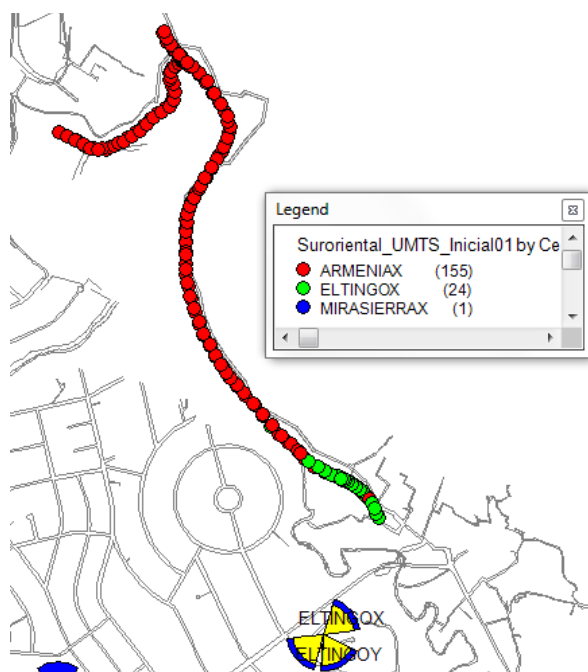
SECTOR	MODELO ANTENA	ALTURA	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
ELTINGO X	DBXLH-6565C-VTM	30	50	1	1
ELTINGO Y	DBXLH-6565D-VTM	30	150	3	6
ELTINGO Z	DBXLH-6565D-VTM	30	230	2	6



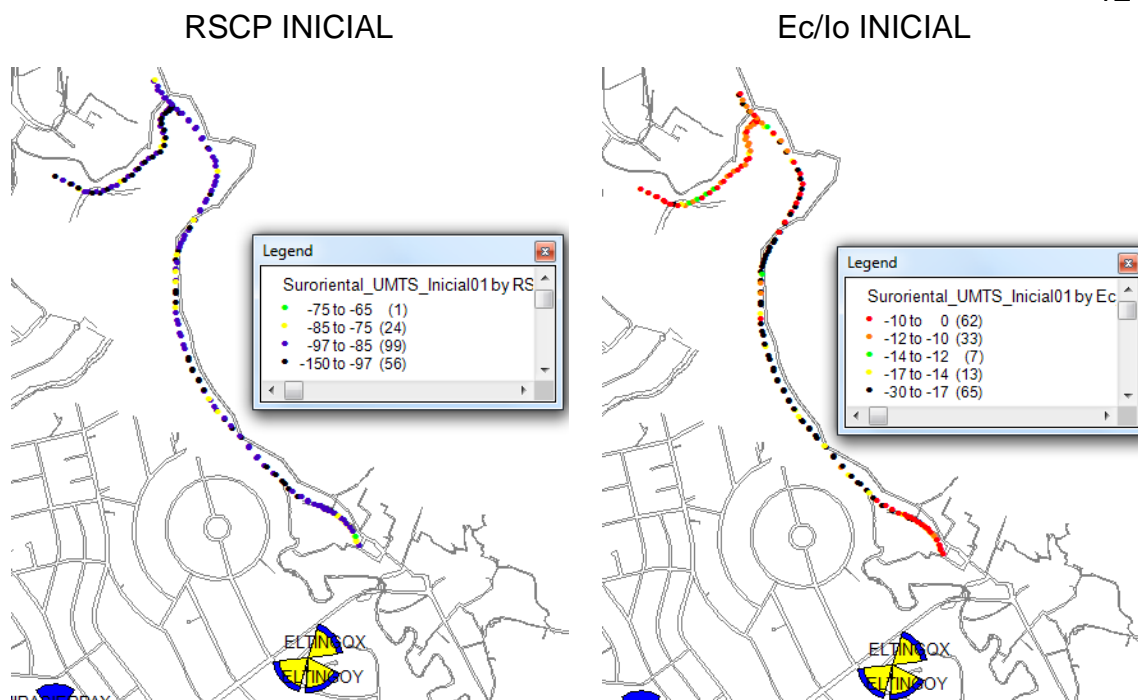
**Figura 113 Distribución de sectores en radiobase ELTINGO**

El sector X está orientado con el azimut de  $50^\circ$  y la apertura de la antena instalada es  $65^\circ$ , cuyo objetivo principal es cubrir la parte Oriental de la parroquia El Tingo, en un radio de cobertura de 800m, sin embargo, su señal llega como servidor con bajos niveles de potencia hacia la parte Suroriental de la vía Intervalles, ubicada en el azimut de  $350^\circ$  con referencia a la radiobase en discusión.

A continuación, en la Figura 114, se presenta las muestras de propagación del sector ELTINGOX UMTS, donde se observa que pese a su cercanía a la vía Intervalles, no tiene una buena penetración debido a que no apunta directamente hacia esta.



**Figura 114 Propagación Inicial en ruta Suroriental**



**Figura 115 Muestras iniciales de RSCP & Ec/Io en ruta Suroriental**

Con el estado inicial de los sectores ARMENIAX & ELTINGOX, los niveles de potencia RSCP y Calidad Ec/Io en la ruta Suroriental de la vía Intervalles son inferiores a los -85 dBm y -14 dB respectivamente.

Para mejorar los niveles de potencia en esta zona, adicional a la implementación del sector ARMENIAW, se propone re orientar el sector ELTINGOX hacia el azimut de 60° y la inclusión de un nuevo sector en radiobase ELTINGO con azimut 350° y una antena de 35° de apertura horizontal para tener más directividad hacia la vía Intervalles.

**Tabla 41 Configuración propuesta de Antenas en radiobase ELTINGO**

SECTOR	MODELO ANTENA	ALTURA	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
ELTINGO X	DBXLH-6565C-VTM	30	60	1	1
ELTINGO Y	DBXLH-6565D-VTM	30	150	3	6
ELTINGO Z	DBXLH-6565D-VTM	30	230	2	6
ELTINGO W	LBX-3319DS-VTM	28	350	2	2



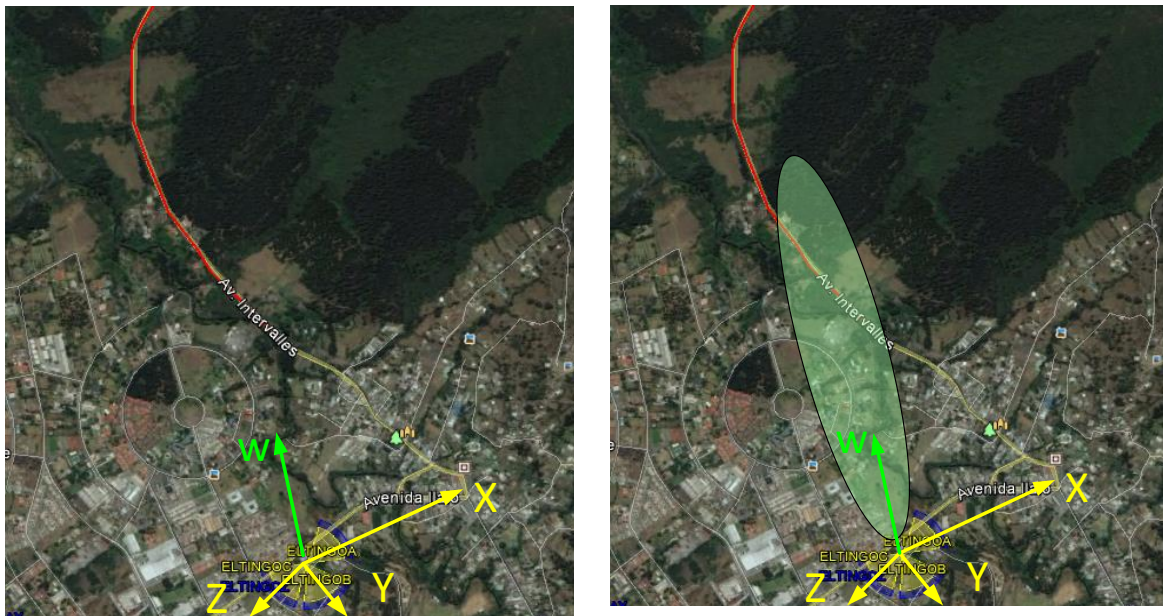


Figura 116 Distribución Propuesta de sectores en radiobase ELTINGO

MONOPOLO ELTINGO



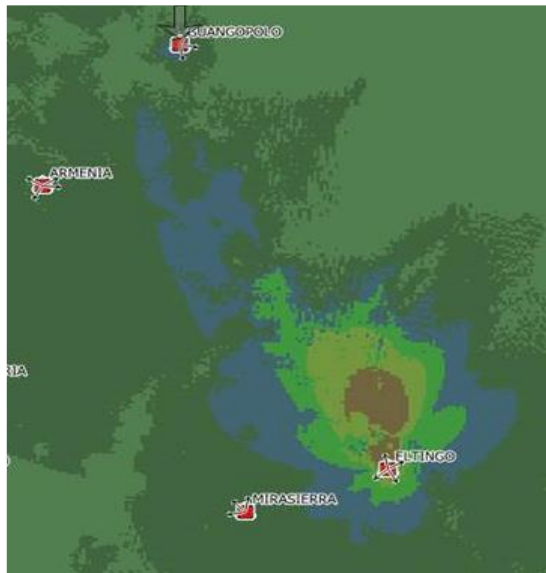
REQUERIMIENTO PARA  
NUEVO SECTOR



Figura 117 Estado inicial de torre ELTINGO

## Predicción de Cobertura

Mediante la herramienta Asset se ingresó los parámetros del nuevo sector ARMENIAW presentados en la Tabla 41 y utilizando una RRU 3942.



**Figura 118 Predicción de cobertura UMTS nuevo sector ELTINGO**

Con la predicción de cobertura se observa la incidencia del nuevo sector sobre la vía Intervalles, proyectándose como un servidor definido de cobertura UMTS, validando la configuración propuesta de los parámetros de antena para el nuevo sector.

## Diseño del Nuevo Sector LUMBISI

La infraestructura del sitio LUMBISI es un Monopolo de 42 m, en la cual se encuentran instaladas las tecnologías GSM/UMTS.

La configuración inicial de antenas GSM del sitio se lo describe en la Tabla 42.

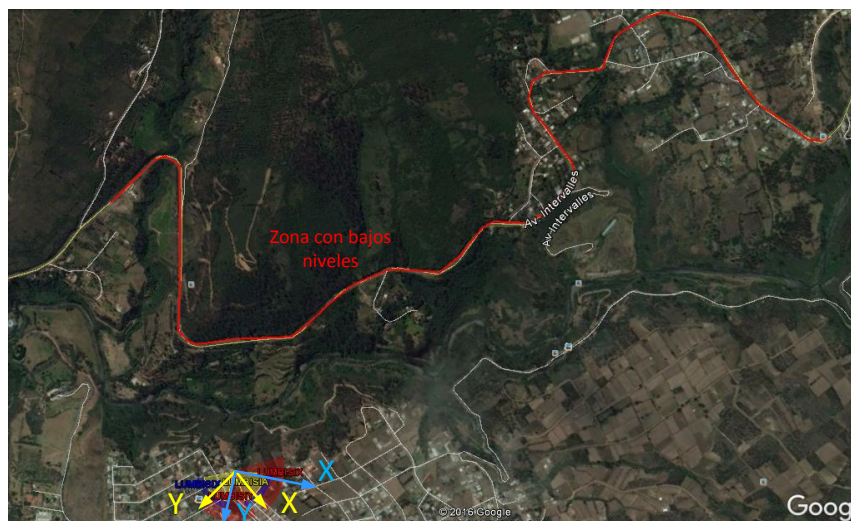
**Tabla 42**  
**Configuración inicial de Antenas GSM en radiobase LUMBISI**

SECTOR	MODELO ANTENA	ALTURA	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
LUMBISI X	DBXLH-6565C-VTM	42	250	3	3
LUMBISI Y	DBXLH-6565C-VTM	42	340	3	3

La configuración inicial de antenas UMTS del sitio se lo describe en la Tabla 43.

**Tabla 43**  
**Configuración inicial de Antenas UMTS en radiobase LUMBISI**

SECTOR	MODELO ANTENA	ALTURA	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
LUMBISI X	DBXLH-6565C-VTM	25	10	3	3
LUMBISI Y	DBXLH-6565C-VTM	25	270	3	3



**Figura 119 Distribución de sectores en radiobase LUMBISI**



LUMBISI, a pesar de ser la radiobase más cercana a la vía Nororiental de la Intervalles, no se tiene un sector con incidencia directa sobre esta zona, por tal motivo es necesario definir un servidor celular.

A nivel GSM se identificaron 5 servidores a lo largo de la ruta analizada, incluso con propagaciones lejanas del sector SPELLMANY (2,703 m), siendo necesario implementar un nuevo sector GSM para brindar un servidor definido.

A nivel UMTS se identificaron 8 servidores a lo largo de la ruta analizada, presentado en la Figura 120 con propagaciones lejanas como el caso de YANAZARAPATAX (4,315 m), siendo necesario implementar un nuevo sector UMTS para brindar un servidor definido.

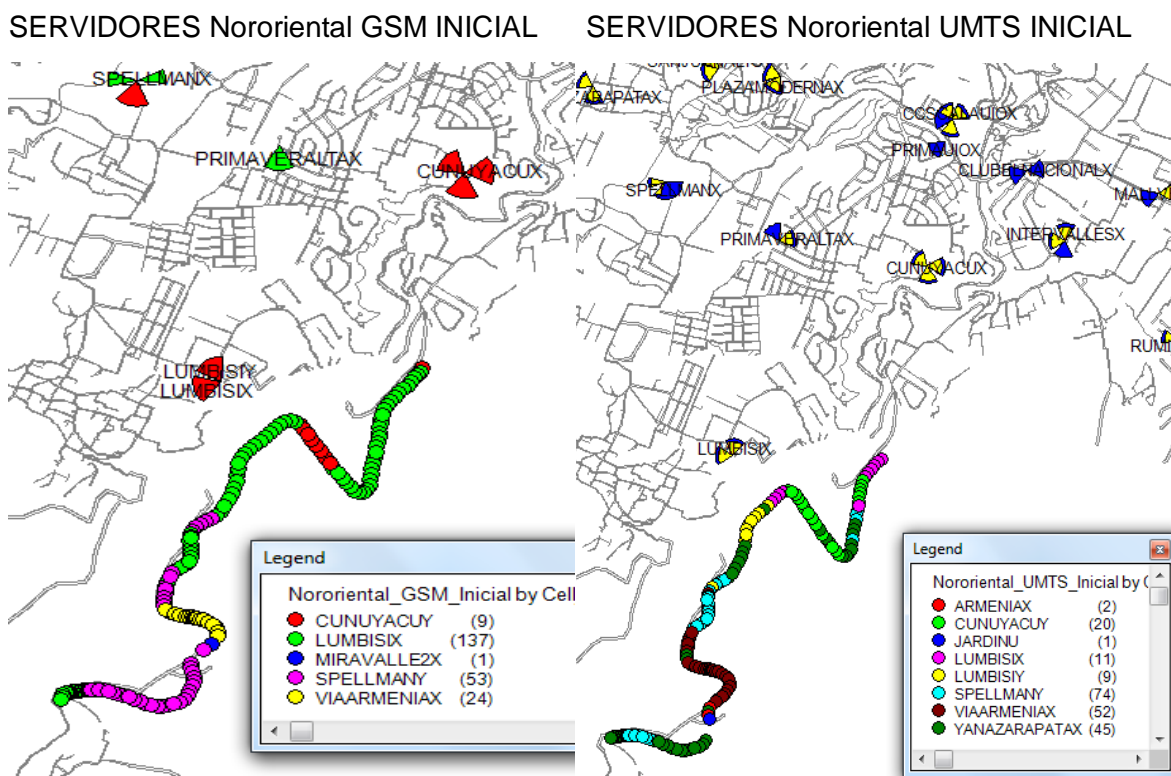
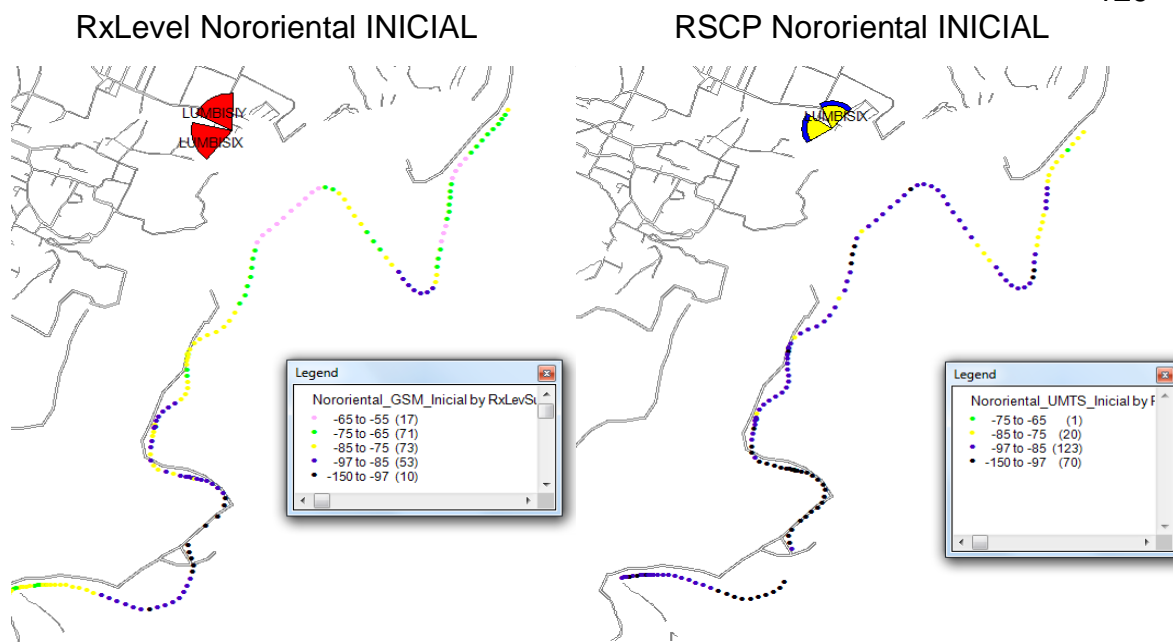


Figura 120 Servidores en ruta Nororiental Inicial GSM/UMTS



**Figura 121 Muestras iniciales de RxLev & RSCP Nororiental Intervalles**

Con la información presentada en la Figura 121 y para mejorar los niveles de potencia en la ruta Nororiental de los Intervalles, se propone la inclusión de un nuevo sector GSM/UMTS con azimut  $190^\circ$  a la altura de 20 m. Se coloca más bajo que las antenas existentes y con una antena de  $33^\circ$  para evitar sobre propagación e interferencia con otras celdas.

La configuración propuesta de antenas GSM del sitio se lo muestra en la Tabla 44.

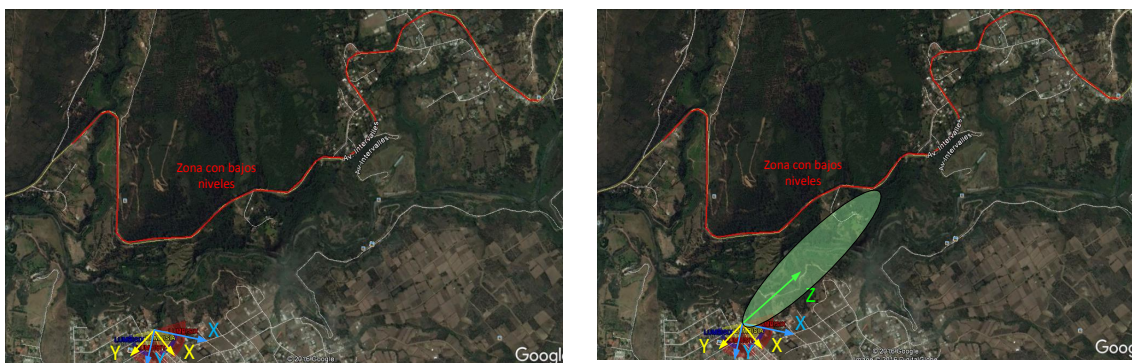
**Tabla 44**  
**Configuración propuesta de Antenas GSM en radiobase LUMBISI**

SECTOR	MODELO ANTENA	ALTURA	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
LUMBISI X	DBXLH-6565C-VTM	42	250	3	3
LUMBISI Y	DBXLH-6565C-VTM	42	340	3	3
<b>LUMBISI Z</b>	<b>LBX-3319DS-VTM</b>	<b>20</b>	<b>190</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

La configuración propuesta de antenas UMTS del sitio, se lo muestra en la Tabla 45.

**Tabla 45**  
**Configuración propuesta de Antenas UMTS en radiobase LUMBISI**

SECTOR	MODELO ANTENA	ALTURA	AZIMUT	TM	TE 850 MHz
LUMBISI X	DBXLH-6565C-VTM	25	10	3	3
LUMBISI Y	DBXLH-6565C-VTM	25	270	3	3
LUMBISI Z	LBX-3319DS-VTM	20	190	2	2



**Figura 122 Distribución Propuesta de sectores en radiobase LUMBISI**

MONOPOLO LUMBISI

REQUERIMIENTO NUEVO

SECTOR



**Figura 123 Estado inicial de Torre ELTINGO**

### 4.2.3 Diseño de Conectividad hacia la red

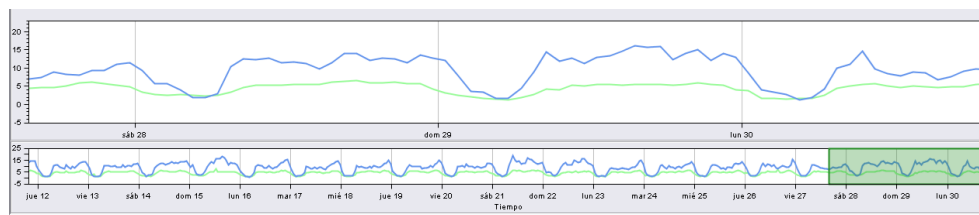
Al tratarse de infraestructura y radiobases celulares existentes ya cuentan con un equipo de transmisión para conectividad hacia la red.

A continuación en la Tabla 46 se detallan los equipos de transmisión instalados en las radiobases ARMENIA & ELTINGO y la capacidad asignada al canal de transmisión.

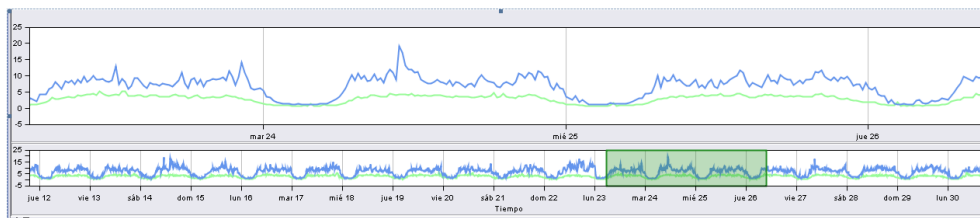
**Tabla 46**

#### Equipos de Transmisión en radiobases Existentes

SITIO	TIPO DE TX	EQUIPO	CAPACIDAD EN PUERTO	OCUPACION
ARMENIA	FO	ALU SAR-M	100 Mbps	Picos del 20%
ELTINGO	FO	ALU SAR-M	100 Mbps	Picos del 22%



**Figura 124 Tráfico por hora NodoB ARMENIA corte Octubre 2016**



**Figura 125 Tráfico por hora NodoB ELTINGO corte Octubre 2016**

Como se puede observar en las Figuras 124 y 125, existe capacidad suficiente a nivel de transmisión para soportar la inclusión de los sectores adicionales.

### 4.3 SELECCIÓN DE PROPUESTA TÉCNICA A IMPLEMENTAR

#### 4.3.1 Análisis de selección de tecnologías propuestas

##### Población de Guangopolo

Guangopolo es considerado como una parroquia rural del Distrito Metropolitano de Quito (Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda STHV) de esta forma, en Tabla 47 se presentan los umbrales de cumplimiento para zonas rurales expuestos en el Capítulo III.

**Tabla 47**  
**Porcentajes de Cumplimiento inicial en cobertura y calidad para zonas Rurales Guangopolo**

ANALISIS	Cumplimiento Cobertura GSM Rural y Carreteras	Cumplimiento Cobertura UMTS Rural y Carreteras	Cumplimiento Calidad UMTS Rural y Carreteras
Guangopolo	100.00%	84.44%	54.39%

Se puede concluir que a nivel GSM se cumple con los umbrales establecidos por el Arcotel, por tal motivo, el proyecto se enfocó en satisfacer las necesidades de cobertura y calidad UMTS.

Para impulsar la implementación de este sitio existen intereses comerciales por parte del operador de ofertar servicio UMTS, e intereses de cumplimiento exigidos por Arcotel.

**Tabla 48**  
**Resumen tecnologías celulares a instalar en nuevo sitio**

Propuesta	Autorización de instalación	Equipo a utilizar
Radiobase GSM	NO	N/A
Radiobase UMTS	SI	DBS 3900

### Vía Intervalles

Para el análisis de mejora de cobertura sobre la vía Intervalles, en Tabla 49 se muestran los umbrales de cumplimiento para zonas rurales expuestos en el Capítulo III.

**Tabla 49**  
**Porcentajes de Cumplimiento inicial en cobertura y calidad para zonas Rurales Ruta Total**

ANALISIS	Cumplimiento Cobertura GSM Rural y Carreteras	Cumplimiento Cobertura UMTS Rural y Carreteras	Cumplimiento Calidad UMTS Rural y Carreteras
Ruta Total	99.06%	84.13%	64.56%

Se puede concluir que a nivel GSM si se cumple con los umbrales establecidos por el Arcotel, teniendo deficiencias a nivel UMTS.

Para garantizar la continuidad de cobertura celular y mejorar el nivel de experiencia de uso de red por usuario en las tecnologías GSM y UMTS, se ha dado paso a la implementación de los siguientes sectores adicionales descritos en Tabla 50.

**Tabla 50**  
**Resumen nuevos sectores a implementar**

Solución	Tecnología	Autorización de Instalación
ARMENIAW	UMTS	SI
ELTINGOW	UMTS	SI
LUMBISIZ	UMTS	SI
LUMBISIZ	GSM	SI

#### 4.3.2 Selección de Equipos y tecnologías a implementar

##### Equipos para nuevo sitio

Para la solución UMTS a implementar en el nuevo sitio GUANGOPOLO se plantea la instalación del sistema DBS3900 conformado por BBU + RRU equipados con la siguiente tarjetería.

1 Tarjeta FAN para ventilación

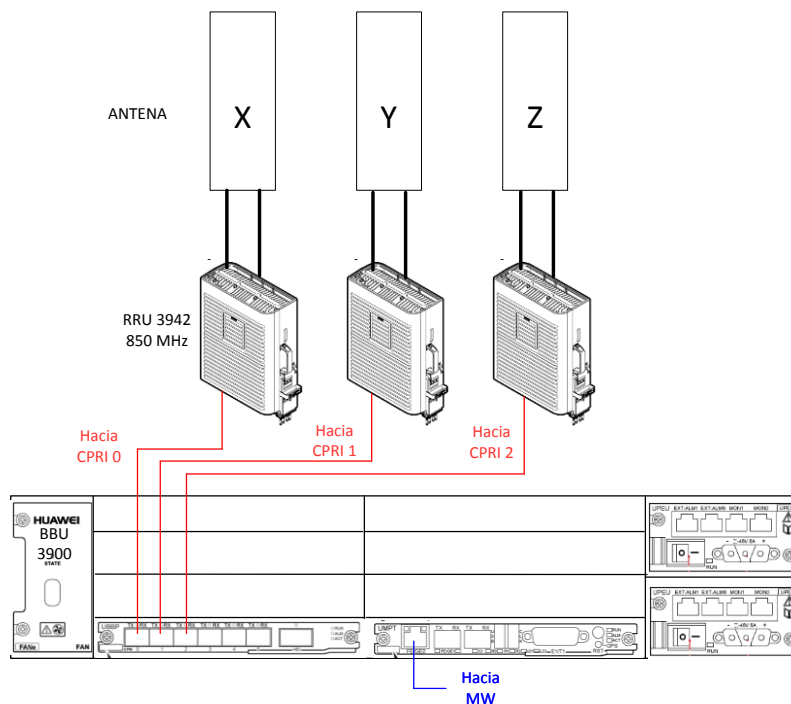
2 Tarjetas UPEU, para energía, se instala dos por redundancia.

1 Tarjeta UMPT, tarjeta principal de Transmisión.

1 Tarjeta UBBP, tarjeta con interfaces CPRI para conexión hacia RRU.

3 RRU 3942 850 MHz, unidades de radio para conexión hacia las antenas celulares.

3 Antenas DBXLH-6565C, para los tres sectores celulares.



**Figura 126 Esquema propuesto para implementación de equipos**

### **Equipos para nuevos sectores**

Para la solución de nuevos sectores sobre equipos (DBS3900) existentes, se reutiliza la tarjetería de BBU existente y se considera la adición de los siguientes elementos:

#### **ARMENIAW**

1 RRU 3942 850 MHz

1 Antena DBXLH-6565C-VTM

#### **ELTINGOW**

1 RRU 3942 850 MHz

1 Antena LBX-3319DS-VTM



## CAPÍTULO V

### EVALUACIÓN DE SOLUCIÓN IMPLEMENTADA

#### 5.1 IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIÓN SELECCIONADA.

Para dar solución a los problemas de cobertura celular se implementaron las siguientes soluciones:

#### Nueva Radiobase GUANGOPOLO UMTS



Figura 127 Implementación nueva radiobase GUANGOPOLO

### Nuevo Sector ARMENIAW UMTS



Figura 128 Implementación nuevo sector ARMENIA

### Nuevo Sector ELTINGOW UMTS

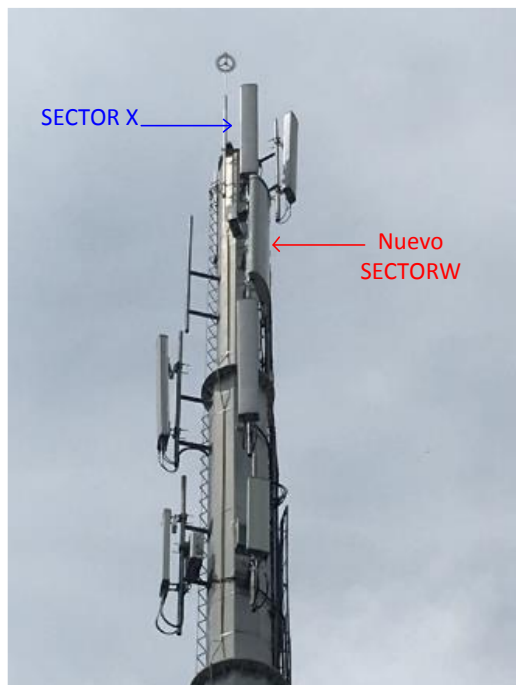


Figura 129 Implementación nuevo sector ELTINGO

## 5.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN

### 5.2.1 Recolección de muestras de cobertura celular

Las muestras fueron tomadas siguiendo el mismo criterio expuesto en el Capítulo III. Para tener una base comparable, se siguió la misma ruta del recorrido inicial.

Se generaron dos archivos Log, el primero para los datos GSM y el segundo para los datos UMTS.

## 5.3 ANÁLISIS DE DATOS DE COBERTURA CELULAR.

### 5.3.1 Análisis GSM

#### ANÁLISIS DE COBERTURA

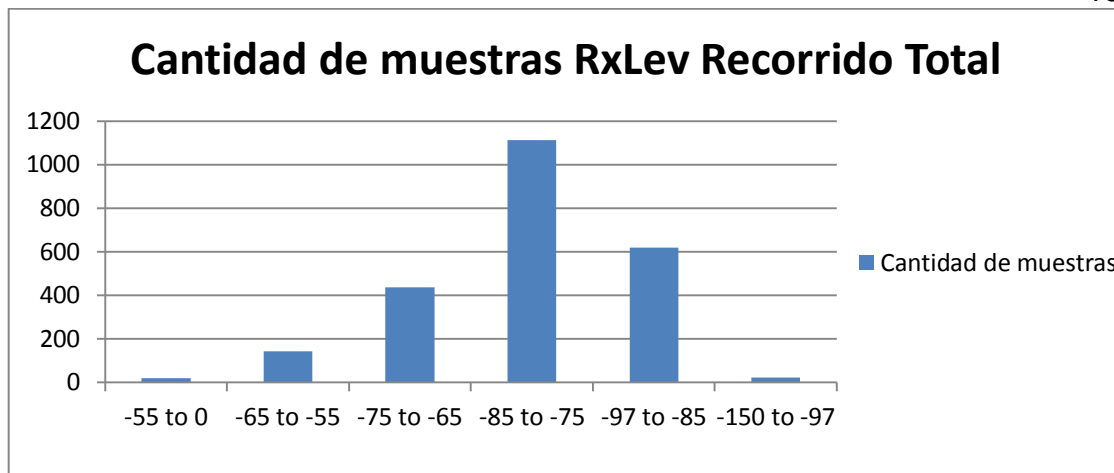
En el presente proyecto, no se implementó soluciones GSM, sin embargo, se toma una nueva muestra de datos a nivel 2G.

Del log del recorrido se extrae la información correspondiente al parámetro RxLev.

#### Recorrido Total (Intervalles + Guangopolo)

**Tabla 51**  
**Muestras RxLev en recorrido total final**

Colores	Rangos (dBm)	Cantidad de muestras
rojo	-55 to 0	19
rosa	-65 to -55	145
verde	-75 to -65	437
amarillo	-85 to -75	1114
azul	-97 to -85	620
negro	-150 to -97	22



**Figura 130 Muestras RxLev en recorrido total final**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 52 Clasificación de muestras RXLev en recorrido total final**

RxLev Recorrido Total		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
Muestras	72.76%	99.06%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 72.76% de muestras RxLev con valores superiores a -85 dBm.

Analizando a nivel rural y carreteras, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 99.06% de muestras RxLev con valores superiores a -98 dBm.

En la Figura 131 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro RxLev en el polígono de análisis vía Intervalles y población de Guangopolo.

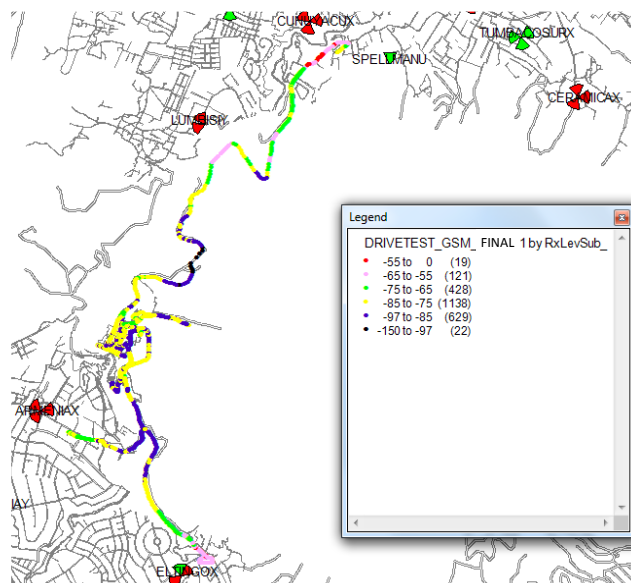


Figura 131 Plot de muestras RxLev en recorrido total final

Con las muestras tomadas, se identificó 18 sectores servidores a lo largo de todo el recorrido con el fin de garantizar la continuidad de la cobertura celular.

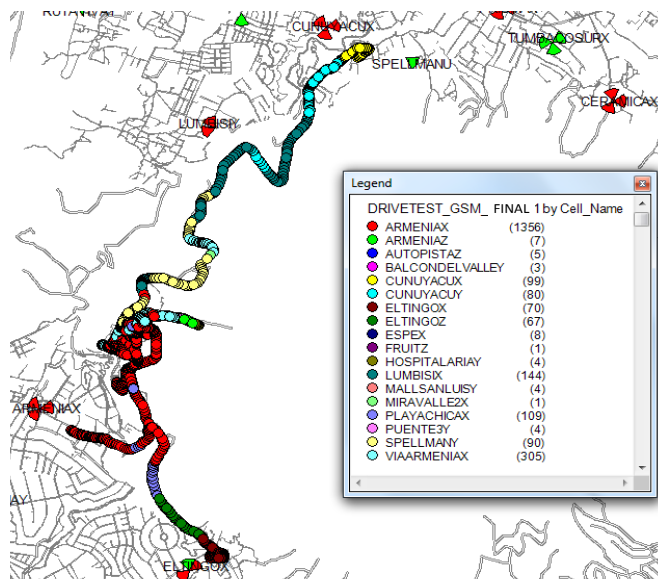
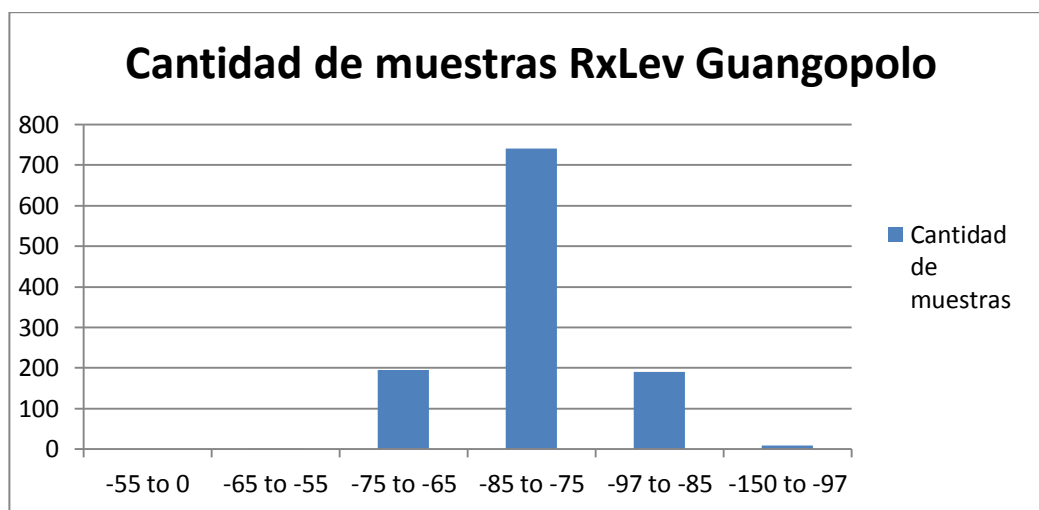


Figura 132 Plot de muestras radiobases servidoras GSM en recorrido total final

## Recorrido en Guangopolo

**Tabla 53 Muestras RxLev en recorrido Guangopolo final**

Colores	Rangos (dBm)	Cantidad de muestras
rojo	-55 to 0	0
rosa	-65 to -55	1
verde	-75 to -65	195
amarillo	-85 to -75	740
azul	-97 to -85	191
negro	-150 to -97	9



**Figura 133 Muestras RxLev en recorrido Guangopolo final**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

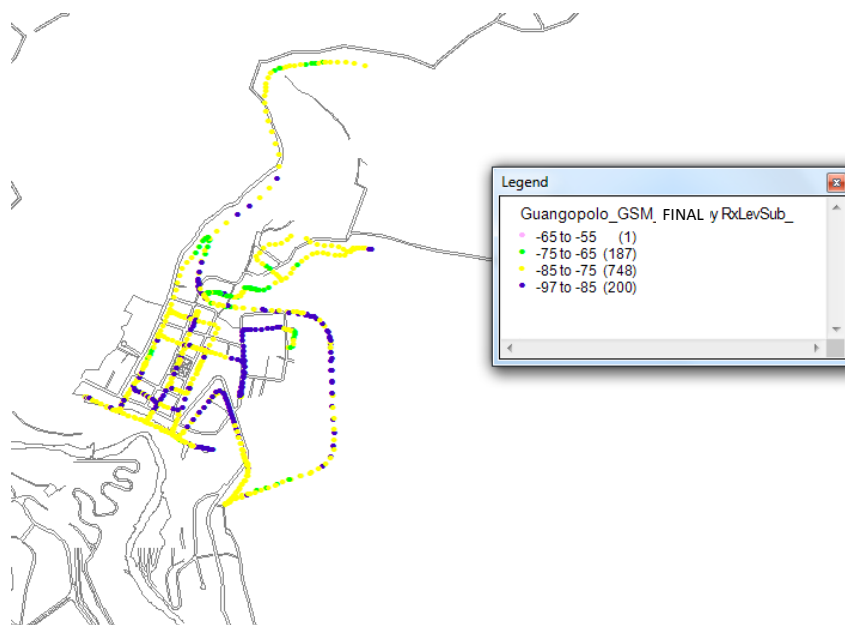
**Tabla 54**  
**Clasificación de muestras RxLev en recorrido Guangopolo final**

RxLev Recorrido Guangopolo Final		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
Muestras	82.39%	99.20%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 82.39% de muestras RxLev con valores superiores a -85 dBm.

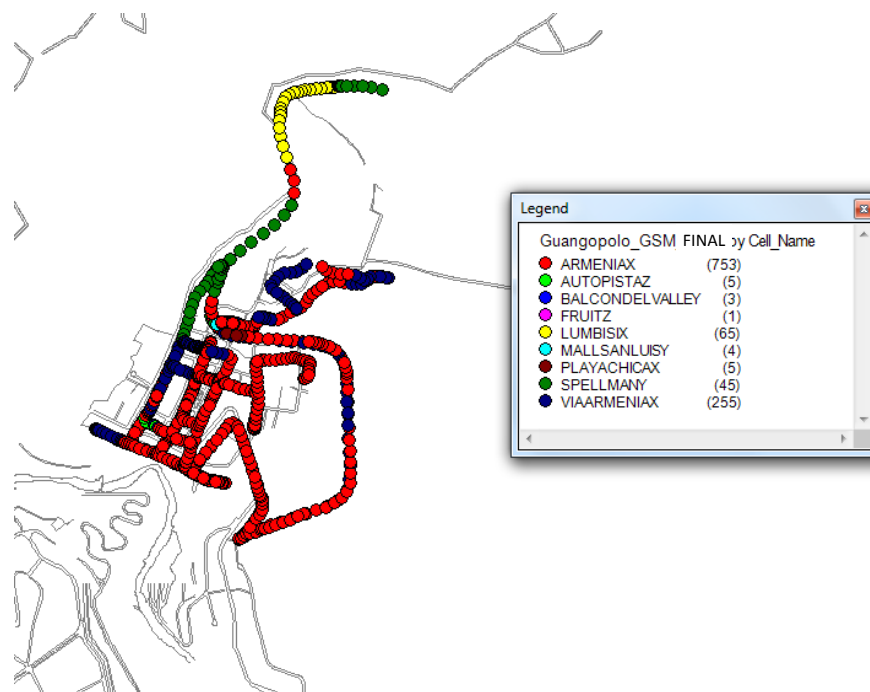
Analizando a nivel rural y carreteras, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 99.20% de muestras RxLev con valores superiores a -98 dBm.

En Figura 134 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro RxLev en el polígono de análisis de la Población de Guangopolo.



**Figura 134** Plot de muestras RxLev en recorrido Guangopolo final

En Figura 135, se observó la presencia de 9 sectores servidores en el polígono de análisis Guangopolo, con predominio del sector ARMENIAX, ubicado a 1.8 km del parque de Guangopolo.



**Figura 135 Plot de muestras radiobases servidoras GSM en Guangopolo Final**

Con los niveles de señal presentados, los usuarios pueden acceder al servicio GSM.

### 5.3.2 Análisis UMTS

Posterior a la implementación de las soluciones presentadas, se ejecutó un nuevo recorrido para evaluar los cambios en UMTS.

### ANÁLISIS DE COBERTURA

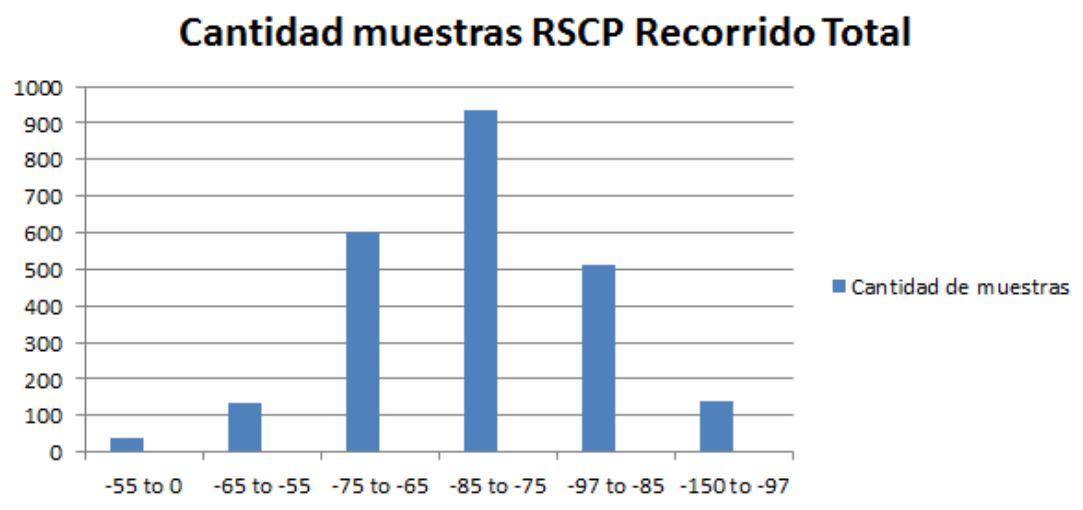
Del log del recorrido, se extrae la información correspondiente al parámetro RSCP.



## Recorrido Total (Intervalles + Guangopolo)

**Tabla 55**  
**Muestras RSCP en recorrido total final**

Colores	Rangos (dBm)	Cantidad de muestras
rojo	-55 to 0	40
rosa	-65 to -55	135
verde	-75 to -65	603
amarillo	-85 to -75	937
azul	-97 to -85	512
negro	-150 to -97	138



**Figura 136 Muestras RSCP en recorrido total final**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

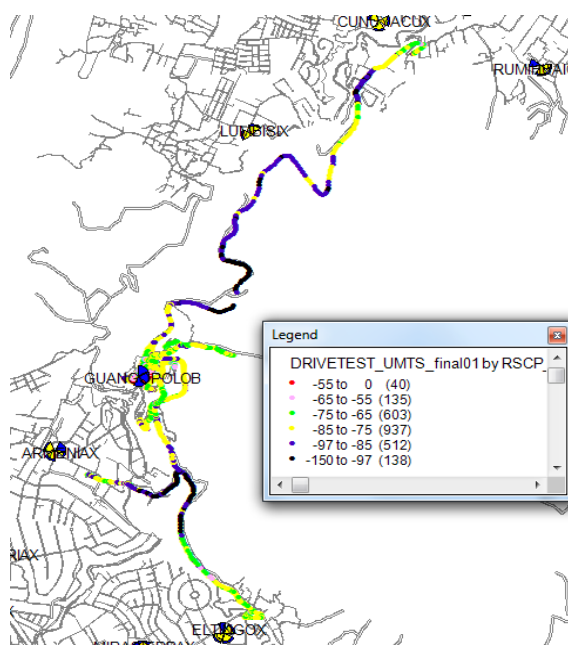
**Tabla 56**  
**Clasificación de muestras RSCP en recorrido Total Final**

RSCP Recorrido Total Final		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
Muestras	72.51%	94.16%

Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 72.51% de muestras RSCP con valores superiores a -85 dBm.

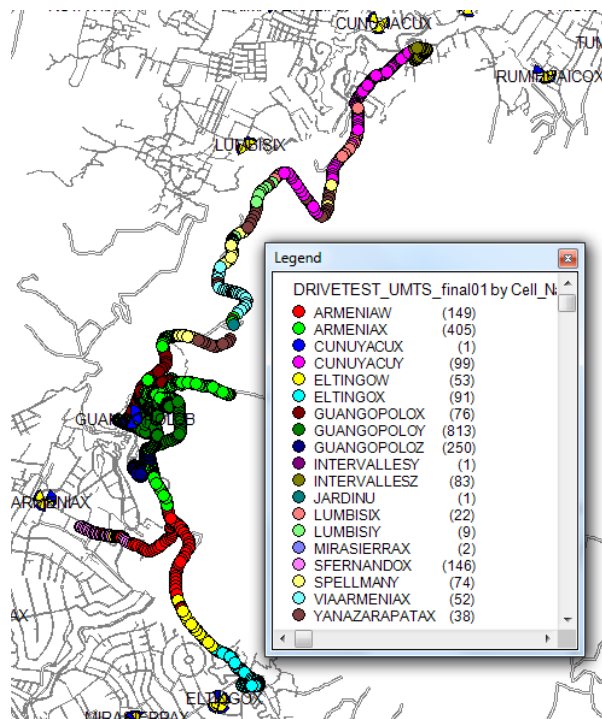
Analizando a nivel rural y carreteras, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 94.16% de muestras RSCP con valores superiores a -98 dBm.

En Figura 137 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro RSCP en el polígono de análisis vía Intervalles y Población de Guangopolo.



**Figura 137 Plot de muestras RSCP en recorrido total final**

Con las muestras tomadas, se identificó 19 sectores servidores a lo largo de todo el recorrido.



**Figura 138 plot de muestras NodosB servidores en recorrido total final**

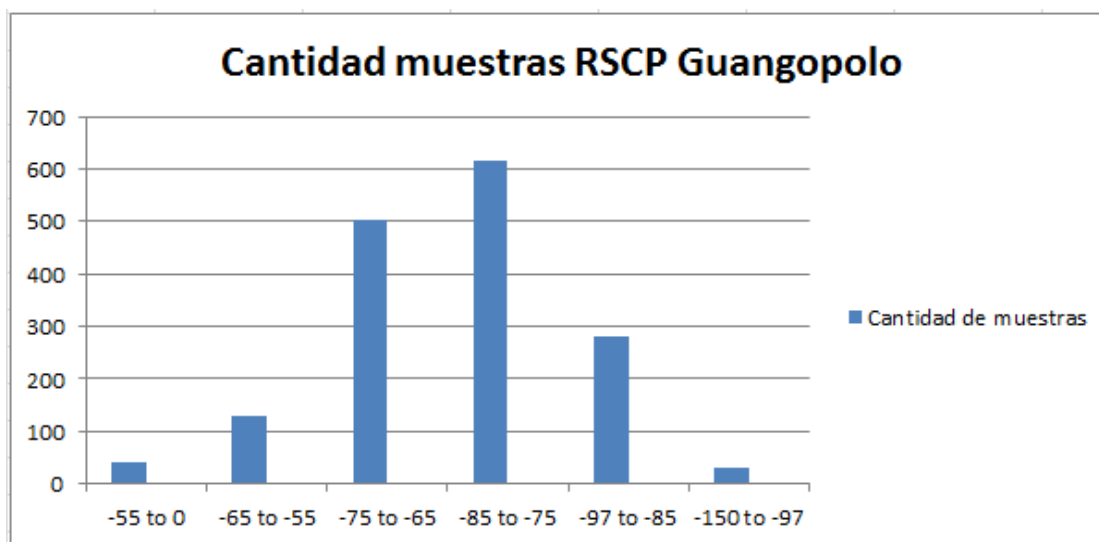
En la ruta Suroriental de la vía Intervalles con dirección a la parroquia El Tingo, se ha establecido como servidores definidos a los nuevos sectores ARMENIAW & ELTINGOW, con muestras de potencia superiores a los -85 dBm.

En la ruta Nororiental de la vía Intervalles, al no ser implementados los sectores adicionales en radiobase LUMBISI, los niveles de RSCP siguen por debajo el umbral establecido para zonas urbanas, sin embargo, a nivel rural y de carretera si cumplen con dichos umbrales.

## Recorrido en Guangopolo

**Tabla 57**  
**Muestras RSCP en Guangopolo final**

Colores	Rangos (dBm)	Cantidad de muestras
rojo	-55 to 0	40
rosa	-65 to -55	128
verde	-75 to -65	503
amarillo	-85 to -75	616
azul	-97 to -85	280
negro	-150 to -97	29



**Figura 139 Muestras RSCP en recorrido Guangopolo final**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

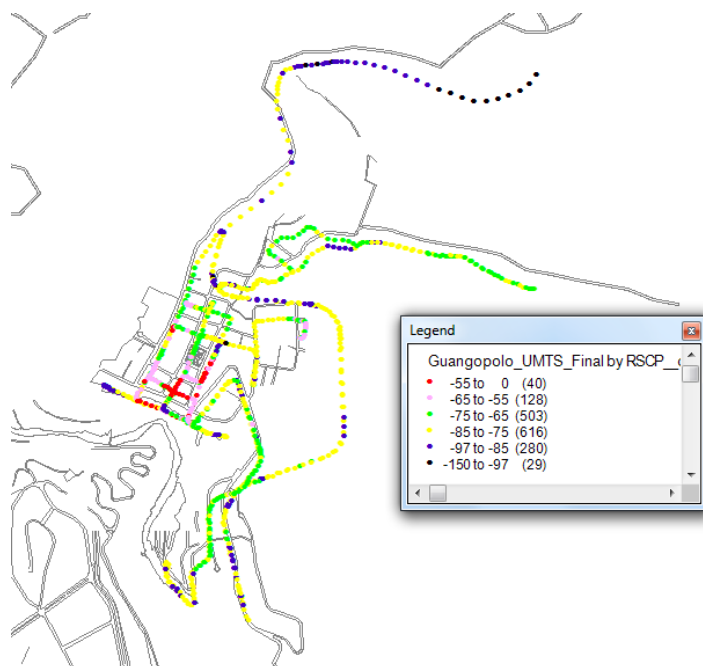
**Tabla 58**  
**Clasificación de muestras RSCP en recorrido Guangopolo final**

RSCP Recorrido Guangopolo Final		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
Muestras	80.63%	98.18%

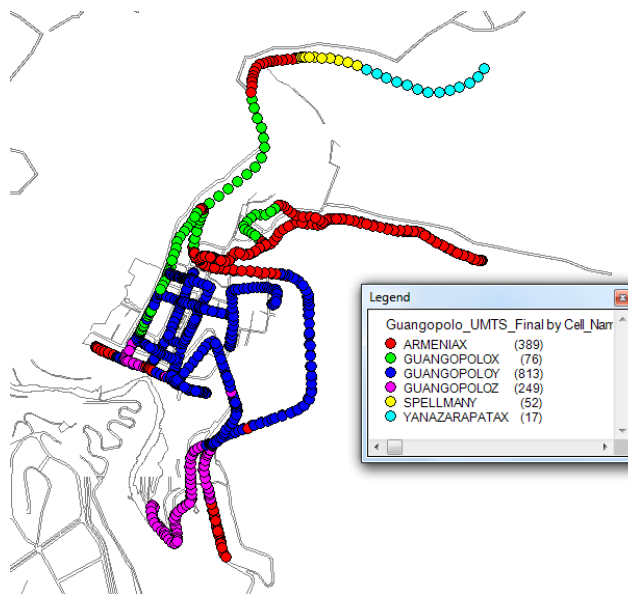
Analizando a nivel urbano, no se cumple con el valor objetivo, al tener el 80.63% de muestras RSCP con valores superiores a -85 dBm.

Analizando a nivel rural y carreteras, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 98.18% de muestras RSCP con valores superiores a -98 dBm.

En la Figura 140 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro RSCP en el polígono de análisis de la Población de Guangopolo.



**Figura 140** Plot de muestras RSCP en recorrido Guangopolo final



**Figura 141 Plot de muestras NodosB servidores en Guangopolo final**

Dentro de la población se logró conseguir que los nuevos sectores implementados sean los servidores definidos, con buenos niveles de potencia como se muestra en Figura 141.

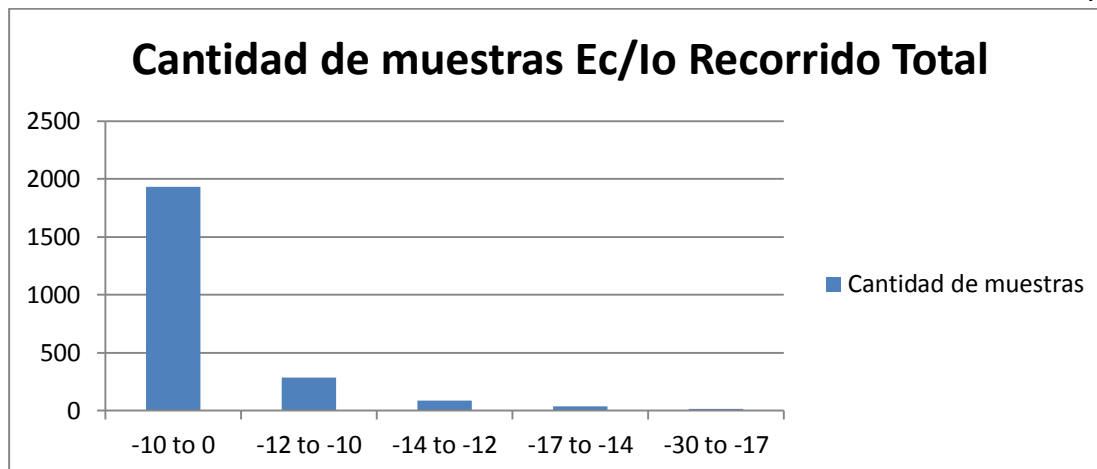
## ANÁLISIS DE CALIDAD

Del log del recorrido se extrae la información correspondiente al parámetro Ec/Io.

### Recorrido Total (Intervalles + Guangopolo)

**Tabla 59**  
**Muestras Ec/Io recorrido total final**

Colores	Rangos (dB)	Cantidad de muestras
rojo	-10 to 0	1935
naranja	-12 to -10	285
verde	-14 to -12	90
amarillo	-17 to -14	39
negro	-30 to -17	16



**Figura 142 Muestras Ec/lo recorrido total final**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

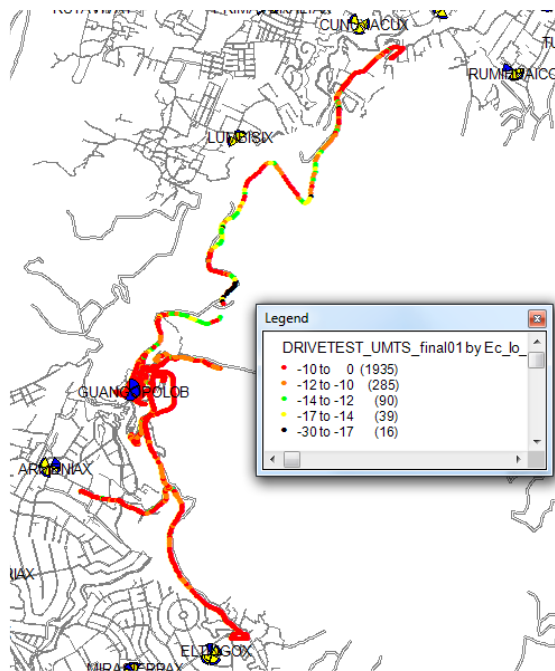
**Tabla 60 Clasificación de muestras Ec/lo en recorrido total final**

Ec/lo Recorrido Total Final		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -14 dB	90% muestras $\geq$ -17 dB
Muestras	97.67%	99.32%

Analizando a nivel urbano, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 97.67% de muestras Ec/lo con valores superiores a -14 dB.

Analizando a nivel rural y carreteras, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 99.32% de muestras Ec/lo con valores superiores a -17 dB.

En Figura 143 se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro Ec/lo en el polígono de análisis vía Intervalles y Población de Guangopolo.



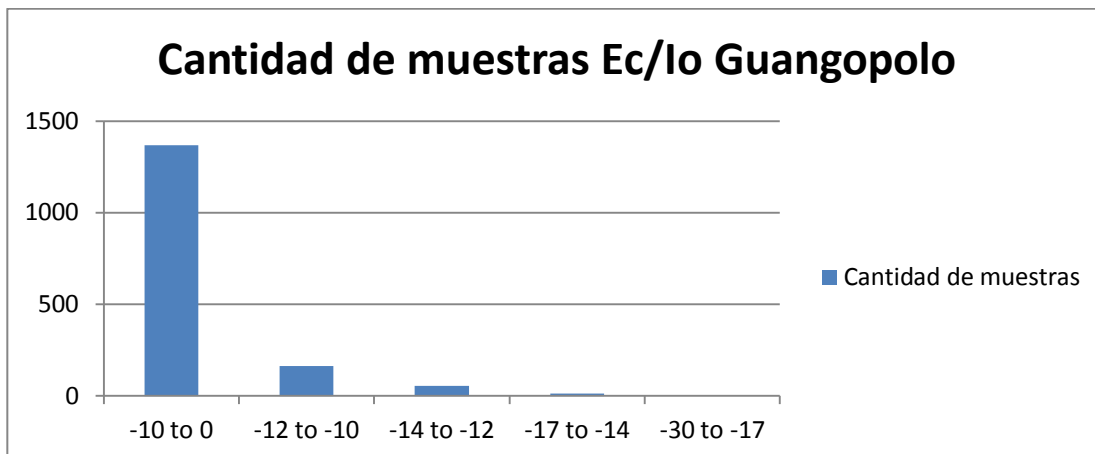
**Figura 143 Plot de Muestras Ec/lo en recorrido total final**

**Recorrido en Guangopolo**

**Tabla 61  
Muestras Ec/lo en Guangopolo final**

Colores	Rangos (dB)	Cantidad de muestras
rojo	-10 to 0	1367
naranja	-12 to -10	163
verde	-14 to -12	53
amarillo	-17 to -14	13
negro	-30 to -17	0





**Figura 144 Muestras Ec/lo en Guangopolo final**

Tomando como referencia lo expuesto en el Contrato de Concesión Anexo 5.9, las muestras tomadas en el recorrido se pueden clasificar como se muestra en la siguiente tabla:

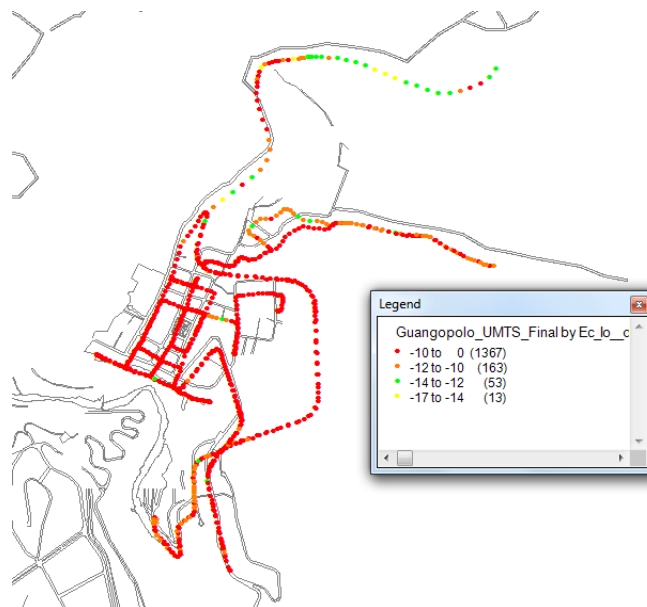
**Tabla 62**  
**Clasificación de muestras Ec/lo Recorrido Guangopolo final**

Ec/lo Recorrido Guangopolo Final		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -14 dB	90% muestras $\geq$ -17 dB
Muestras	99.18%	100%

Analizando a nivel urbano, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 99.18% de muestras Ec/lo con valores superiores a -14 dB.

Analizando a nivel rural y carreteras, si se cumple con el valor objetivo, al tener el 100% de muestras Ec/lo con valores superiores a -17 dB.

En Figura 145, se muestra de forma gráfica la distribución de muestras del parámetro Ec/lo en el polígono de análisis de la población de Guangopolo.



**Figura 145 Plot de Muestras Ec/Io en Guangopolo final**

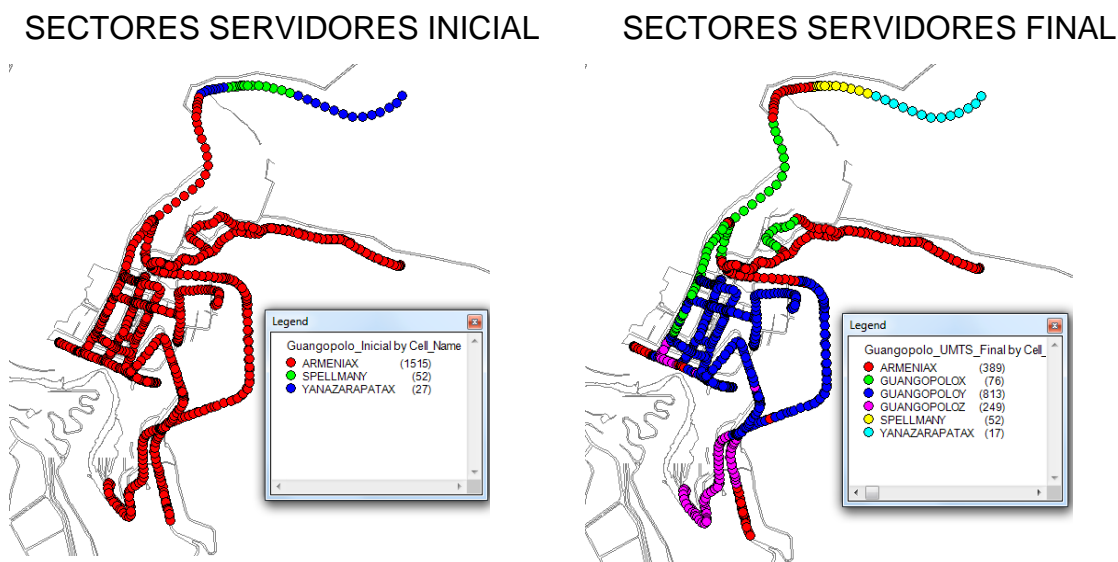
#### **5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS COMPARANDO CON EL ESTADO INICIAL DE COBERTURA CELULAR.**

Con la implementación de la Radiobase GUANGOPOLO UMTS y la inclusión de los sectores adicionales ELTINGOW & ARMENIAW existe mejora en cuanto a niveles de potencia censados por el terminal móvil y la calidad de la señal para establecer el canal de comunicación en el polígono de análisis comprendido por la vía Intervalles y población de Guangopolo con respecto al recorrido inicial.

##### **5.4.1 Población de Guangopolo**

Para la población de Guangopolo en un inicio el servidor definido en esta zona fue ARMENIAX, con bajos niveles de potencia y calidad. La puesta en servicio de la radiobase GUANGOPOLO sirvió para establecer servidores definidos zonificados.

Como se puede observar en la Figura 146, la mayoría de muestras recolectadas en el Drive Test final, dentro de la población de Guangopolo, corresponden a los sectores GUANGOPOLOX, GUANGOPOLOY, GUANGOPOLOZ y adicional se observa la presencia del sector ARMENIAX, que fue direccionado hacia los 60° para satisfacer las necesidades de cobertura en la parte alta de la ladera del cerro Ilaló.



**Figura 146 Plot celdas servidoras inicial y final en Guangopolo**

A nivel de potencia de RSCP se tiene la siguiente comparación mostrada en la Tabla 63.

**Tabla 63**  
**Muestras RSCP inicial y final en Guangopolo**

Colores	Rangos	DT UMTS	DT UMTS
		Inicial	Final
rojo	-55 to 0	0	40
rosa	-65 to -55	0	128
verde	-75 to -65	0	503
amarillo	-85 to -75	336	616
azul	-97 to -85	1010	280
negro	-150 to -97	248	29

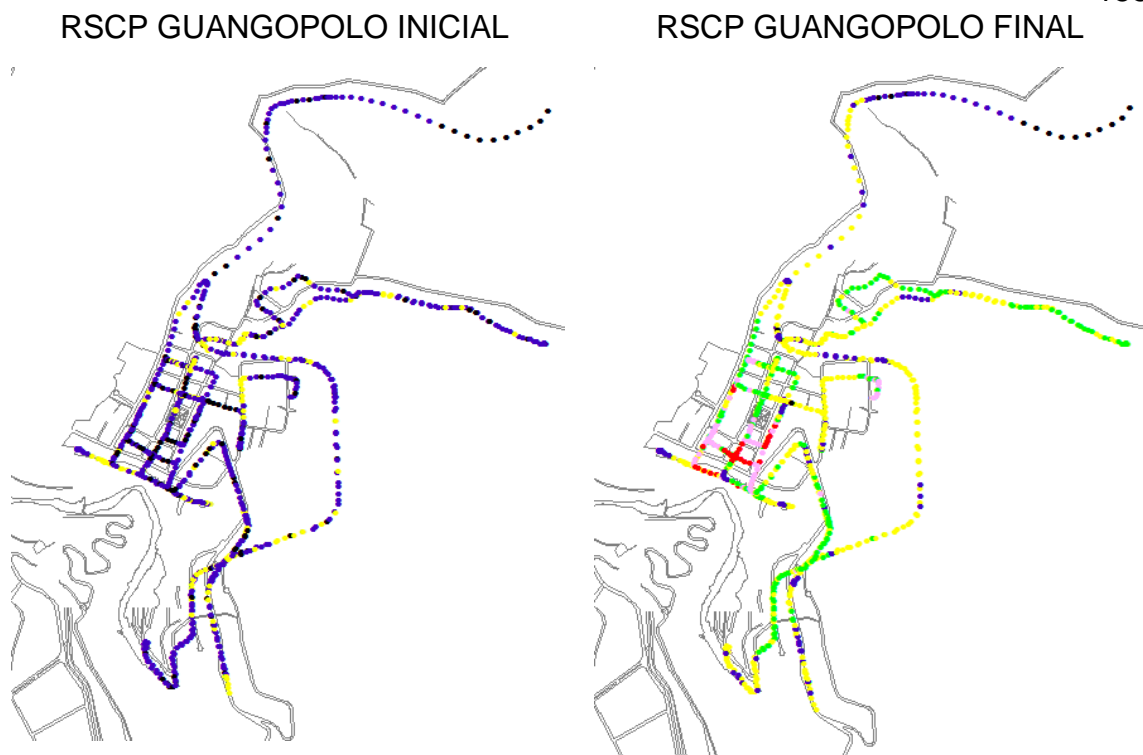


Figura 147 Plot RSCP inicial y final en Guangopolo

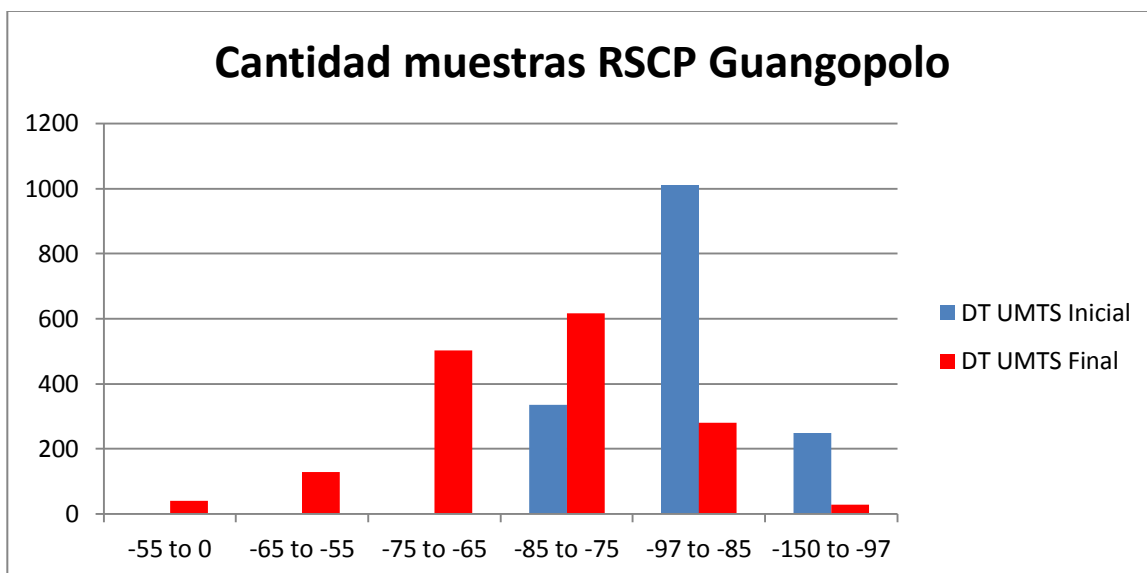


Figura 148 Muestras RSCP inicial y final en Guangopolo

EL 59.56% de las muestras de RSCP en el recorrido final han sido repotenciadas superando el umbral de -85 dBm recomendado por Arcotel para zonas urbanas, con respecto a la muestra inicial.

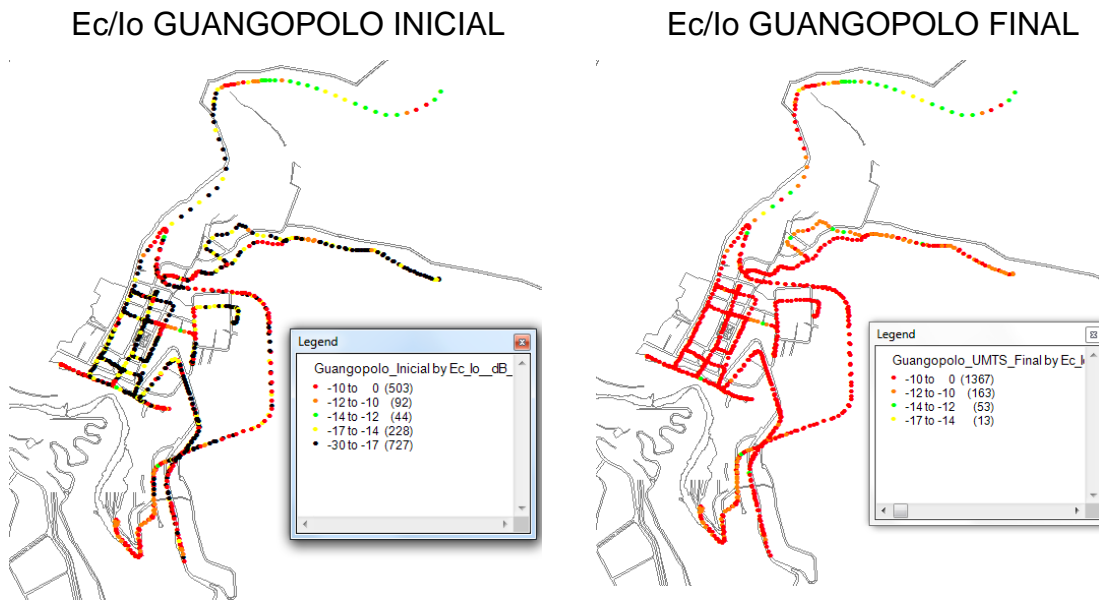
**Tabla 64**  
**Clasificación RSCP inicial y final en Guangopolo**

RSCP Recorrido Guangopolo		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
INICIAL	21.07%	84.44%
FINAL	80.63%	98.18%

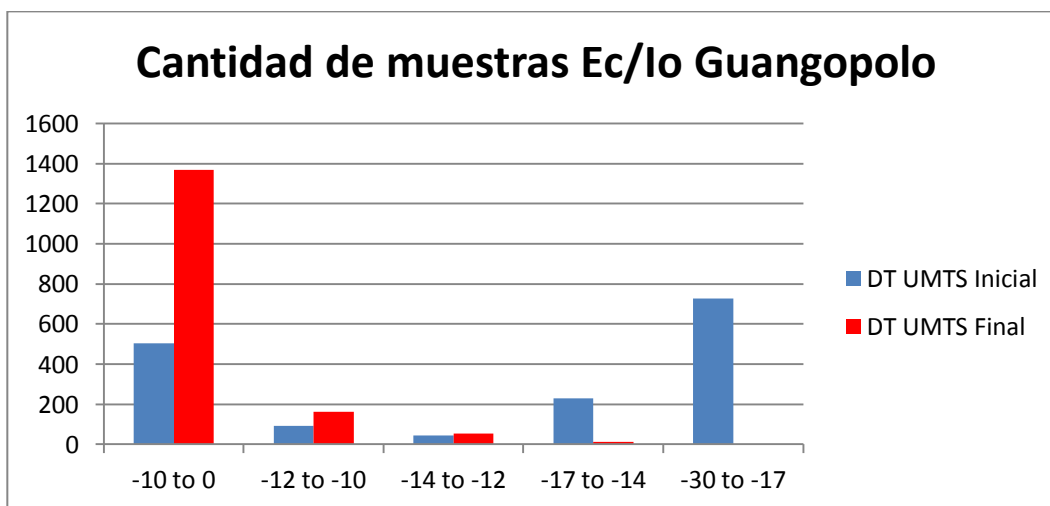
A nivel de Calidad Ec/lo se tiene la siguiente comparación mostrada en Tabla 65.

**Tabla 65**  
**Muestras Ec/lo inicial y final en Guangopolo**

Colores	Rangos	DT UMTS Inicial	DT UMTS Final
rojo	-10 to 0	503	1367
naranja	-12 to -10	92	163
verde	-14 to -12	44	53
amarillo	-17 to -14	228	13
negro	-30 to -17	727	0



**Figura 149 Plot Ec/Io inicial y final en Guangopolo**



**Figura 150 Muestras Ec/Io inicial y final en Guangopolo**

**Tabla 66**  
**Clasificación Ec/Io inicial y final en Guangopolo**

<b>Ec/Io Recorrido Guangopolo</b>		
<b>Item</b>	<b>Urbano</b>	<b>Rural y carreteras</b>
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -14 dB	90% muestras $\geq$ -17 dB
INICIAL	40.08%	54.39%
FINAL	99.18%	100%

Al tener servidores definidos con buenos niveles de potencia, el incremento en la calidad de señal se ve reflejado de forma directa, cumpliendo con los umbrales establecidos por el regulador tanto en la clasificación urbana como rural.

El 59.1% de las muestras de Ec/Io en el recorrido final han sido repotenciadas superando el umbral de -14 dB recomendado por Arcotel para zonas urbanas, con respecto a la muestra inicial.

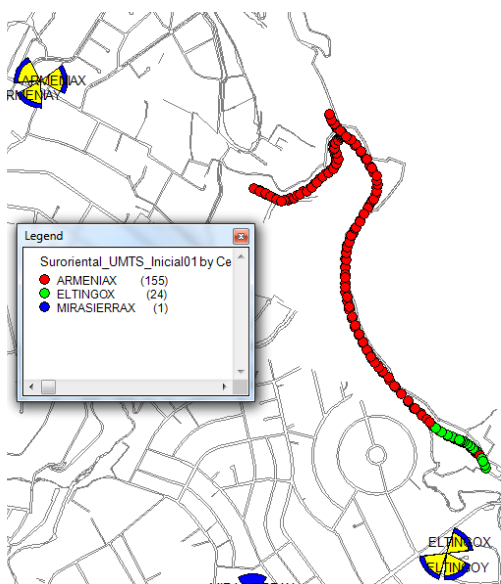
#### **5.4.2 Ruta Suroriental vía Intervalles**

La segunda zona intervenida es la ruta Suroriental de la vía Intervalles, tramo comprendido desde la Y (Guangopolo – Armenia – El Tingo) hasta la parroquia El Tingo.

En un inicio los servidores definidos en esta zona fueron ARMENIAX & ELTINGOX, sin embargo, no estaban directamente apuntados hacia la vía Intervalles.

Con la inclusión de los nuevos sectores ARMENIAW & ELTINGOW apuntados directamente hacia la vía Intervalles se logró tener mejores muestras de potencia y calidad como se lo puede observar en la Figura 160.

SERVIDORES SURORIENTAL  
INICIAL



SERVIDORES SURORIENTAL FINAL

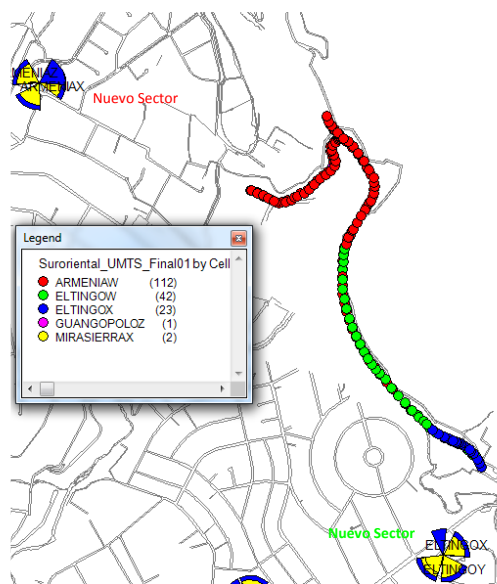


Figura 151 Plot de Servidores inicial y final ruta Sur Oriental Intervalles

A nivel de potencia de RSCP se tiene la siguiente comparación.

Tabla 67  
Muestras RSCP inicial y final en Intervalles Suroriental

Colores	Rangos	DT UMTS	
		Inicial	Final
rojo	-55 to 0	0	0
rosa	-65 to -55	0	3
verde	-75 to -65	1	23
amarillo	-85 to -75	24	54
azul	-97 to -85	99	54
negro	-150 to -97	56	46



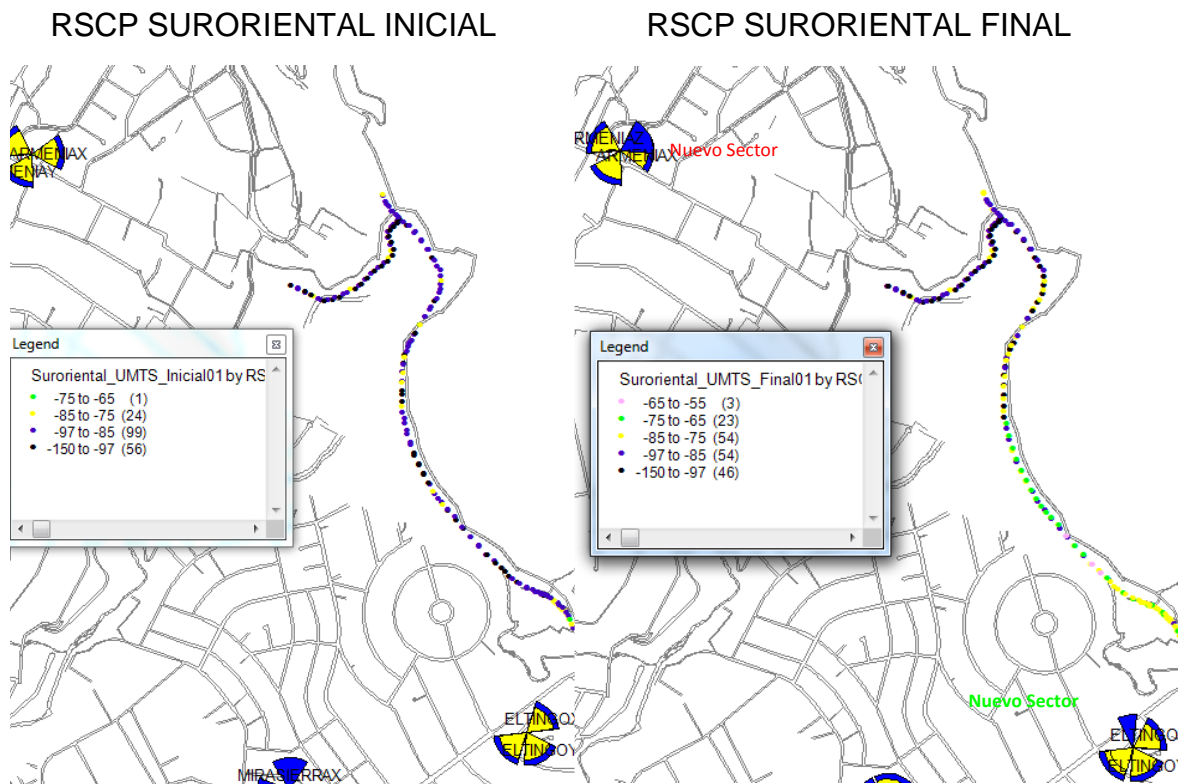


Figura 152 Plot RSCP inicial y final en Intervalles Suroriental

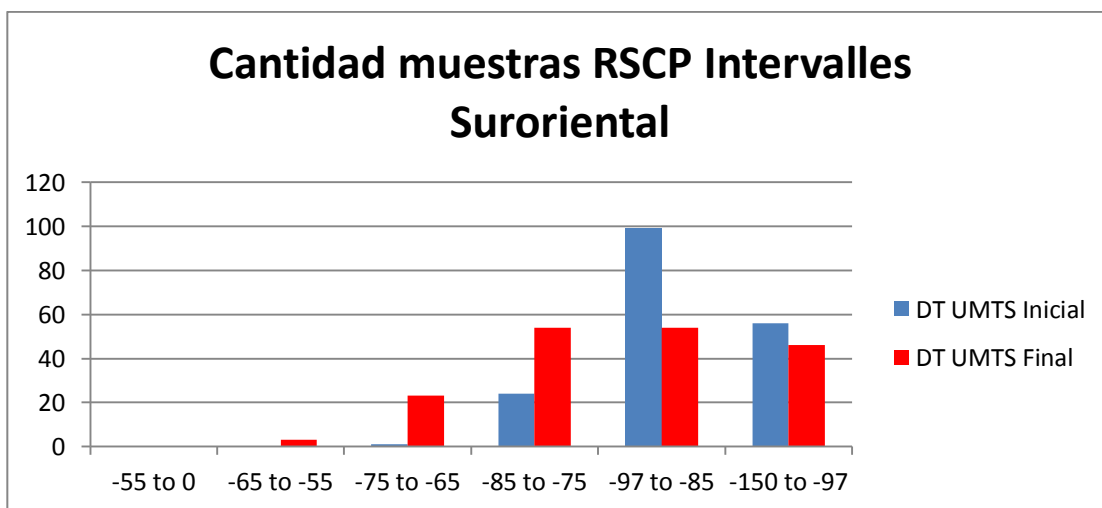


Figura 153 Muestras RSCP inicial y final en Intervalles Suroriental

El 30.61% de las muestras de RSCP en el recorrido final han sido repotenciadas, superando el umbral de -85 dBm recomendado por Arcotel para zonas urbanas, con respecto a la muestra inicial.

**Tabla 68**  
**Clasificación RSCP inicial y final en Intervalles Suroriental**

RSCP Recorrido Intervalles Suroriental		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras $\geq$ -85 dBm	90% muestras $\geq$ -98 dBm
INICIAL	13.83%	68.80%
FINAL	44.44%	74.44%

Las muestras que aún se encuentran por debajo de los -85 dBm corresponden a zonas que por su geografía y relieve topográfico impiden el paso de la señal celular.

MUESTRAS CON BAJO NIVEL RSCP



IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA

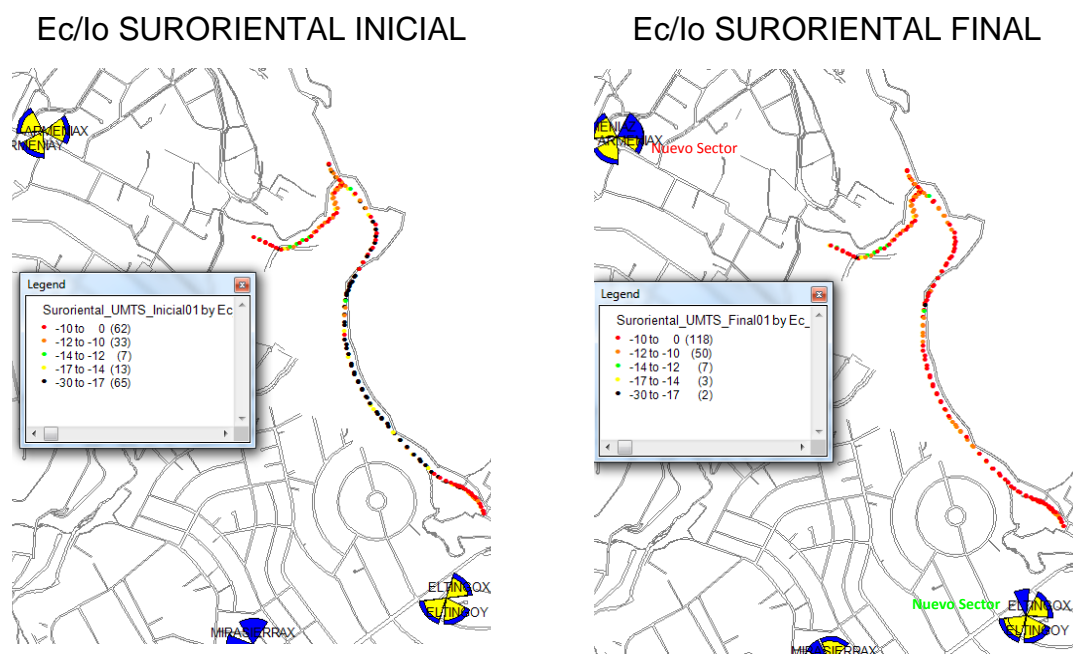


**Figura 154 Zonas con baja cobertura por su relieve topográfico.**

A nivel de Calidad Ec/Io se tiene la siguiente comparación.

**Tabla 69**  
**Muestras Ec/Io inicial y final en Intervalles Suroriental**

Colores	Rangos	DT UMTS Inicial	DT UMTS Final
rojo	-10 to 0	62	118
naranja	-12 to -10	33	50
verde	-14 to -12	7	7
amarillo	-17 to -14	13	3
negro	-30 to -17	65	2



**Figura 155 Plot Ec/Io inicial y final en Intervalles Suroriental**

Al tener servidores definidos con buenos niveles de potencia, el incremento en la calidad de señal se ve reflejado de forma directa, cumpliendo con los umbrales establecidos por el regulador Gráficamente dicho incremento se lo pudo ver en la Figura 155.

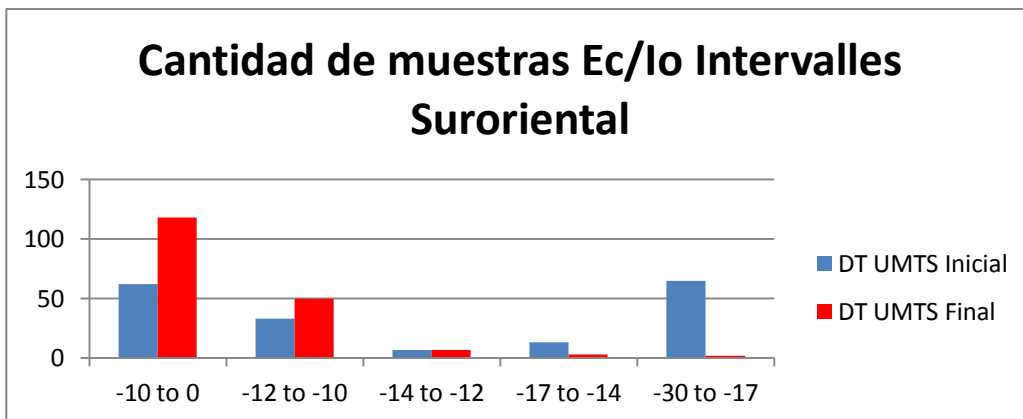


Figura 156 plot Ec/Io inicial y final en Intervalles Suroriental

Tabla 70  
Clasificación Ec/Io inicial y final en Intervalles Suroriental

Ec/Io Recorrido Intervalles Suroriental		
Item	Urbano	Rural y carreteras
Valor Objetivo	95% muestras ≥ -14 dB	90% muestras ≥ -17 dB
INICIAL	56.66%	63.88%

El 40.56% de las muestras de Ec/Io en el recorrido final han sido repotenciadas con respecto al recorrido inicial, superando el umbral de -14 dB recomendado por Arcotel para zonas urbanas.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

El Estado ecuatoriano, al concesionar las frecuencias a los operadores celulares, ha permitido el desarrollo de las tecnologías móviles en el país dando como resultado la implementación de 14,224 radiobases en todo el territorio nacional, datos reportados por la Arcotel corte Junio 2016.

El proceso de evaluación de desempeño de la red celular se puede apoyar en el análisis de estadísticas y KPI, sin embargo, estos indicadores no reflejan las falencias que se pueden percibir en campo, como relieves topográficos que obstaculizan la libre propagación de la señal celular.

El recorrido de Drive Test permitió identificar a nivel usuario las zonas de baja cobertura (muestras de RxLev & RSCP inferiores a -85dBm) que pueden existir en una ruta que no posee servidores celulares definidos por su forma y relieve.

Las rutas definidas para los recorridos de Drive Test, deben abarcar la mayor cantidad de calles a recorrer dentro de un polígono determinado, para así obtener la mayor cantidad de muestras posibles que servirán para realizar los análisis respectivos.

Mediante el adecuado post procesamiento de datos tomados en el Drive Test, es posible eliminar las muestras repetidas cuando el vehículo pasa por

más de una vez por la misma ruta, tendiendo un mejor muestreo de la información. Para este caso de estudio se validó que la distancia mínima entre muestras sea 10 m.

Con el re-direccionamiento del sector ARMENIAX hacia el azimut de 60° se logró distribuir de mejor forma la propagación de toda la radiobase ARMENIA, consiguiendo obtener mejores niveles de señal en la ladera del cerro Ilaló y en la vía Intervalles.

Tanto para la población de Guangopolo como para la ruta Suroriental de la vía Intervalles, se han establecido servidores definidos de cobertura celular, mejorando los niveles de potencia y calidad de señal celular sobre sus objetivos.

En el polígono de análisis Guangopolo, con la implementación de la nueva radiobase UMTS, se consiguió que el 98.18% de las muestras de RSCP superen el valor de -98 dBm y el 100% de las muestras de Ec/Io superen el umbral de -17 dB, umbrales mínimos de cobertura y calidad establecidos para zonas rurales por parte del regulador.

En el polígono de análisis ruta Suroriental de la vía Intervalles, con la implementación de los nuevos sectores celulares UMTS ARMENIAW & ELTINGOW, se consiguió que el 74.44% de las muestras de RSCP superen el valor de -98 dBm y el 98.88% de las muestras de Ec/Io superen el umbral de -17 dB, umbrales mínimos de cobertura y calidad establecidos para zonas rurales por parte del regulador.

Debido a la sinuosidad de la vía Intervalles y los relieves de perfil que esta presenta al estar en las faldas del cerro Ilaló, aún existen zonas con baja cobertura celular. Para mitigar esta deficiencia se debería plantear proyectos de implementación de repetidores celulares o remotización de sectores.

El uso de antenas de 65° permite tener una mancha de propagación horizontal más amplia, siendo empleadas por lo general en sectores de nueva cobertura, tal es el caso de los sectores de la nueva radiobase GUANGOPOLO y el nuevo sector ARMENIAW.

El uso de antenas de 33° permite tener una mancha de propagación horizontal más reducida, siendo empleadas generalmente en procesos de optimización. Tal es el caso del nuevo sector ELTINGOW cuyo objetivo es servir la ruta Suroriental de la vía Intervalles.

El sistema DBS3900 al ser modular, se adapta fácilmente a las necesidades de despliegue de tecnologías celulares únicamente con la adición de tarjetas UMPT, UBBP, GTMU y RRU.

## 6.2 RECOMENDACIONES

En toda fase de diseño se requiere la simulación de predicciones de cobertura, para pre validar si la configuración propuesta cumplirá con los objetivos planteados.

Instalación de la tecnología GSM en la radiobase GUANGOPOLO para tener mejores muestras de cobertura 2G.

Instalación de los sectores GSM/UMTS LUMBISIZ para mejorar los niveles de cobertura en la ruta Nororiental de la vía Intervalles. Proyecto planificado para el primer trimestre del año 2017.

Realizar las gestiones pertinentes con el propietario de la estructura en GUANGOPOLO con el fin de incrementar la altura de las antenas celulares para mejorar la propagación de señal en zonas de baja cobertura debido a relieve topográfico.

Cambio de modelo de antena del sector Z GUANGOPOLO, hacia el modelo de 33° para tener mejor directividad del lóbulo de radiación principal, mayor ganancia y penetración hacia la zona de la Y (Armenia – Guangopolo – El Tingo).



Se requiere ejecutar una etapa de ***initial tuning*** (optimización de parámetros lógicos de configuración de radiobases y cambios físicos en antenas) debido al incremento de sectores servidores celulares en la zona y así controlar propagaciones lejanas e interferencias.

Realizar de forma periódica recorridos de Drive Test para tener un buen control de propagación de las celdas celulares y verificar la calidad de servicio que ofrece la operadora celular en post de sus usuarios.

**BIBLIOGRAFÍA**

- 3GPP. (2017). *3GPP*. Recuperado el 2017 de 2016, de <http://www.3gpp.org/specifications/gsm-history>
- ARCOTEL. (s.f.). *Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Recuperado el Julio de 2016, de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- Berardi, G. (2012). *Comunicaciones Inalámbrica Telefonía Celular*.
- Bettstetter, C., & Hartmann, C. (2009). *GSM Architecture, Protocols and Services*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Brunella, O. (2016). *ORT*. Obtenido de <http://campus.ort.edu.ar/articulo/297416/telefonía-celular>
- Chevallier, C., Brunner, C., & Garavaglia, A. (2006). *WCDMA (UMTS)*. West Sussex : John Wiley & Sons Ltd.
- Commscope. (2017). *Commscope*. Obtenido de [http://www.commscope.com/catalog/wireless/product\\_details.aspx?id=15601](http://www.commscope.com/catalog/wireless/product_details.aspx?id=15601)
- DragonByte Technologies Ltd. (2017). *Telecomfunda*. Obtenido de <http://telecomfunda.com/forum/showthread.php?22800-Comparison-between-mechanical-and-electrical-tilt>
- Holma, H., & Toskala, A. (2004). *WCDMA FOR UMTS*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Holma, H., & Toskala, A. (2006). *HSDPA / HSUPA FOR UMTS*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Holma, H., & Toskala, A. (2007). *WCDMA FOR UMTS*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Holma, H., & Toskala, A. (2009). *LTE FOR UMTS*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- HUAWEI. (2017). HEDEX.
- Jelsoft Enterprises. (2017). *Finetopix*. Obtenido de [http://www.finetopix.com/showthread.php/31739-What-is-Antenna-Electrical-and-Mechanical-Tilt-\(and-How-to-use-it\)](http://www.finetopix.com/showthread.php/31739-What-is-Antenna-Electrical-and-Mechanical-Tilt-(and-How-to-use-it))

- Kaaranen, H., & Ahtianen, A. (2005). *UMTS NETWORKS*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. (S/F). *Ministerio de Telecomunicaciones y Soxiedad de la Información*.  
Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/>
- Nokia. (1998). *Systra: Trainig Material*.
- Radio Electronics. (s.f.). *Radio Electronics*. Recuperado el Diciembre de 2016, de <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/umts-wcdma-network-architecture.php>
- Readbag. (2015). *Readbag.com*. Obtenido de <http://www.readbag.com/a2dcorp-us-pdf-kathrein-742266>
- Sauter, M. (2014). *FROM GSM TO LTE-ADVANCED*. Chichester: Jonh Wiley and Sons Ltd.
- Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda STHV. (s.f.). *Quito Alcaldía*.  
Obtenido de <http://sthv.quito.gob.ec/images/indicadores/Barrios/guangopolo.jpg>
- Secretaría Nacional de Información. (2014). *Secretaría NAcional de Información*. Recuperado el JULIO de 2016, de <http://sni.gob.ec/web/menu>
- Sesia, S., & Toufik, I. (2009). *LTE: The UMTS Long Term Evolution*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- UNAD. (2016). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201493/CONTENIDO%20DIDACTICO%20EXE1/leccion\\_11\\_como\\_funcionan\\_los\\_dispositivos\\_moviles.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201493/CONTENIDO%20DIDACTICO%20EXE1/leccion_11_como_funcionan_los_dispositivos_moviles.html)
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia*. Recuperado el Julio de 2016, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Telecomunicaciones\\_en\\_la\\_Rep%C3%BAblica\\_del\\_Ecuador](https://es.wikipedia.org/wiki/Telecomunicaciones_en_la_Rep%C3%BAblica_del_Ecuador)
- Xybernetics Inc. (2006). *Xybernetics*. Obtenido de <http://www.xybernetics.com/techtalk/WirelessNetworks/WirelessNetworks.html>