

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES EXTERNOS EN LA QoS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN ALGUNAS ZONAS DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA Y PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA QoS

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y REDES DE INFORMACIÓN**

LILIANA RAQUEL GUANGA BALDEÓN

lylyraquel_18@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO WILLIAM HIDALGO LASCANO

phidalgo@ieee.org

Quito, enero 2014

DECLARACIÓN

Yo, Liliana Raquel Guanga Baldeón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Liliana R. Guanga B.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Liliana Raquel Guanga Baldeón, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Hidalgo L
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen que desde el cielo han guiado mis pasos, gracias por permitirme nacer en esta familia y por permitirme llegar a esta instancia del camino alcanzando lo que desde niña soñé.

Gracias a mis padres y hermanos por la semilla que sembraron en mi, por enseñarme que hay que luchar para alcanzar los objetivos que uno se plantea en la vida. Por Uds. he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, mil gracias por ser los centinelas en cada uno de los pasos de mi existencia.

A la EPN y todos quienes formaron parte de mi formación profesional, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por los conocimientos que me transmitieron en el desarrollo de mi vida universitaria.

Al Ingeniero Pablo Hidalgo porque aparte de guiarme sabiamente en este Proyecto de Titulación, me ha escuchado con paciencia y ha tenido las palabras precisas para levantarme los ánimos en los momentos de flaqueza.

Un agradecimiento especial al apoyo y facilidades brindadas por la SUPERTEL para el desarrollo de este proyecto, de manera especial a la Unidad de Prestación de Servicios en la persona del Ingeniero Juan Carlos González, el principal promotor para el desarrollo del presente proyecto.

Mil gracias a la Flia. Valle Avendaño, de manera especial a la Dra. Teresa Valle Avendaño por abrirme las puertas de su casa y permitirme formar parte de su familia durante la realización de este sueño.

A toda mi familia, ejemplo de lucha y perseverancia, a todos quienes me han dado ánimos, han confiado y creído en mí: Nili, Silvy, Adri, Rodry, Juanita y Xime mil gracias por su preocupación y palabras de aliento para no desmayar nunca durante este camino.

A mis compañeras y amigas de estudio Angie Granda y Lucy Rodríguez, gracias por su amistad sincera, largas conversas y esas incontables amanecidas de estudio. Gracias también a mis amigos: Daniel Núñez, Fabricio Falconí y Jorge Guijarro quienes han caminado conmigo durante la etapa colegial y universitaria.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios y la Virgen María por el don de la vida y por permitirme llegar a este momento especial.

A mis padres, Teresa y Oswaldo, por ser los coautores de todo este proceso, por su amor, entrega, trabajo y sacrificio durante estos años, por su lucha insaciable y tenacidad que me ha permitido realizar una de mis grandes metas la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

A mis hermanos Gonzalo, Fabián y Marcelo por ser mi ejemplo a seguir, por ayudarme cada día a cruzar con firmeza el camino de la superación y porque con su apoyo y aliento hoy he logrado uno de mi más grandes anhelos.

A mis queridas sobrinas: Marcela Alejandra, Camila Jamileth e Ivanna Lisbeth, pequeñas que con sus primeras palabras y ocurrencias han alegrado mis días, quienes también me enseñaron que con sonrisas sinceras y abrazos apachurradores se puede manifestar un amor verdadero.

A toda mi familia paterna quienes siempre se han preocupado y estado pendiente de mí, en especial al cariño imperecedero de mis tíos Graciela y Aníbal.

Hace muy poco una persona muy importante se fue de mi lado, mi querida Mamita Carmen, la obtención de este título va dedicado para Ud., mil gracias por cada uno sus abrazos, eternas sonrisas y por el hermoso recuerdo que dejó en mí, sé que desde el cielo con una gran sonrisa en su rostro plasma el inmenso cariño y felicidad por este triunfo.

A toda mi familia materna para que el recuerdo de Mamita Carmen sea el pilar de la familia y nos permita estar unidos a pesar de las grandes distancias que nos separan, dedicado con un cariño especial a la familia Baldeón Fajardo y Baldeón Martínez.

Y no por mencionarlas al último dejan de ser las más importantes, mis mejores amigas, primas y hermanas: Marie, Mary, Sandrita, esto va dedicado a los mejores momentos que hemos vividos juntas, a nuestras tristezas compartidas y a cada una de nuestras complicidades. Por Uds SOY LO QUE SOY...!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
ANEXOS	XVI
RESUMEN.....	XVII
PRESENTACIÓN	XVIII

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
SERVICIO MÓVIL AVANZADO: GENERALIDADES, SITUACIÓN ACTUAL, PROPAGACIÓN y QoS.....	1
1.1. GENERALIDADES DE LA COMUNICACIÓN CELULAR	1
1.1.1. CONCEPTO CELULAR	1
1.1.2. TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE.....	3
1.1.3. MÉTODOS DÚPLEX.....	7
1.1.4. EFICIENCIA ESPECTRAL VS. EFICIENCIA DE CANAL	9
1.1.5. MOVILIDAD.....	9
1.2. EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÓVIL CELULAR	10
1.2.1. PRIMERA GENERACIÓN (1G).....	10
1.2.2. SEGUNDA GENERACIÓN (2G)	11
1.2.3. GENERACIÓN 2.5 – EVOLUCIÓN A LA TERCERA GENERACIÓN.....	11
1.2.4. TERCERA GENERACIÓN (3G).....	12
1.2.5. GENERACIÓN 3.5 – EVOLUCIÓN A LA CUARTA GENERACIÓN	12
1.2.6. CUARTA GENERACIÓN (4G).....	13

1.3. SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN EL ECUADOR	14
1.3.1. SITUACIÓN REGULATORIA ACTUAL DEL SMA EN EL ECUADOR	15
1.3.1.1. Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL)	15
1.3.1.2. Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL)	16
1.3.1.3. Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL)	16
1.3.1.4. Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL)	16
1.3.2. CONCESIONARIOS PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MOVIL AVANZADO EN EL ECUADOR	17
1.3.2.1. CONECEL S.A. (CLARO)	17
1.3.2.2. OTECEL S.A. (MOVISTAR)	18
1.3.2.3. CNT E.P. (CNT MÓVIL)	18
1.3.3. TECNOLOGÍAS MÓVILES 2G HASTA 3G QUE COEXISTEN EN ECUADOR.....	23
1.3.3.1. Estándares Europeos	25
1.3.3.1.1. GSM (Global System Mobile)	25
1.3.3.1.2. GPRS (General Packet Radio Service) y EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)	31
1.3.3.1.3. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)	33
1.3.3.2. Estándares Americanos	38
1.3.3.2.1. CDMA 2000 1xRTT (1x Radio Transmission Technology) / IS-95C	39
1.3.3.2.2. CDMA 2000 1xEV-DO (1x Evolution-Data Optimized) / IS-856	39
1.4. PROPAGACIÓN DE ONDAS DE RADIO.....	43
1.4.1. PARÁMETROS DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA	44
1.4.2. PROPIEDADES DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA.....	45
1.4.3. PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN (ATENUACIÓN)	47
1.4.4. PROBLEMAS DE PROPAGACIÓN EN COMUNICACIONES MÓVILES	49
1.4.4.1. Multicaminos (Multipath)	50
1.4.5. MODELOS DE PROPAGACIÓN PARA COMUNICACIONES MÓVILES.....	55
1.4.5.1. Okumura	58
1.4.5.2. Okumura – Hata	60
1.4.5.3. Cost-231 – Hata	62
1.4.5.4. COST 231 – Walfisch – Ikegami	63
1.5. CALIDAD DE SERVICIO (QoS)	67
1.5.1. TERMINOLOGÍA BÁSICA.....	67
1.5.2. CALIDAD DE SERVICIO (QoS) Y CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED (NP).....	68
1.5.3. PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DE SERVICIO (QoS)	69
1.5.4. ASPECTOS TÉCNICOS Y NO TÉCNICOS DE LA QoS.....	71

CAPÍTULO 2	73
EVALUACIÓN DE LOS FACTORES EXTERNOS QUE AFECTAN A LA QoS DE LA REDES DE SMA (2G Y 3G) EN BASE A PRUEBAS EN UN AMBIENTE REAL	73
2.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA QoS DEL SMA.....	73
2.1.1. SENTIDO RECORRIDO Y VELOCIDAD.....	73
2.1.2. CLIMA Y VEGETACIÓN	76
2.1.3. EQUIPO Y TERMINALES DE MEDIDA.....	80
2.2. SISTEMAS Y HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN	81
2.2.1. HERRAMIENTAS DE MEDIDA DE LA SEÑAL DE RADIO	81
2.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA EMPLEADOS POR LA SUPERTEL	82
2.2.2.1. Metodología de medición	82
2.2.2.2. Procedimiento de medición.....	82
2.2.2.3. Equipamiento utilizado	84
2.2.2.4. Post-procesamiento de las mediciones efectuadas.....	91
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE MEDICIÓN	93
 CAPÍTULO 3	 98
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA QoS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO	98
3.1. INTRODUCCIÓN	98
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	101
3.2.1. HORARIO	101
3.2.2. CLIMA.....	111
3.2.3. TIPO DE TERMINALES	121
3.2.4. VELOCIDAD	127
3.2.5. SENTIDO DE RECORRIDO	134
3.3. PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA QoS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO	136

CAPÍTULO 4	145
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
4.1. CONCLUSIONES	145
4.2. RECOMENDACIONES	147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Concepto celular	1
Figura 1. 2: Reuso de frecuencias	2
Figura 1. 3: Tipo de celdas	3
Figura 1. 4: Técnicas de acceso múltiple	3
Figura 1. 5: Técnica de acceso múltiple SDMA	6
Figura 1. 6: Técnica de acceso múltiple OFDMA	7
Figura 1. 7: Método dúplex TDD	8
Figura 1. 8: Método dúplex FDD	8
Figura 1. 9: Organismos de Regulación y Control de Telecomunicaciones	15
Figura 1. 10: Logotipo, dirección web y tecnologías que ofrece Claro	18
Figura 1. 11: Logotipo, dirección web y tecnologías que ofrece Movistar.....	18
Figura 1. 12: Logotipo, dirección web y tecnologías que ofrece CNT	19
Figura 1. 13: Evolución del Mercado de Telefonía Móvil a junio del 2013	20
Figura 1. 14: Líneas activas de las Operadoras de SMA a junio del 2013.....	20
Figura 1. 15: Asignación de frecuencias en 850 MHz	21
Figura 1. 16: Bandas de frecuencia asignadas a las operadoras de SMA	23
Figura 1. 17: Evolución de Sistemas Digitales PLMN	23
Figura 1. 18: Bloques Funcionales de una red PLMN	25
Figura 1. 19: Equipo Terminal y Red de Acceso GSM	27
Figura 1. 20: Red de Núcleo GSM.....	29
Figura 1. 21: Red de Núcleo GSM/GPRS/EDGE	32
Figura 1. 22: Equipo Terminal y Red de Acceso UMTS	35
Figura 1. 23: Arquitectura de Red GSM/UMTS	36
Figura 1. 24: Arquitectura de red CDMA2000 1x	41
Figura 1. 25: Onda electromagnética	44
Figura 1. 26: Refracción	45
Figura 1. 27: Reflexión	46
Figura 1. 28: Difracción	46
Figura 1. 29: Interferencia	47
Figura 1. 30: Zonas de Fresnel	48

Figura 1. 31: Relación entre propagación y selectividad en tres diferentes dominios en un ambiente multitrayecto	49
Figura 1. 32: Desvanecimiento multitrayecto	50
Figura 1. 33: Interferencia constructiva e interferencia destructiva	51
Figura 1. 34: <i>Fading</i> plano	52
Figura 1. 35: <i>Fading</i> selectivo en frecuencia	53
Figura 1. 36: Desvanecimiento rápido	54
Figura 1. 37: Desvanecimiento lento	54
Figura 1. 38: Clasificación de los Modelos de Propagación	56
Figura 1. 39: Atenuación de un terreno cuasi regular vs. frecuencia	58
Figura 1. 40: Factor de corrección para diferentes tipos de terreno	59
Figura 1. 41: Parámetros para los modelos de propagación en macrocélulas	60
Figura 1. 42: Parámetros utilizados del modelo COST 231 – Walfisch – Ikegami	64
Figura 1. 43: Ángulo de incidencia ϕ	65
Figura 1. 44: Conceptos relacionados a la QoS y a la calidad de funcionamiento de la red	68
Figura 1. 45: Diferentes perspectivas de la QoS	70
Figura 1. 46: Aspectos técnicos y no técnicos de la QoS	71
Figura 1. 47: Fases del uso de servicio desde el punto de vista del cliente	71
Figura 2. 1: Fenómeno “signal dragging”	74
Figura 2. 2: Arrastre de señal en una trayectoria de 0.8 km ²	74
Figura 2. 3: Vector de convergencia en el cambio de dirección	76
Figura 2. 4: Atenuación específica debida a los gases	77
Figura 2. 5: Atenuación específica debida a la lluvia.....	78
Figura 2. 6: Trayecto radioeléctrico representativo en zona boscosa	79
Figura 2. 7: Atenuación específica en zona boscosa	80
Figura 2. 8: Equipos Invex 3G, a) Invex 3G chassis, b) Conexión de PC con Invex 3G chassis y PC con el software, c) Invex 3G-PC	85
Figura 2. 9: Ejemplo de un espacio de trabajo del software Invex.NxG	86
Figura 2. 10: Equipamiento utilizado para la evaluación de QoS del área de cobertura 2G y 3G en ambiente real	86
Figura 2. 11: Configuración en modo idle 2G para LGCU500.....	88
Figura 2. 12: Configuración en modo idle 3G para LGCU500.....	89

Figura 2. 13: Configuración en modo idle 2G para NOKIA 6230.....	89
Figura 2. 14: Configuración en modo idle CDMA para KYOCERA KX5	90
Figura 2. 15: Configuración en modo idle CDMA EVDO para KYOCERA KPC650	90
Figura 2. 16: Espacio de trabajo del software de post-procesamiento Interpreter	91
Figura 2. 17: Espacio de trabajo del software de post-procesamiento Gladiator	92
Figura 2. 18: Zona 8 (Quito)	94
Figura 2. 19: Zona 4 (Quito)	95
Figura 2. 20: Nayón.....	96
Figura 2. 21: Av. Simón Bolívar	97
Figura 2. 22: Carretera Machachi – Aloag.....	97
Figura 3. 1: Rxlevel de la tecnología GSM para las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 1	102
Figura 3. 2: Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 1	102
Figura 3. 3: Ec/Io de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 1	103
Figura 3. 4: Rxlevel de la tecnología GSM para las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 2	103
Figura 3. 5: Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 2	104
Figura 3. 6: Ec/Io de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 2	104
Figura 3. 7: Rxlevel de la tecnología GSM para CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 3	105
Figura 3. 8: Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 3	105
Figura 3. 9: Ec/Io de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 3	106
Figura 3. 10: Rxlevel de la tecnología GSM para CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 4	107
Figura 3. 11: Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 4	107

Figura 3. 12: Ec/Io de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 4	108
Figura 3. 13: Rxlevel de la tecnología GSM para CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 5	108
Figura 3. 14: Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 5	109
Figura 3. 15: Ec/Io de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 5	109
Figura 3. 16: Rxpower sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 1	111
Figura 3. 17: Rxpower sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 1.....	112
Figura 3. 18: Rxpower sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 1	112
Figura 3. 19: Ec/Io sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 1	113
Figura 3. 20: Ec/Io sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 1	113
Figura 3. 21: Ec/Io sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P. en el escenario 1	114
Figura 3. 22: Rxpower sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2	115
Figura 3. 23: Rxpower sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2.....	115
Figura 3. 24: Ec/Io sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 2	116
Figura 3. 25: Ec/Io sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2	116
Figura 3. 26: Ec/Io sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2	117
Figura 3. 27: Ec/Io sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P. en el escenario 2.....	117

Figura 3. 28: Rxpoder sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2	118
Figura 3. 29: Rxpoder sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2.....	118
Figura 3. 30: Ec/Io sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 2.....	119
Figura 3. 31: Ec/Io sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2	119
Figura 3. 32: Ec/Io sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2	120
Figura 3. 33: Ec/Io sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P. en el escenario 2.....	120
Figura 3. 34: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 1.....	122
Figura 3. 35: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 1.....	122
Figura 3. 36: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2.....	123
Figura 3. 37: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2.....	123
Figura 3. 38: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 3.....	124
Figura 3. 39: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 3.....	124
Figura 3. 40: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 4.....	125
Figura 3. 41: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 4.....	125
Figura 3. 42: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 5.....	126
Figura 3. 43: Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 5.....	126

Figura 3. 44: Comparación de la velocidad en tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A.....	128
Figura 3. 45: Comparación de la velocidad en tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A.....	128
Figura 3. 46: Comparación de la velocidad en tecnología CDMA para la operadora CNT E.P.	129
Figura 3. 47: Comparación de la velocidad en tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A.....	129
Figura 3. 48: Comparación de la velocidad en tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A.....	130
Figura 3. 49: Comparación de la velocidad en tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P.	130
Figura 3. 50: Comparación de la velocidad en tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A.....	131
Figura 3. 51: Comparación de la velocidad en tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A.....	131
Figura 3. 52: Comparación de la velocidad en tecnología CDMA para la operadora CNT E.P.	132
Figura 3. 53: Comparación de la velocidad en tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A.....	132
Figura 3. 54: Comparación de la velocidad en tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A.....	133
Figura 3. 55: Comparación de la velocidad en tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P.	133
Figura 3. 56: Recorrido ida y retorno en la tecnología UMTS de la operadora CONECEL S.A. en la carretera Machachi-Aloag	134
Figura 3. 57: Recorrido ida y retorno en la tecnología GSM de la operadora OTECEL S.A. en la carretera Machachi-Aloag	135
Figura 3. 58: Recorrido ida y retorno en la tecnología CDMA EVDO de la operadora CNT E.P. en la carretera Machachi-Aloag	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Tipos de celdas para comunicación móvil	2
Tabla 1. 2: Bandas de frecuencia 1850 – 1990 MHz	22
Tabla 1. 3: Tecnologías celulares que existen en el Ecuador	24
Tabla 1. 4: Canales lógicos GSM	30
Tabla 1. 5: Canales Físicos y Lógicos	34
Tabla 1. 6: Canales de WCDMA	38
Tabla 1. 7: Canales Físicos del Forward Link	43
Tabla 1. 8: Canales Físicos del Reverse Channel	43
Tabla 1. 9: Rangos de validez de los parámetros en el modelo de Okumura	60
Tabla 1. 10: Rangos de validez de los parámetros en el modelo Okumura-Hata	62
Tabla 1. 11: Valores G para distintos entornos	63
Tabla 1. 12: Rangos de validez de los parámetros en el modelo Cost-231-Hata	63
Tabla 1. 13: Rangos de validez de los parámetros en el modelo COST 231 – Walfisch – Ikegami	66
Tabla 1. 14: Categorización de los parámetros de QoS y NP [55].....	69
Tabla 2. 1: Niveles mínimos de acuerdo a la tecnología y zona de cobertura	84
Tabla 2. 2: Configuración de los equipos terminales en el Invex NxG.....	91
Tabla 3. 1 Valores objetivos para evaluar la cobertura de la telefonía móvil celular.....	99
Tabla 3. 2 Rangos a evaluar en las ZONAS URBANAS para 2G y 3G	100
Tabla 3. 3 Rangos a evaluar en las ZONAS RURALES para 2G y 3G	100
Tabla 3. 4 Rangos a evaluar en las CARRETERAS para 2G y 3G.....	100
Tabla 3. 5 Media, varianza y desviación estándar para el factor horario en el escenario 1	103
Tabla 3. 6 Media, varianza y desviación estándar para el factor horario en el escenario 2	104
Tabla 3. 7 Media, varianza y desviación estándar para el factor horario en el escenario 3	106
Tabla 3. 8 Media, varianza y desviación estándar para el factor horario en el escenario 4	108
Tabla 3. 9 Media, varianza y desviación estándar para el factor horario en el escenario 5	109

Tabla 3. 10 Resultados obtenidos de la recepción de señal de acuerdo a los sub rangos establecidos para el factor horario	110
Tabla 3. 11 Media, varianza y desviación estándar de los datos promedio cuando hay precipitación fuerte	114
Tabla 3. 12 Media, varianza y desviación estándar de los datos promedio cuando hay precipitación moderada.....	117
Tabla 3. 13 Media, varianza y desviación estándar de los datos promedio cuando hay precipitación débil.....	120
Tabla 3. 14 Nivel de Precipitación vs Calidad de la Comunicación	121
Tabla 3. 15 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 1	123
Tabla 3. 16 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 2	124
Tabla 3. 17 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 3	125
Tabla 3. 18 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 4	126
Tabla 3. 19 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 5	127

ANEXOS

ANEXO A1: Reglamento para la prestación del Servicio Móvil Avanzado (SMA)

ANEXO A2: Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento empleados por la SUPERTEL

RESUMEN

Se realiza un análisis de la influencia de factores externos en los parámetros de calidad de servicio (QoS) controlados por la Superintendencia de Telecomunicaciones a las operadoras del SMA (Servicio Móvil Avanzado), en base a mediciones de campo del nivel de potencia de señal recibida (cobertura) en tecnologías 2G y 3G en algunas zonas de la provincia de Pichincha.

En el primer capítulo, se describen los fundamentos del Servicio Móvil Avanzado (SMA), definiciones, conceptos, evolución; se habla de la situación actual del SMA en Ecuador, su marco regulatorio, arquitecturas de red. Además se incluyen conceptos de propagación en un canal móvil de telefonía celular y la QoS que se debe brindar en un servicio de telecomunicaciones como lo es la Telefonía Celular.

En el segundo capítulo, se establecen y analizan diferentes factores que afectan a la QoS en las redes móviles celulares. Se realiza la descripción de los sistemas, herramientas de medición y programas de procesamiento empleados por la SUPERTEL. Se definen los escenarios para la realización y evaluación de las pruebas de los parámetros de QoS, en este caso la cobertura, en un ambiente real en algunas zonas de la provincia de Pichincha.

En el tercer capítulo, se obtiene el parámetro deseado ($rxpower$ y Ec/Io) en cada una de las mediciones realizadas para este estudio, se define un análisis basado en sub rangos para evaluar el servicio que ofrece cada una de las Operadoras en el país; se determina el nivel de calidad de servicio en el ambiente real, factores influyentes y su grado de influencia, etc. Una vez obtenidos y analizados los resultados se proponen alternativas en la estructura de la red y así el mejoramiento del servicio móvil celular.

En el cuarto capítulo, se establecen las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo del proyecto.

PRESENTACIÓN

La SUPERTEL, organismo técnico de control en el sector de las telecomunicaciones en el Ecuador, realiza continuamente la verificación de la correcta prestación del servicio al abonado final por parte de las operadoras de SMA (CONECEL S.A., OTECEL S.A., CNT E.P.) basados en los contratos de concesión que posee cada una.

En un ambiente real, en las mediciones realizadas por la SUPERTEL para el control de la QoS ofrecida por un operador de SMA existen variaciones, llegando a obtener diferentes valores en una misma zona de medición, en la cual no se ha efectuado una optimización de la red por parte de las operadoras. De esta manera, la SUPERTEL ha determinado que existe un porcentaje de variación de las mediciones, dependiendo de los factores externos recibidos (por ejemplo: velocidad de movilidad del terminal móvil, clima, cantidad de tráfico cursado, sentido de recorrido, tipo de hardware y software utilizado para la medición o el procesamiento, tipo de población, etc.).

La finalidad de este proyecto es estudiar los fundamentos de las comunicaciones móviles celulares y evaluar su situación actual en el Ecuador, conocer las causas de las pérdidas de propagación de la señal en un canal móvil celular y los parámetros de QoS que debe cumplir la telefonía móvil celular. Pero principalmente es determinar los factores que influyen en la degradación de la QoS de la telefonía móvil celular y establecer mecanismos para su menor afectación al usuario final.

CAPÍTULO 1

SERVICIO MÓVIL AVANZADO: GENERALIDADES, SITUACIÓN ACTUAL, PROPAGACIÓN y QoS

1.1. GENERALIDADES DE LA COMUNICACIÓN CELULAR

1.1.1. CONCEPTO CELULAR

La tecnología móvil o celular como su nombre lo indica trabaja con un sistema de celdas (células). Las celdas son secciones pequeñas que resultan de la subdivisión de un área geográficamente grande. Cada celda posee una estación base que permite la comunicación a un determinado número de usuarios dentro de su área de cobertura (ver Figura 1. 1).

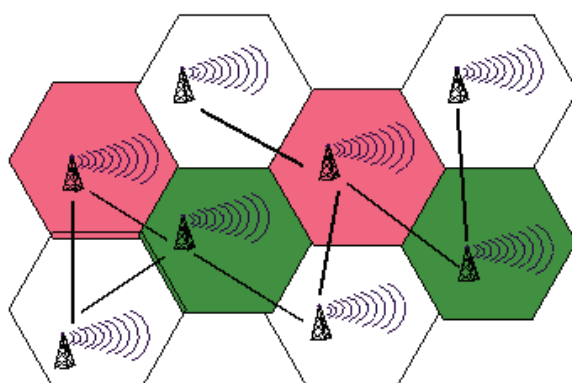


Figura 1. 1 Concepto celular [1]

En una red celular, la misma frecuencia puede ser utilizada en un área distinta para una transmisión completamente diferente. Aparece entonces el concepto de *reuso de frecuencias*. Es decir que para evitar interferencias, dos celdas adyacentes no pueden emplear la misma frecuencia. En el caso hexagonal, para una celda de radio R , la distancia de dos celdas que usen el mismo rango de frecuencias es de $\sqrt{3NR}$, donde N = número de celdas que forman el cluster [2]. En la Figura 1.2, las celdas con el mismo número utilizan el mismo grupo de frecuencias.

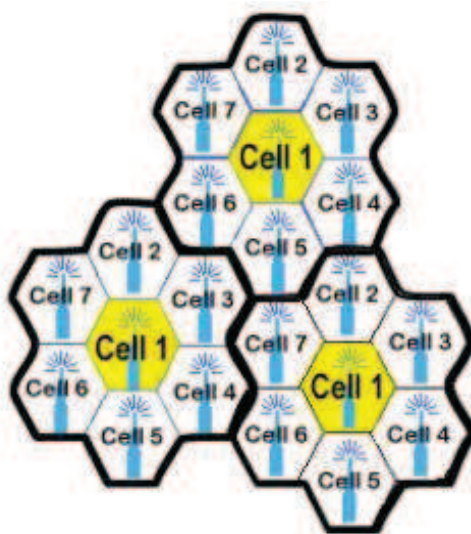


Figura 1. 2 Reuso de frecuencias [3]

El tipo de celdas a utilizar en un sistema móvil depende de la demanda del servicio celular en la población y de parámetros físicos propios del área en donde se brindará el servicio [4]. En la Tabla 1.1 se presenta la clasificación de las celdas de acuerdo a su cobertura.

Tipo de Celdas	Rango de Radio	Cobertura
Picoceldas	< 500 m	Ambientes Interiores: (Aeropuertos, centros comerciales, etc).
Microceldas	500 m – 5 km	Urbana: (Zonas de ciudades con alta densidad de tráfico y penetración en interiores de edificios)
Macrocelas	> 5 km	Rural: (Carreteras, poblaciones cercanas)

Tabla 1. 1 Tipos de celdas para comunicación móvil [5]

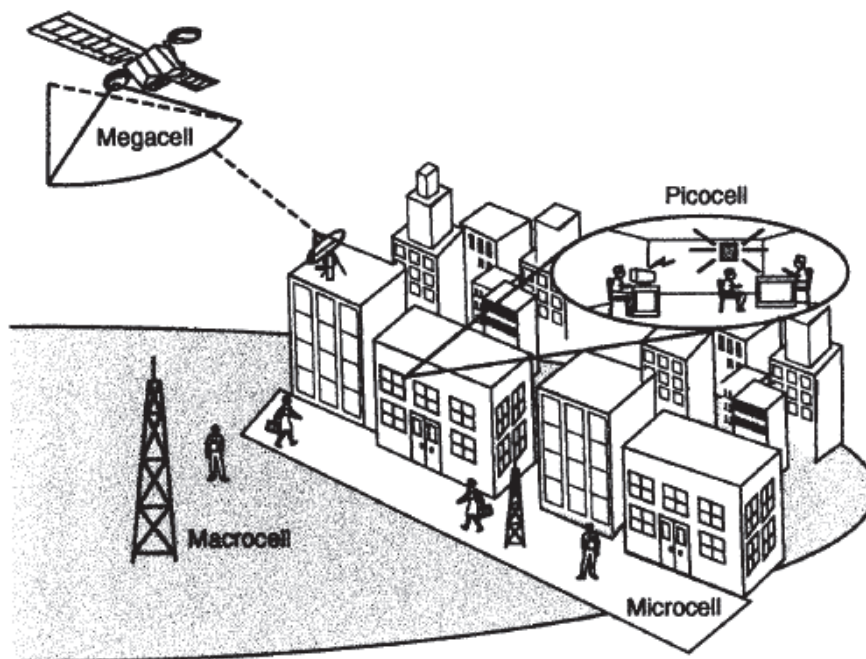


Figura 1. 3 Tipo de celdas [6]

1.1.2. TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE

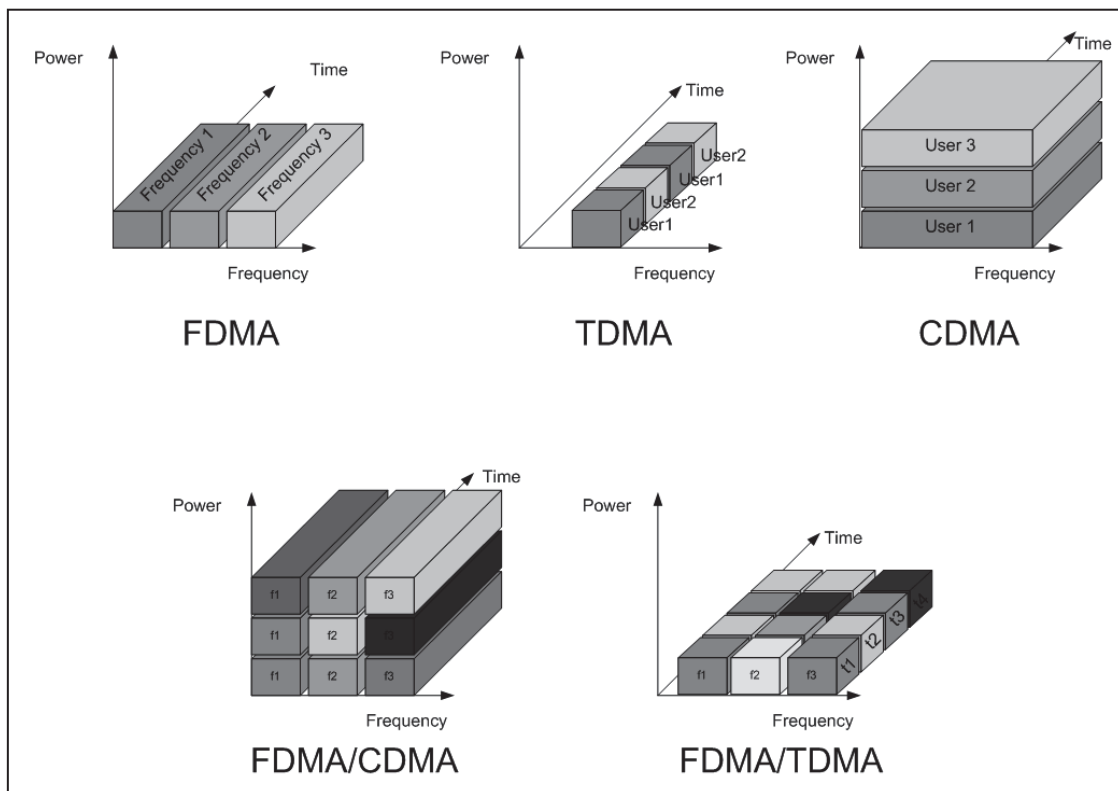


Figura 1. 4 Técnicas de acceso múltiple [7]

Estas técnicas asignan los recursos de radio de tal forma que se permita el acceso simultáneo a la comunicación a varios usuarios y se haga un uso eficiente del ancho de banda. El requisito básico de las técnicas de acceso múltiple es que proporcionen ortogonalidad en el receptor, lo que quiere decir que los datos de cada usuario resultarán separables en el extremo receptor. Las principales técnicas de acceso múltiple son: FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo), CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) y SDMA (Acceso Múltiple por División de Espacio).

❖ Acceso Múltiple por División de Frecuencia

En el acceso múltiple por división de frecuencia se divide el espectro total disponible en canales con distintos rangos de frecuencia, los mismos que son asignados a cada usuario. Con ello se asegura un canal para cada comunicación durante todo el tiempo; esto hace que el uso del mismo no sea eficiente, ya que mientras no se transmita información, el canal asignado no se utilizará. Para mejorar esto, los usuarios podrían compartir el acceso a estos distintos canales con otros métodos como TDMA, CDMA o SDMA.

❖ Acceso Múltiple por División de Tiempo

Con TDMA todos los usuarios disponen de un único canal de frecuencia mientras que el tiempo se divide en ranuras denominadas "*time slots*". A cada usuario se le asigna una ranura de tiempo para transmitir sus datos. TDMA soportará tantos usuarios como *time slots* disponga el canal [8]. Un inconveniente que se presenta en esta técnica es que necesita de sincronización para evitar interferencia entre los usuarios.

❖ Acceso Múltiple por División de Código

Este método está basado en la técnica llamada Espectro Ensanchado¹. CDMA permite que los usuarios transmitan al mismo tiempo y por el mismo canal,

¹ **Espectro Ensanchado:** Es una técnica de modulación empleada para la transmisión de datos digitales, donde el ancho de banda de la señal a transmitirse es mucho mayor que el mínimo necesario para transportar la información.

mientras sus señales son codificadas con un código diferente para cada usuario. Estos códigos son asignados en cada transacción y son empleados para la separación de la celda, del canal y del usuario [8], permitiendo en el receptor detectar la señal de cada usuario separándole del resto de transmisiones. Por tanto, CDMA hace un uso altamente efectivo del canal ya que no lo comparte en el tiempo ni en frecuencia.

De acuerdo a los métodos de modulación para generar el espectro ensanchado, la técnica CDMA puede categorizarse en:

- **DS-CDMA (*Direct Sequence CDMA*) o CDMA por Secuencia Directa:** En este esquema, todas las señales se transmiten en la misma frecuencia y con el mismo ancho de banda. Cada bit de información se representa por un símbolo formado por un gran número de bits codificados denominados *chips*. Estos símbolos requieren un mayor ancho de banda que la señal de información misma, es aquí donde se lleva a cabo la expansión en frecuencia.

Las señales de los demás usuarios aparecen como ruido para la señal de interés, debido a que han sido generadas por distintos códigos de expansión. Al momento de contraer la señal en la recepción ese ruido permanecerá expandido y afectará mínimamente a la información.

- **FH-CDMA (*Frequency Hopping CDMA*) o CDMA por salto de frecuencia:** En **FH-CDMA** se asignan distintas bandas de frecuencias para cada intervalo de tiempo. Cada salto aleatorio por las distintas bandas de frecuencia es determinado por códigos pseudoaleatorios. Al emplear varios canales en la misma transmisión y usar un ancho de banda mayor al de la señal que porta la información se da la idea de una señal expandida en frecuencia.

Existen dos tipos de velocidad de elección de saltos de frecuencia: F-FH (*Fast Frequency Hopping*) y S-FH (*Slow Frequency Hopping*). En F-FH la tasa de saltos es mayor que la tasa de símbolos, por tanto el ancho de banda se determina con la señal resultante de los cambios de frecuencia. Mientras que

en S-FH la tasa de saltos es menor que la tasa de símbolos, en consecuencia la señal de la información es la que determina el ancho de banda.

- **TH-CDMA (Time Hopping CDMA) o CDMA por salto de tiempo: TH-CDMA** se logra por medio de la compresión de la información enviando ráfagas de bits en pequeños intervalos de tiempo, para lo cual utiliza todo el espectro. Al inicio de cada ráfaga existe un código pseudoaleatorio que se asigna a cada usuario, de tal modo que al codificar se eviten colisiones.
- **HM-CDMA (Hybrid CDMA) o CDMA de modulación híbrida:** La combinación de estos métodos de modulación originan técnicas de acceso híbridas como: **DS/FH, DS/TH, FH/TH y DS/FH/TH**. Con estos sistemas se intenta combinar ventajas y combatir las desventajas de los diferentes esquemas.

❖ Acceso Múltiple por División de Espacio

Es una técnica que segmenta un área geográfica en sectores pequeños utilizando antenas direccionales. Cada sector reutiliza la misma frecuencia y recibe información de diferentes lóbulos de radiación (ver Figura 1. 5). SDMA es ampliamente usada en comunicaciones satelitales y también útil en redes celulares pero su uso resulta aún más útil cuando se combina con FDMA, TDMA o CDMA.

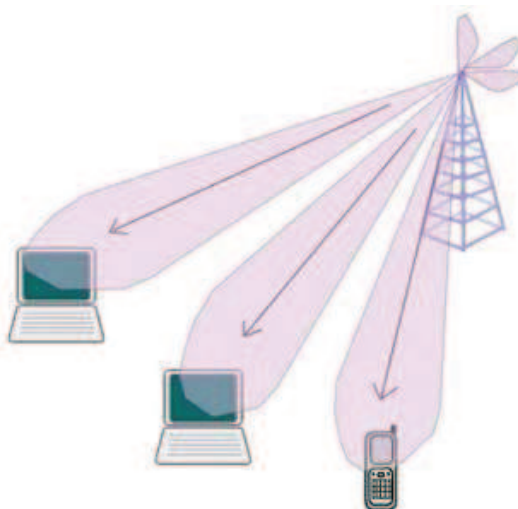


Figura 1. 5 Técnica de acceso múltiple SDMA [9]

❖ Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA)

Adicionalmente a las técnicas de acceso múltiple tradicionales se dispone la técnica OFDMA. En ella se divide ortogonalmente un canal en un conjunto de subportadoras muy cercanas entre sí en frecuencia. Estas subportadoras se asignan en función de las necesidades de los usuarios y las condiciones del canal (ver Figura 1. 6).

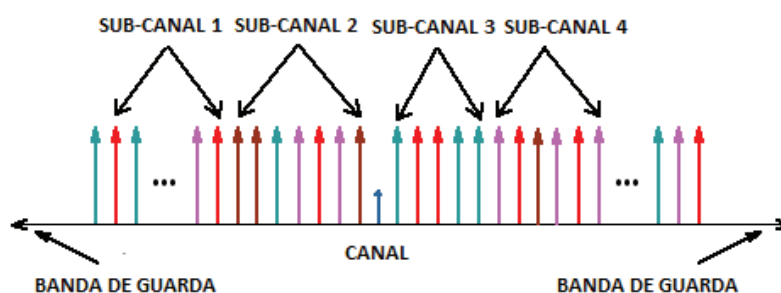


Figura 1. 6 Técnica de acceso múltiple OFDMA [10]

1.1.3. MÉTODOS DÚPLEX

Los métodos dúplex son utilizados en conexiones punto-multipunto para dividir hacia adelante y hacia atrás los canales de comunicación que se desenvuelven sobre el mismo medio físico. Existen dos métodos dúplex que son TDD (Duplexación por División de Tiempo) y FDD (Duplexación por División de Frecuencia).

❖ Duplexación por División de Tiempo

TDD necesita de un solo canal para las transmisiones del enlace ascendente (*uplink*) y descendente (*downlink*). Estas transmisiones se realizan en dos distintos intervalos de tiempo de forma síncrona. Así los *time slots* se asignan para los flujos de datos de transmisión y recepción en un canal físico. Esto hace que TDD resulte flexible ya que es útil para manejar tráfico de banda ancha tanto simétrico como asimétrico.

TDD también puede manejar una mezcla dinámica de ambos tipos de tráfico, esto se logra alterando la capacidad relativa de cualquiera de los enlaces a favor de una dirección específica. Es decir, por ejemplo dando una asignación mayor de tiempo al enlace de bajada que al enlace de subida. Esta asimetría presente, es útil en procesos de comunicación caracterizada por el flujo de información desbalanceada (ej. Internet).

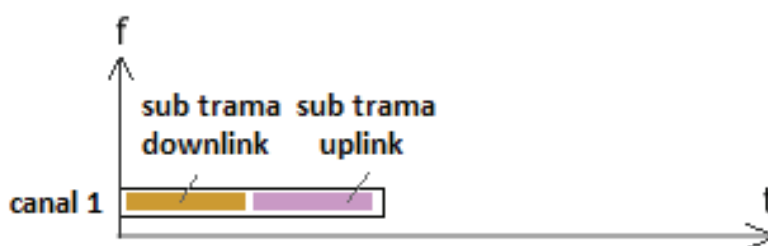


Figura 1. 7 Método dúplex TDD [11]

❖ Duplexación por División de Frecuencia

FDD en cambio requiere dos frecuencias distintas, una para el enlace ascendente (*uplink*) y otra para el enlace descendente (*downlink*) durante el mismo intervalo de tiempo. Esto hace que FDD sea ideal para aplicaciones simétricas en donde fluye la información en ambas direcciones (ej. Comunicaciones de voz). Por otro lado, FDD resulta ineficiente para comunicaciones asimétricas, debido a que ocupa tan solo una parte del ancho de banda de un canal en un determinado tiempo.

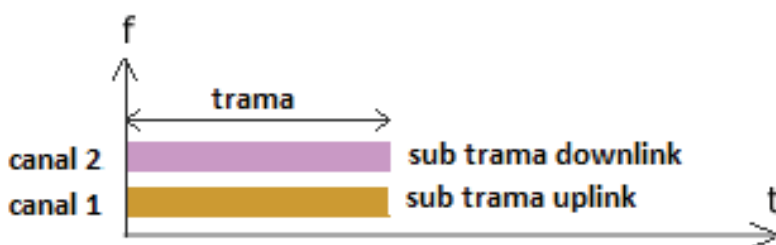


Figura 1. 8 Método dúplex FDD [11]

1.1.4. EFICIENCIA ESPECTRAL VS. EFICIENCIA DE CANAL

En los sistemas celulares, la eficiencia espectral no es igual a la eficiencia de canal, dado que los canales son reutilizados varias veces. La eficiencia de canal se define entonces como el número máximo de canales que se pueden proporcionar sobre un determinado ancho de banda, mientras que la eficiencia espectral corresponde al número máximo de llamadas que pueden ser servidas en un área máxima [3].

1.1.5. MOVILIDAD

Una de las piezas clave que caracterizan a los sistemas celulares es la amplia movilidad que ofrece. Un requisito básico de estos sistemas es permitir que los usuarios puedan acceder y recibir sus servicios, desde cualquier ubicación geográfica donde el sistema disponga de cobertura [12]. Para establecer comunicación con un usuario, primero se debe localizar al terminal móvil y la celda en donde se encuentra. Para lograr este objetivo, los sistemas celulares se ayudan de mecanismos como: la *gestión de localización* y *handover*.

La *gestión de localización* se puede dar de varias maneras. Por un lado, la estación móvil indica a la red cada cambio de celda que realiza estableciendo una *actualización sistemática de su localización*. Mientras que cuando llega una llamada a una estación móvil, ésta envía avisos a todas las celdas de la red evitándose así informar continuamente acerca de su posición a la red. Se establecen también *áreas de localización*, que son un grupo determinado de celdas; las estaciones móviles mediante mensajes de difusión pueden conocer en qué celda y en qué área de localización se encuentra a cada momento.

Cuando una estación móvil cambia de celda, ambas celdas pueden o no estar en la misma área de localización. Si están en un área de localización distinta, la estación móvil informa a la red de su nueva ubicación. Mientras que si se encuentra en la misma área de localización, no lo hará.

El *handover* es la capacidad de mantener la conexión activa entre la red y el terminal móvil mientras se traslada de un lugar a otro. Cuando el usuario

establece la celda a utilizar y si éste cambia su posición, la celda también variará. De modo que, cuando una llamada está en progreso con una determinada estación base y el usuario se encuentre en movimiento, si es necesario se cambiará a otra celda con el fin de tener el acceso a la red durante el transcurso total de la llamada.

1.2. EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÓVIL CELULAR

Las distintas necesidades y avances dieron lugar a la evolución de las tecnologías de comunicación móvil. En dicha evolución se va cumpliendo las necesidades del mercado para tener acceso múltiple al canal de comunicación, así como la necesaria migración de los sistemas analógicos a un sistema digital con el fin de permitir mayor volumen de usuarios y ofrecer los niveles de seguridad que se demandaban [13].

Esta mejora se manifiesta a través de diferentes generaciones, las mismas poseen características propias que las diferencian entre sí y que se comentan a continuación.

1.2.1. PRIMERA GENERACIÓN (1G)

La primera generación hizo su aparición en 1979 y nace comercialmente en los años 80. Su característica principal es la amplia capacidad analógica que ofrecía para mantener una comunicación en movimiento. Las redes 1G fueron creadas basándose netamente en el tráfico de voz, la calidad de los enlaces que manejaba esta generación era muy baja, la transferencia entre celdas era imprecisa y no contaba con ningún tipo de seguridad. Esta generación utilizaba FDMA para la transferencia de información entre el escaso número de canales que poseía, limitando aún más la cantidad de usuarios que podían acceder a la comunicación. El alto costo y tamaño de los terminales fue otra de las características de esta generación. Estos sistemas hoy prácticamente no existen, fueron sustituidos por tecnologías digitales.

Los estándares más sobresalientes que pertenecen a esta generación son:

- **NMT (Nordic Mobile Telephone)**

- **AMPS** (*Advanced Mobile Phone System*)
- **TACS** (*Total Access Communications System*)

1.2.2. SEGUNDA GENERACIÓN (2G)

En los años 90 surge la Telefonía Digital debido a la creciente demanda de los usuarios en donde los sistemas analógicos se tornaron insuficientes. Esta generación mejora la calidad de los servicios de voz (debido a su digitalización), ofrece transmisión de datos a bajas velocidades mediante conmutación de circuitos², disminuye el tamaño en los terminales móviles. 2G además ofrece nuevos servicios como: fax, mensajería corta (SMS³), buzón de voz y *roaming* internacional.

Entre los sistemas que pertenecen a esta generación se encuentran:

- **D-AMPS o IS-54** (*Digital Advanced Mobile Phone System – Interim Standard 54*)
- **D-AMPS o IS-136** (*Digital Advanced Mobile Phone System – Interim Standard 136*)
- **CDMAOne o IS-95A** (*Code Division Multiple Access One – Interim Standard 95A*)
- **GSM** (*Global System Mobile*)

1.2.3. GENERACIÓN 2.5 – EVOLUCIÓN A LA TERCERA GENERACIÓN

Con el paso de los años, 2G a pesar de sus novedosos ofrecimientos pasó a ser obsoleto debido a la baja tasa de transmisión de datos que ofrecía (9,6 kbps). Es aquí donde aparecen notables mejoras en la infraestructura de red constituyéndose en estándares de la etapa intermedia entre las tecnologías 2G y 3G. Esta generación intermedia ofrece mejoras notables en la capacidad de transferencia de datos debido a la implementación de conmutación de paquetes⁴.

² **Conmutación de Circuitos:** Comunicación mediante un camino dedicado (circuito físico) entre dos estaciones.

³ **SMS** (*Short Message Service*) o Servicio de Mensajes Cortos.

⁴ **Conmutación de Paquetes:** Envío de información en paquetes a través de la red, sin el uso de líneas dedicadas de transmisión. Cada paquete puede tomar diferentes rutas hacia su destino, en el destino los paquetes serán re-ensamblados.

Adiciona además servicios tales como WAP⁵, MMS⁶, Internet, etc.

Este ciclo comprende los siguientes sistemas:

- **HSCSD** (*High Speed Circuit Switched Data*)
- **GPRS** (*General Packet Radio Service*)
- **EDGE** (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*)
- **CDMA o IS-95B** (*Code Division Multiple Access – Interim Standard 95B*)

1.2.4. TERCERA GENERACIÓN (3G)

La tercera generación abrió su paso por Japón desde el 2001. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) formuló diversos requisitos y especificaciones para las tecnologías 3G, a través del IMT-2000⁷. 3G ofrece un aumento en la capacidad de voz y mayores tasas de transmisión de datos que las redes 2G y 2.5G. Además brinda banda ancha móvil para servicios multimedia e Internet, que involucra aplicaciones de datos móviles con altas tasas de transmisión que van desde 384 kbps para ambientes abiertos hasta 2 Mbps para ambientes cerrados.

Las que obtuvieron mayor aceptación comercial son:

- **CDMA2000** (*Code Division Multiple Access 2000*)
- **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*)
 - **WCDMA** (*Wideband Code Division Multiple Access*)
 - **TD-SCDMA** (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*)

1.2.5. GENERACIÓN 3.5 – EVOLUCIÓN A LA CUARTA GENERACIÓN

Esta fase es la evolución de la tercera generación de telefonía móvil, considerada además como la antesala de la cuarta generación y la que da lugar a la tan ansiada convergencia de redes [14]. Esta generación intermedia incrementa la eficiencia espectral comparada con la generación 3G y utiliza su máximo potencial en la prestación de servicios de banda ancha. Ofrece tasas de

⁵ **WAP** (*Wireless Application Protocol*) o Protocolo para Aplicaciones Inalámbricas.

⁶ **MMS** (*Multimedia Message Service*) o Servicio de Mensajes Multimedia.

⁷ **IMT-2000** (*International Mobile Telecommunications 2000*) o Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000.

transferencia de datos muy alta pudiendo llegar hasta 14 Mbps y por tanto ya puede brindar servicios multimedia sobre las redes celulares como: videoconferencias, videollamada, *video streaming*, video portal, etc.

Esta etapa intermedia está comprendida por:

- **HSPA** (*High Speed Packet Access*)
 - **HSDPA** (*High Speed Download Packet Access*)
 - **HSUPA** (*High Speed Uplink Packet Access*)
- **HSPA+** (*Evolved High Speed Packet Access*)

1.2.6. CUARTA GENERACIÓN (4G)

Tras el éxito alcanzado por los sistemas 3G definidos por la UIT, se lanzó en el 2002 la iniciativa IMT-Advanced⁸ (4G) y su visión estratégica sobre el futuro de las telecomunicaciones móviles internacionales. A finales del 2011, la UIT-R ratifica sus especificaciones y normas técnicas. Las tecnologías cuyas características entran en esta categoría son LTE-Advanced y WiMAX 2⁹.

La cuarta generación está basada completamente en el protocolo IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, que se alcanza gracias a la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas. La principal diferencia con las generaciones predecesoras es la capacidad para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) extremo a extremo.

IMT-Advanced (4G) por tanto se considera como un hito en la evolución de la tecnología móvil debido a que proporciona una plataforma mundial, en la que se conciben servicios móviles interactivos. Estas tecnologías facilitan un acceso más rápido a los datos, capacidades de itinerancia más perfeccionadas, servicios de mensajería unificada y servicios multimedios de banda ancha **[15]**.

⁸ **IMT-Advanced** (*International Mobile Telecommunications Advanced*) o Telecomunicaciones Móviles Internacionales Avanzadas.

⁹ **WiMAX 2** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) o Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas. WiMAX 2 es la siguiente fase de la tecnología WiMAX basada en el estándar IEEE 802.16m, ofrece una mayor capacidad del sistema con velocidades máximas de más de 300 Mbps, menor latencia y mayor capacidad de VoIP.

En nuestro país hasta el día de hoy no existen redes 4G implementadas por los concesionarios de SMA; en diciembre de 2012 CONATEL resolvió autorizar a la empresa pública CNT E.P. para que brinde servicios tecnológicos de cuarta generación móvil. Para el despliegue de esta nueva tecnología se resolvió autorizar el uso de 30 MHz en la banda de 700 MHz y de 40 MHz en la banda de 1700-2100 MHz para que la operadora CNT E.P. logre el despliegue de 4G [16].

1.3. SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN EL ECUADOR

En el año 2003, el futuro de la telefonía móvil en el Ecuador estuvo marcado por el uso de nuevos servicios de comunicación. Se inicia su operación bajo el esquema de Servicio Móvil Avanzado (SMA). Un sistema que permitiría la convergencia de servicios y que harán el uso de tecnologías de tercera y cuarta generación.

El SMA con tecnología 3G permite proveer de aplicaciones tales como: correo electrónico multimedia, comercio electrónico móvil (operaciones bancarias y compras móviles), aplicaciones audio/video (videoteléfono, videoconferencia interactiva, audio y música), supervisión remota de seguridad, acceso remoto inalámbrico a Internet e intranets, banda ancha, etc.

Esto es lo que diferencia a SMA del Servicio de Telefonía Móvil Celular (STMC) que rige en los contratos firmados en 1993, en donde únicamente se permitía servicios de voz, envío de mensajes cortos y la transmisión de datos a baja velocidad, que más tarde con algunas modificaciones en los contratos permitieron la emisión de imágenes y el *roaming* internacional.

El Servicio Móvil Avanzado (SMA) se define en el artículo 3 del Reglamento de Prestación de SMA como: *un servicio final de telecomunicaciones del servicio móvil terrestre, que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza* [17].

1.3.1. SITUACIÓN REGULATORIA ACTUAL DEL SMA EN EL ECUADOR

Los organismos encargados de la administración, regulación y control del sector de Telecomunicaciones en Ecuador son:

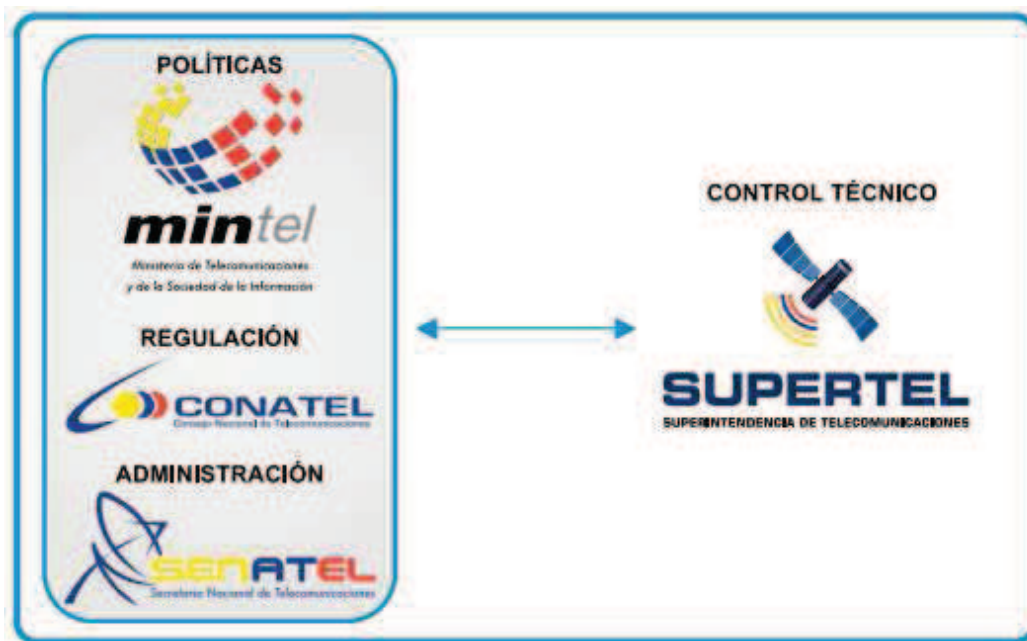


Figura 1. 9 Organismos de Regulación y Control de Telecomunicaciones

1.3.1.1. Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL)



El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información es el órgano rector del desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el Ecuador, que tiene como finalidad emitir políticas, planes generales y realizar el seguimiento y evaluación de su implementación, coordinar acciones de asesoría y apoyo para garantizar el acceso igualitario a los servicios y promover su uso efectivo, eficiente y eficaz, que asegure el desarrollo armónico de la sociedad de la información para el buen vivir de toda la población ecuatoriana [18].

1.3.1.2. Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL)



El Consejo Nacional de Telecomunicaciones es un organismo que ejerce a nombre del Estado las funciones de administración y regulación de los servicios de telecomunicaciones y la administración de telecomunicaciones del Ecuador ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT [19].

1.3.1.3. Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL)



La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones es un ente encargado de ejecutar las políticas expedidas por el CONATEL y a la vez es responsable de la administración del espectro radioeléctrico [20].

1.3.1.4. Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL)



La Superintendencia de Telecomunicaciones es el Organismo Técnico de Control en el sector de las telecomunicaciones, cuya misión es vigilar, auditar, intervenir y controlar técnicamente la prestación de los servicios de telecomunicaciones y el uso del espectro radioeléctrico, para que se proporcionen con eficiencia, responsabilidad, continuidad, calidad, transparencia y equidad; fomentando los derechos de los usuarios a través de la participación ciudadana, de conformidad al ordenamiento jurídico e interés general [21].

A continuación se detalla el marco legal aplicable para las operadoras del SMA además de sus respectivos contratos de concesión son [17]:

- Constitución de la República del Ecuador.
- Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial N°. 996 del 10 de agosto de 1992 y sus reformas.
- Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, publicado en el Registro 50 del 21 de octubre de 1996.

- Reglamento de Interconexión, publicado en el Registro Oficial N°. 481 del 26 de Diciembre de 2001.
- Reglamento Especial para determinar la calidad de Empresas Relacionadas, publicado en el Registro Oficial N°. S-1008 del 10 de agosto de 1996.
- Reglamento de Telefonía Pública de Prepago, publicado en el Registro Oficial N°. 353 del 3 de julio de 1998.
- Reglamento para la prestación de Servicio Móvil Avanzado, publicado en el Registro Oficial N° 687 del 21 de octubre del 2002.
- Reglamento para la Homologación de Equipos Terminales de Telecomunicaciones, publicado en el Registro Oficial N°. 10 del 24 de agosto de 1998, y su reforma, publicada en el Registro oficial N°. 623 del 22 de julio del 2002.
- Plan Nacional de Frecuencias, publicado en el Registro oficial N°. 192 del 26 de octubre del 2000.
- Normas técnicas emitidas por el CONATEL.
- Además, el Ecuador acoge, de acuerdo al caso, las Recomendaciones emitidas por los Organismos Internacionales de Telecomunicaciones como la UIT, CITEL, etc.

En el **Anexo A1** se mencionan los capítulos más relevantes del Reglamento que rige la prestación del Servicio Móvil Avanzado en el Ecuador.

1.3.2. CONCESIONARIOS PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN EL ECUADOR

Los principales concesionarios para la prestación del SMA en nuestro país son:

1.3.2.1. CONECEL S.A. (CLARO) [22]

CONECEL S.A. es una compañía filial del grupo mexicano América Móvil que opera en Ecuador desde 1993. Su nombre comercial fue Porta, pero a partir del 20 de marzo del 2011 pasó a llamarse Claro.

Hoy en día, *Claro* ofrece telefonía fija y televisión digital además de la tradicional telefonía móvil e internet, esto gracias a la alianza que se dio entre *Claro Ecuador* y *Telmex*. Al mes de junio del 2013 dispone de alrededor de 11'665.421 millones de usuarios a nivel nacional convirtiéndose en la primera operadora de telefonía celular en el Ecuador.



Figura 1. 10 Logotipo, dirección web y tecnologías que ofrece **Claro**

1.3.2.2. OTECEL S.A. (MOVISTAR) [23]

OTECCEL S.A. es concesionaria del servicio de telefonía móvil desde 1993 filial de Bellsouth con el nombre comercial de Cellular Power, pero tres años más tarde toma su mismo nombre. En el año 2004, Telefónica Móviles adquiere el 100% de las acciones de OTECEL S.A. y pasa entonces a ser una compañía subsidiaria del Grupo Telefónica en el Ecuador. A partir de ahí su nombre comercial pasa a ser *Movistar*. Esta compañía es la segunda mayor operadora de telefonía móvil en el Ecuador con 5'025.554 de clientes al mes de junio del 2013.



Figura 1. 11 Logotipo, dirección web y tecnologías que ofrece **Movistar**

1.3.2.3. CNT E.P. (CNT MÓVIL) [24]

Andinatel S.A. y Pacifictel S.A. se fusionan formando la Compañía de Telecomunicaciones Móviles del Ecuador (TELECSA S.A.) con el fin de prestar el servicio de telefonía móvil, el que fue concesionado por el Estado ecuatoriano en

el año 2003. El ingreso de esta operadora móvil genera mejor competencia con las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A. permitiendo que las tarifas sean menores, aumenten abonados, se interconecten las redes para mensajes escritos, etc.

Inicialmente, el capital de TELECSA S.A. (Alegro PCS) estaba dividido en partes iguales para cada compañía, más tarde ANDINATEL S.A. tiene el control mayoritario y es entonces cuando deciden unirse y formar la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT S.A.) en octubre del 2008, convirtiéndose 2 años más tarde en empresa pública con el nombre de Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT E.P.).

Alegro contaba con menos del 2 % de abonados, es por esto que en julio del 2010 se oficializa su fusión con CNT E.P. El principal objetivo de esta unión es reducir costos y empezar a ofrecer nuevos servicios como Internet, servicios portadores y valor agregado, además de los servicios de telefonía celular. Al mes de junio del 2013 CNT E.P. cuenta 377.031 mil usuarios a nivel nacional.

El éxito comercial de GSM en el Ecuador llevó a Alegro (hoy CNT) a tener un arreglo con Movistar alquilándole la red de acceso de radio y convertirse de esta manera en el primer operador móvil virtual (*MVNO*) en la Región Andina. A partir del 2007, CNT presta servicios de GSM sin incurrir en los altos costos de haber creado una red paralela, más aún cuando se estimaba que las redes GSM serían reemplazadas por redes de tercera generación (3G).



Figura 1. 12 Logotipo, dirección web y tecnologías que ofrece **CNT**

Las Figuras 1. 13 y 1. 14 muestran la participación y evolución en el mercado ecuatoriano de las Operadoras de SMA, estadísticas que corresponden hasta el mes de junio del 2013 [25].

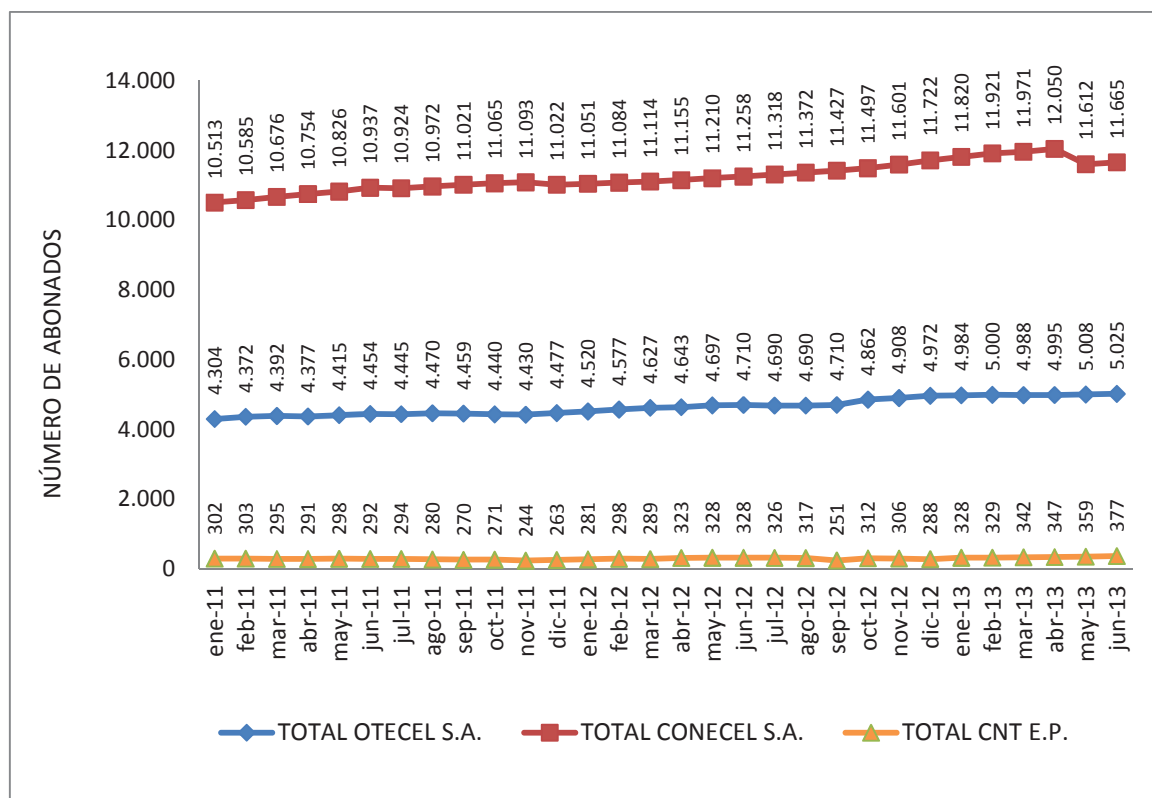


Figura 1. 13 Evolución del Mercado de Telefonía Móvil a junio del 2013

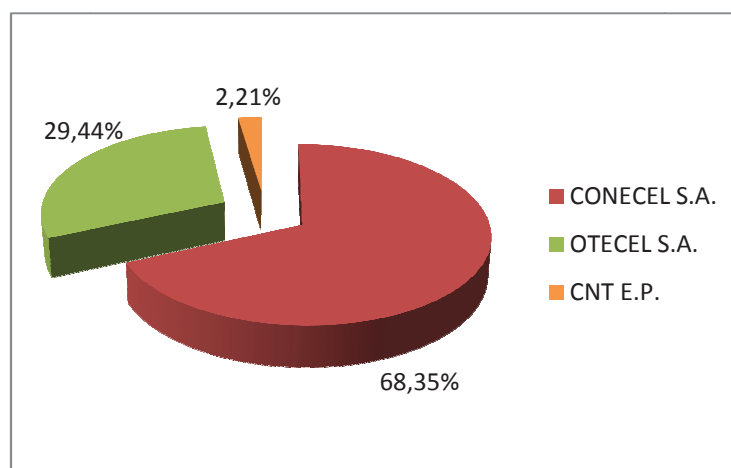


Figura 1. 14 Líneas activas de las Operadoras de SMA a junio del 2013

La asignación del espectro radioeléctrico para las operadoras de Telefonía Móvil se basa en un Plan Nacional de Frecuencias que recoge recomendaciones de organismos internacionales (UIT, FCC, ETSI, etc) y expresa la soberanía del estado ecuatoriano en cuanto a la administración del espectro radioeléctrico. El Plan Nacional de Frecuencias en lo que concierne a las operadoras de telefonía móvil detalla [26]:

- ✓ **Banda de los 800 MHz**, está asignada de acuerdo a las notas EQA.140 y EQA.145 del Plan Nacional de Frecuencias, como se muestra en la figura 1.15.

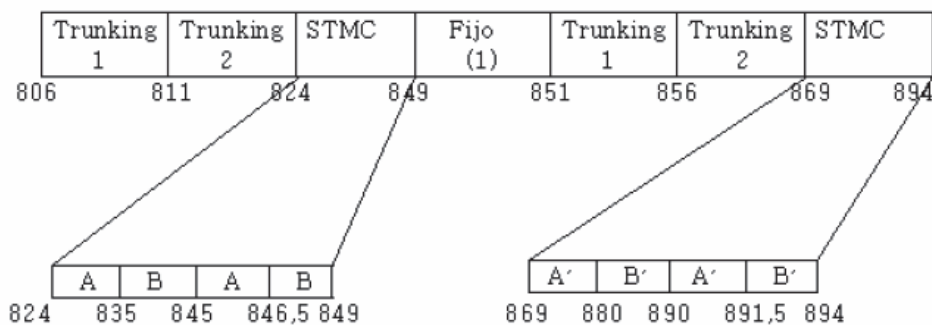


Figura 1. 15 Asignación de frecuencias en 850 MHz [26]

Según la nota EQA.140, las bandas entre 806-811 MHz y 851-856 MHz; 811-824 MHz y 856-869 MHz están reservadas para los servicios fijo y móvil, de los sistemas troncalizados y de radiodifusión; mientras que según la nota EQA.145, las bandas correspondientes a los 824–849 MHz y 869–894 MHz están asignadas a los servicios fijo y móvil, donde operan los Sistemas de Telefonía Móvil Celular (STMC) y Servicio Móvil Avanzado (SMA).

El grupo de frecuencias asignado a los concesionarios en esta banda por parte del CONATEL es:

- **CONCESIONARIO:** CONECEL S.A. (Claro)
 - Banda A:** 824-835MHz y 845-846.5 MHz (*Uplink*).
 - Banda A':** 869-880MHz y 890-891.5MHz (*Downlink*).
- **CONCESIONARIO:** OTECEL S.A. (Movistar)
 - Banda B:** 835-845MHz y 846.5-849MHz (*Uplink*).
 - Banda B':** 880-890MHz y 891.5-894MHz (*Downlink*).

- ✓ **Banda de los 1850-1990 MHz**, de acuerdo a lo que se especifica en la Nota EQA.180 del Plan Nacional de Frecuencias, según la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) por medio de la

recomendación CCP.III/REC.26 (VI-96), sugiere que la banda 1850-1990 MHz se utilice para los sistemas PCS y/o para sistemas de acceso inalámbrico fijo (FWA) en la región de las Américas [27].

Esta banda está distribuida en algunos rangos de frecuencias como se muestra en la tabla 1.2.

IMT 2000	Tx (MHz)	Rx (MHz)	Frecuencias (MHz)	
A - A'	15	15	1850-1865	1930-1954
B - B'	15	15	1870-1885	1950-1965
C - C'	15	15	1895-1910	1975-1990
D - D'	5	5	1865-1870	1945-1950
E - E'	5	5	1885-1890	1965-1970
F - F'	5	5	1890-1895	1970-1975

Tabla 1. 2 Bandas de frecuencia 1850 – 1990 MHz [27]

En Ecuador, las frecuencias de las bandas A y B de 1850 – 1990 MHz se encuentran concesionadas para radio y televisión. Mientras que la banda C en el año 2003 fue concesionada por el Estado Ecuatoriano a la operadora Alegro (hoy CNT) con los siguientes rangos de frecuencias:

- **CONCESIONARIO:** CNT E.P. (CNT Móvil)

Banda C: 1895-1910 MHz (*Uplink*).

Banda C': 1975-1990 MHz (*Downlink*).

En el año 2006, según el Art.1 en la RESOLUCIÓN 496-21 emitido por el CONATEL se procede a: *“Otorgar la concesión de 10 MHz en la banda de 1900MHz, a las operadoras OTECEL S.A. en la sub-banda D-D’, al Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones S.A. CONECEL, en la sub-banda E-E’ y a Telecomunicaciones Móviles del Ecuador TELECSA S.A., en la sub-banda F-F’; en los términos, condiciones y plazos planteados por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones”* [28].

En la Figura 1. 16 se muestra el resultado final de la asignación del espectro radioeléctrico por parte del Estado Ecuatoriano para los proveedores de los servicios de telefonía móvil celular (CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P.).

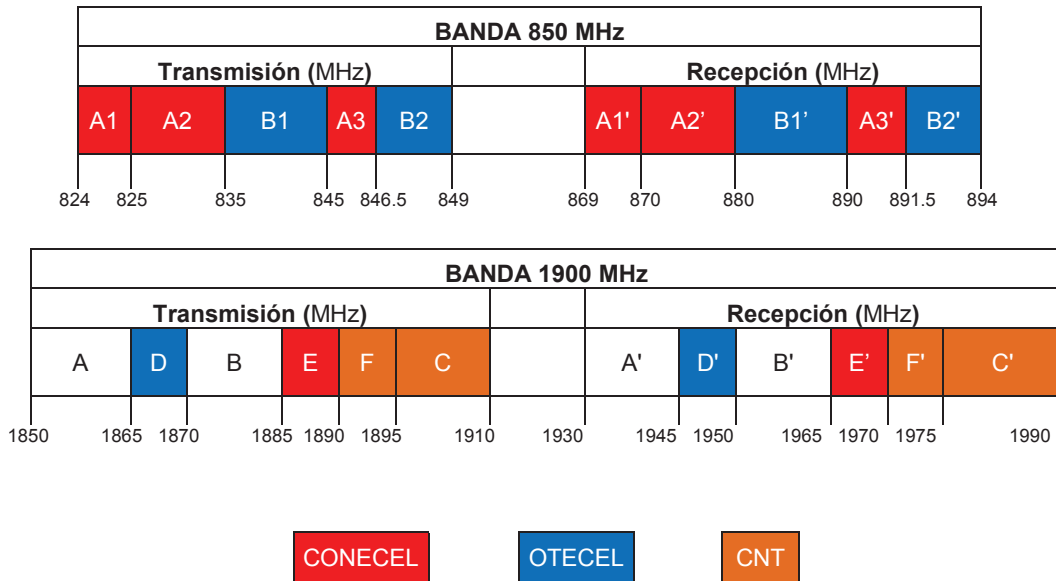


Figura 1. 16 Bandas de frecuencia asignadas a las operadoras de SMA [26] [27]

1.3.3. TECNOLOGÍAS MÓVILES 2G HASTA 3G QUE COEXISTEN EN ECUADOR

Mobile standards	3GPP		Qualcomm	China	IEEE
Carriers using:	AT&T and T-Mobile US, majority of global carriers		Sprint, Verizon Wireless	China Mobile	Sprint
2G: digital + data services	GSM: 2G		CDMAOne	TD-SCDMA (up to 2Mbps)	Mobile WiMAX 3.9G (4 Mbps cap on EVO "4G")
	GPRS: 2.5G				
	EDGE: 2.75G				
3G: at least 200 kbps iPhone 4 currently delivers up to 7.2Mbps down, 5.8Mbps up	Release 4	UMTS 3G	CDMA2000 EVDO rev 0	TD-SCDMA (up to 2Mbps)	Mobile WiMAX 3.9G (4 Mbps cap on EVO "4G")
	Release 5	HSDPA 3.5G (to 21Mbps down)	CDMA2000 EVDO rev A (up to 3.1Mbps down, 1.8 up)		
	Release 6	HSUPA 3.5G (to 5.8Mbps up)	EVDO Rev C / Ultra Mobile Broadband Canceled: Sprint moving to WiMAX, Verizon moving to 3GPP LTE		
	Release 7	HSPA+ 3.5G			
	Release 8/9	LTE 3.9G			
4G: at least 100 Mbps, IP-based	Release 10	LTE Advanced	TD-LTE	WiMAX 4G	

Figura 1. 17 Evolución de Sistemas Digitales PLMN [29]

Las Redes Públicas de Telecomunicaciones conocidas también a través de sus siglas en inglés PLMN (*Public Land Mobile Network*) son aquellas que ofrecen al público la prestación de servicios de telecomunicaciones vía radio y son operados por un “*carrier*” (Compañías Operadoras de Servicio Móvil Avanzado).

Estas redes brindan a sus abonados una amplia gama de servicios y facilidades de comunicación con redes fijas y otras redes móviles. Debido a la rápida inserción y demanda de la sociedad, las PLMN han evolucionado logrando así en cada generación incrementar servicios y mejorar velocidades de transmisión.

En este estudio se dará mayor énfasis a la Segunda y Tercera Generación de Telefonía Móvil ofrecida en el Ecuador. Como se dijo anteriormente, las tecnologías 3G difieren de las tecnologías 2G por su mayor velocidad de transmisión, sus protocolos de acceso de radio diferentes y sus arquitecturas de red ligeramente distintas [30].

En la Tabla 1.3 se resumen las tecnologías que existen en Ecuador según cada operadora, la evolución celular en Ecuador se ha inclinado por el estándar 3GPP.

	CDMA	GSM	GPRS / EDGE	UMTS (WCDMA)	HSDPA / HSPA+	CDMA 1xEVDO
CONECEL S.A.	x	✓	✓	✓	✓	x
OTECEL S.A.	x	✓	✓	✓	✓	x
CNT E.P.	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 1. 3 Tecnologías celulares que existen en el Ecuador

Se considera que la arquitectura de estos sistemas se encuentra compuesta por 3 bloques básicos (ver Figura 1.18).

- El **equipo terminal**, es el equipo que trae consigo el usuario desde donde se conecta a la red y mediante el cual recibe sus servicios en el momento que lo requiera y en el lugar donde exista cobertura.

- La **red de acceso**, es aquella que controla la conexión vía radio con el *equipo terminal* de Usuario y sirve de interfaz entre éste y el *núcleo de red*.
- El **núcleo de red**, es aquel encargado de llevar comunicaciones desde la red de acceso hasta su conexión con la red de destino. Incorpora funciones de transporte (de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación) y de inteligencia (aquí se incluye el encaminamiento, además de la lógica y el control de ciertos servicios, y la gestión de la movilidad) [31].

En cada una de las fronteras de estos bloques funcionales debe existir una interfaz que haga posible la comunicación, es decir que permita el intercambio de información.

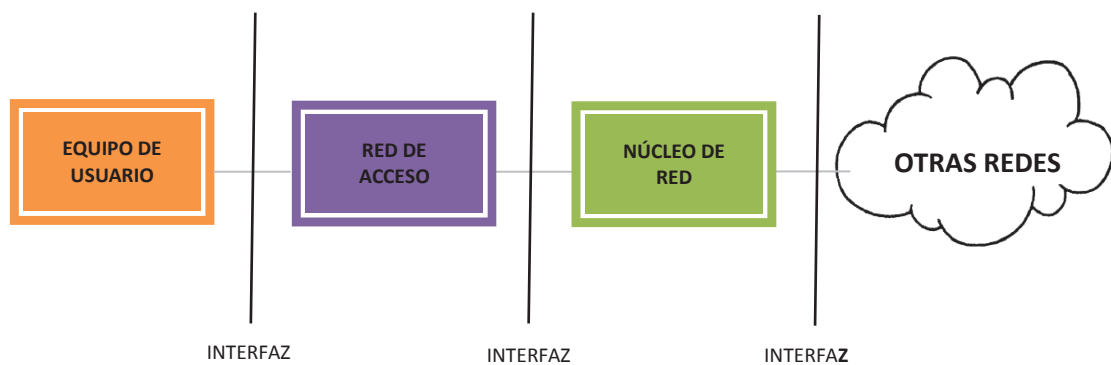


Figura 1. 18 Bloques Funcionales de una red PLMN.

1.3.3.1. Estándares Europeos

1.3.3.1.1. GSM (Global System Mobile)

En los comienzos de los años ochenta, varios países en Europa habían desarrollado ya su propio sistema analógico de telefonía celular que impedía la interoperabilidad más allá de sus fronteras. En 1982, el CEPT¹⁰ estableció un grupo de trabajo para desarrollar un sistema que inicialmente se denominó

¹⁰ **CEPT** (*Conference of European Post and Telecommunications*) o Conferencia Europea de Administraciones de Correo y Telecomunicaciones: Es un organismo internacional encargado de las políticas y regulación de las comunicaciones en Europa.

Groupe Speciale Mobile (GSM) con el principal propósito de contrarrestar los problemas presentes en las redes analógicas de telefonía móvil (1G).

Años más tarde, el desarrollo del estándar GSM pasó a ser responsabilidad de la ETSI¹¹, denominando a su proyecto como *Global System for Mobile Communications*. GSM se convierte entonces en la piedra angular que da lugar al nacimiento de la telefonía móvil digital alrededor de todo el mundo.

GSM es un sistema de conmutación de circuitos que fue diseñado inicialmente para voz y que más tarde se adicionaron algunos servicios de datos. Este estándar ha estado marcado por tres fases en su evolución: **fase 1**, en la que se detallaron sus especificaciones y sus servicios básicos; **fase 2**, en donde se propuso la inclusión de servicios suplementarios (datos y fax) y la **fase 2+**, en donde se realizan mejoras sobre la codificación de voz y se implementan servicios de transmisión de datos (GPRS y EDGE).

Arquitectura de red GSM

El equipo terminal GSM se conoce como **Estación Móvil (MS)** y está conformado por:

- ✓ **Equipo Móvil (ME)**: Es el terminal en sí y está identificado por un número de 15 dígitos denominado IMEI¹² que se puede obtener marcando *#06#.
- ✓ **Identificador de Usuario (SIM)**: Es el chip que contiene el número IMSI¹³ que sirve para identificar el abonado de cara a la red. Esta tarjeta almacena información y una clave secreta para autenticación e información adicional del abonado [32].

¹¹ **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*) o Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones: Es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones de Europa, con proyección mundial.

¹² **IMEI**: Identidad Internacional del Equipo Móvil por sus siglas en inglés *International Mobile Equipment Identity*.

¹³ **IMSI**: Identidad Internacional de Abonado a Móvil, por sus siglas en inglés *International Mobile Subscriber Identity*.

La red de acceso se denomina **Subsistema de Estación Base (BSS)** y está conformada por:

- ✓ **Transceptor de Estación Base (BTS):** Es el elemento determinante en cada celda. Las BTSs controlan el enlace de radio constituyéndose en las puertas de acceso por parte de los usuarios a la red conectándose a ellos por medio de la interfaz Um.
- ✓ **Controlador de Estación Base (BSC):** Se encarga de las funciones centrales de la BSS y de controlar las BTSs que estén a su cargo. Se constituye además como el primer nivel de concentración de tráfico minimizando costes de transmisión.

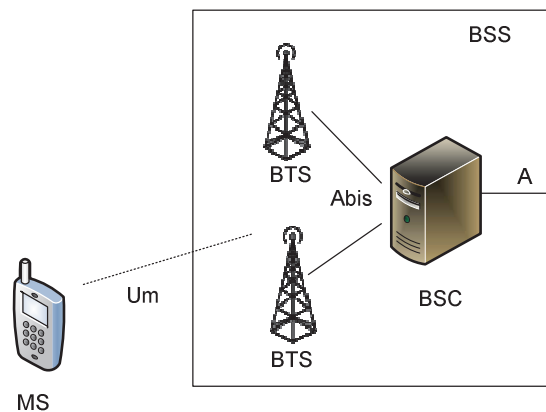


Figura 1. 19 Equipo Terminal y Red de Acceso GSM [33]

La red principal en el sistema GSM se la conoce como **Subsistema de Conmutación de Red (NSS)** y está compuesta por varios bloques funcionales e interfaces basadas en el *protocolo MAP*¹⁴, los cuales se describen a continuación:

- ✓ **Registro de Localización Base (HLR):** Esta entidad funcional es una base de datos encargada de la gestión de los clientes, sus servicios e información de localización.

¹⁴ **MAP** (*Mobile Application Part*) o Parte de Aplicación Móvil: Es un protocolo utilizado para que los distintos nodos de la red de núcleo GSM/GPRS y UMTS puedan comunicarse entre sí con el fin de proporcionar servicios a los usuarios de telefonía móvil.

- ✓ **Registro de Identidad de Equipos (EIR):** Es la entidad lógica responsable del control de acceso de los equipos móviles a la red mediante el almacenamiento de los IMEIs. Los mismos que están clasificados en: los que pueden operar sin restricciones en la red, los que deben ser objeto de cierto seguimiento o aquellos que tengan prohibido el servicio.
- ✓ **Centro de Autenticación (AuC):** Es una entidad asociada con el HLR que almacena los datos de cada cliente para permitir que el IMSI sea autenticado y se cifren las comunicaciones entre el terminal móvil y la red.
- ✓ **Centro de Conmutación Móvil (MSC):** Es una central que realiza todas las funciones de señalización y conmutación requeridas para el manejo de servicios CS hacia y desde las estaciones móviles localizadas en una determinada área geográfica. Una CN puede estar constituida por uno o varios MSCs.
- ✓ **Registro de Localización de Visitante (VLR):** Esta entidad almacena datos temporales de los terminales móviles localizados momentáneamente en el área controlada por una determinada MSC.
- ✓ **Centro de Conmutación Móvil Pasarela (GMSC):** Es una entidad encargada del encaminamiento de la llamada al MSC adecuado en donde se localiza la estación móvil y permite la interconexión con redes externas de conmutación de circuitos como: **PSTN** (*Public Switching Telephone Network*), **ISDN** (*Integrated Service Digital Network*), etc.
- ✓ **InterWorking Function (IWF):** Es una entidad asociada al MSC la cual proporciona la funcionalidad necesaria para permitir la interconexión entre una PLMN y redes de telefonía fija. Sus funciones dependerán de los servicios y el tipo de red fija, encargándose principalmente de la conversión de los protocolos utilizados en la PLMN a los empleados en la red fija.

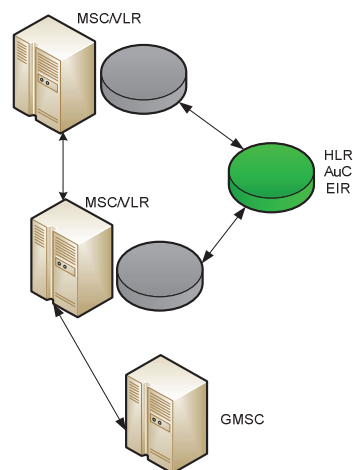


Figura 1. 20 Red de Núcleo GSM [33]

Acceso al medio

El sistema GSM utiliza una combinación de técnicas de acceso al canal para el reparto del espectro disponible: Utiliza FDMA para la división del ancho de banda total (25 MHz para el enlace de subida y 25 MHz para el enlace de bajada) en 125 canales con un ancho de banda de 200 kHz cada uno, pero se tendrían sólo 124 canales debido a que el canal 0 se utiliza para separar el sistema GSM de sistemas que utilizan bandas contiguas. GSM brinda una capacidad de transmisión de datos de alrededor 270 Kbps.

Estas frecuencias son atribuidas a cada estación base usando TDMA, siendo divididas en 8 *time slots*. El terminal móvil utiliza un intervalo de tiempo para la recepción y otro para la emisión de información, permitiendo enviar a una velocidad de 22.8 kbps por usuario. Además emplea SDMA para el conocido *reuso de frecuencias* en celdas no contiguas. El esquema de modulación utilizado en una ranura es GMSK¹⁵.

Canales físicos y lógicos GSM

GSM distingue a las ranuras de tiempo como **canales físicos** y a la información contenida por los mismos se les conoce como **canales lógicos**. Un

¹⁵ **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*): Es una modulación donde los datos pasan a través de un filtro gaussiano de premodulación estabilizando las variaciones de las frecuencias instantáneas a través del tiempo y reduciendo los lóbulos laterales en el espectro transmitido.

mismo canal físico es utilizado por diferentes canales lógicos para transferir información ya sea datos del usuario o mensajes de señalización.

En GSM existen dos tipos de canales lógicos: los **canales de tráfico** que pueden ser de velocidad completa (*Full-Rate*¹⁶) o velocidad media (*Half-Rate*¹⁷), estos canales transportan información ya sea voz o datos del usuario, y los **canales de control** que transportan señalización y sincronización entre la estación base y la estación móvil.

En la Tabla 1.4 se muestran las funciones y las variaciones que presentan los canales lógicos GSM según el enlace.

TIPO DE CANAL	DENOMINACIÓN	ENLACE	DESCRIPCIÓN	
Canales de Tráfico (Traffic Channel - TCH)	TCH/FS	BS ↔ MS	S: Voz (Speech) 9.6: Datos a 9600 bps. 4.8: Datos a 4800 bps. 2.4: Datos a 2400 bps. F: Full Rate. H: Half Rate.	
	TCH/F9.6			
	TCH/F4.8			
	TCH/F2.4			
	TCH/HS			
	TCH/H9.6			
	TCH/H4.8			
	TCH/H2.4			
Canales de Control (Control Channel - CCH)	Canales de Broadcast (Broadcast Channels - BCH)	BCCH	BS → MS	Canales de control utilizados para permitir el enganche de los móviles y el monitoreo de las potencias de los móviles en celdas vecinas.
		FCCH	BS → MS	
		SCH	BS → MS	
	Canales Comunes de Control (Common Control Channels - CCCH)	PCH	BS → MS	Canales de control usados para buscar a los abonados, establecer llamadas y asignar canales de señalización a los usuarios.
		RACH	BS ← MS	
		AGCH	BS → MS	
	Canales de Control Dedicados (Dedicated Control Channels - DCCH)	SDCCH	BS ↔ MS	Canales de control bidireccional utilizados para prestar los servicios de señalización y supervisión al usuario.
		SACCH	BS ↔ MS	
		FACCH	BS ↔ MS	

Tabla 1. 4 Canales lógicos GSM [34] [35]

¹⁶ **Full Rate:** Los datos del usuario están contenidos en un *timeslot* por trama.

¹⁷ **Half Rate:** Los datos del usuario se transportan en el mismo *timeslot* pero se envían en tramas alternativas.

1.3.3.1.2. GPRS (General Packet Radio Service) y EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

El grupo 3GPP¹⁸ ha impulsado el desarrollo de las redes GSM en varios vértices tecnológicos. GPRS y su evolución EDGE sirven de puente entre la segunda y tercera generación de telefonía móvil. GPRS y EDGE incrementan notablemente la capacidad de transferencia de datos sobre conexiones basadas en conmutación de paquetes. GPRS soporta tasas de datos pico de 115 kbps y velocidades típicas de 80 kbps, mientras que EDGE alcanza tasas de datos pico de 474 kbps y un promedio de 130 kbps.

GPRS es idéntico a GSM en el esquema de modulación (GMSK), bandas de frecuencia, ancho del canal y estructuras de trama. Por tanto, es posible la mezcla de canales GPRS con canales GSM en una misma celda, incluso en una misma portadora. Para tener un canal GPRS se realiza una mínima inversión de la actualización de software y la inserción de un módulo PCU¹⁹ (hardware) en el BSC, este canal sólo se asigna cuando se transmiten o reciben paquetes.

EDGE respecto a GSM/GPRS usa una nueva técnica de modulación (8PSK²⁰) y codificación del canal haciendo necesarios instalar transceptores en las estaciones base y así soportar dicha modificación. EDGE es un método para incrementar las tasas de datos en el enlace de radio para GSM y GPRS.

Arquitectura de red

GPRS/EDGE es una red de datos que utiliza la infraestructura de la red GSM en su mayoría; sin embargo, se hace necesario agregar ciertos elementos de red, implementar nuevas interfaces y protocolos que permiten manejar el nuevo tipo de tráfico.

¹⁸ **3GPP** (*3rd Generation Partnership Project*): Es un acuerdo de colaboración entre ETSI y otros organismos de estandarización oficiales con el objetivo de crear especificaciones técnicas aplicables para un sistema móvil 3G basando en sistemas GSM de acuerdo a las especificaciones IMT-2000.

¹⁹ **PCU** (*Packet Control Unit*) o Unidad de Control de Paquetes: Es un hardware seudo independiente que sirve para segmentar y reensamblar paquetes de datos.

²⁰ **8PSK** (*8-Phase Shift Keying*): Es una modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos, su desplazamiento es de 8 símbolos.

El **equipo terminal GPRS**, con la misma funcionalidad que el *equipo terminal* en GSM, se refiere a una amplia variedad de teléfonos y estaciones móviles clasificados en tres grupos: *Terminales clase A*, soportan servicios GPRS y GSM simultáneamente; *Terminales clase B*, monitorean canales GSM y GPRS a la vez pero soportan únicamente uno de éstos, y *Terminales clase C*, soportan únicamente un servicio, ya sea GSM o GPRS/EDGE.

GPRS/EDGE en la **red de acceso** establece algunas variaciones como: la actualización de la interfaz de radio entre la BTS y el móvil. Adicionalmente cada BSC requiere de la instalación de una o más PCUs y de la actualización en software, mientras que las BTS requieren de una actualización en software mas no de una expansión de hardware.

En el **núcleo de red** en el sistema GPRS/EDGE ha sido extendido con una nueva clase de nodos de red que permiten crear un modo de transferencia de conmutación de paquetes de extremo a extremo que son:

- ✓ **SGSN (Serving GPRS Support Node)**: Sigue y mantiene la posición de los equipos móviles en su área, además realiza funciones de seguridad y control de autenticación de comunicaciones en modo paquete.
- ✓ **GGSN (Gateway GPRS Support Node)**: Proporciona la conexión con redes externas de conmutación de paquetes.

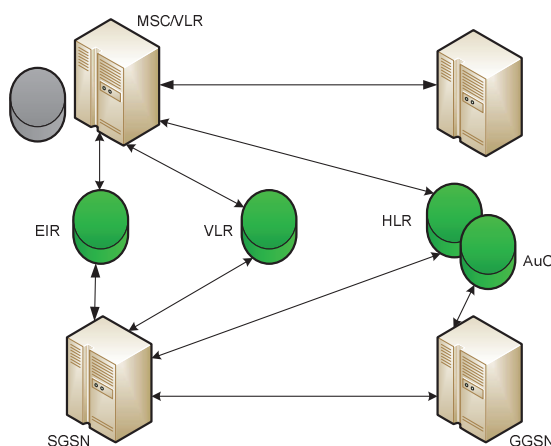


Figura 1. 21 Red de Núcleo GSM/GPRS/EDGE [36]

Acceso al medio

GPRS, al igual que GSM, define una nueva interfaz para ofrecer la transmisión de paquetes sobre la interfaz de radio basada en TDMA estableciendo nuevas formas de usar los canales de radio GSM ya existentes.

En GPRS se establecen procedimientos a través de los cuales múltiples usuarios pueden compartir simultáneamente los recursos de radio y las ranuras de tiempo. A diferencia de la asignación de ranuras de tiempo indefinido en GSM, GPRS asigna ranuras de tiempo al usuario sobre la base paquete a paquete.

Canales físicos y lógicos GPRS/EDGE

El sistema GPRS/EDGE hace una diferencia entre la información de señalización y los datos del usuario. A los **canales de tráfico** se los divide en dos grupos: De conmutación de circuitos y de conmutación de paquetes, en los primeros se asigna un canal durante la duración de toda la llamada y a los últimos, múltiples usuarios comparten un canal particular en ciertas ranuras de tiempo y frecuencias en TDMA.

En la Tabla 1.5 se presentan los canales físicos y lógicos propios de GPRS que se suman a los canales ya existentes en GSM.

1.3.3.1.3. UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)

El grupo 3GPP estableció a UMTS como un estándar 3G de telefonía móvil que mejora aún más la tasa de transmisión de datos llegando a alcanzar velocidades de 2 Mbps. Debido a este incremento, los usuarios de UMTS tienen la posibilidad de acceder a contenidos y servicios multimedia de banda ancha independientemente del lugar donde se encuentren.

UMTS nace en diciembre del 1999 con sus especificaciones detalladas en el **release 99** en donde se procura garantizar la interoperabilidad con tecnologías precedentes (GSM/GPRS/EDGE). El siguiente paso se nombra como **release 00** (conocido más tarde como **release 4**), en éste se añaden cambios relacionados con la separación de flujos de información y sus mecanismos de control en la conmutación de circuitos de la red principal.

TIPO DE CANAL		DENOMINACIÓN	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canales Físicos GPRS	Canales de Paquetes de Datos (<i>Packet Data Channel - PDCH</i>)	Canales PDCH dedicados	BS ↔ MS	Son asignados de forma exclusiva para el servicio GPRS.
		Canales PDCH bajo demanda	BS ↔ MS	Son utilizados para GPRS si no son necesarios para GSM.
Canales Lógicos GPRS	Canales Comunes de Control de Paquetes (<i>Packet Common Control Channel - PCCCCH</i>)	<i>Packet Paging Channel (PPCH)</i>	BS → MS	Utilizado para localizar una estación móvil antes de la transferencia de paquetes. Este canal puede ser usado tanto para conmutación de paquetes como de circuitos.
		<i>Packet Random Access Channel (PRACH)</i>	BS ← MS	Utilizado por la estación móvil para solicitar canales GPRS para enviar datos o información de señalización.
		<i>Packet Access Grant Channel (PAGCH)</i>	BS → MS	Utilizados en la fase de establecimiento para comunicar a la estación móvil la asignación de canales de tráfico asignados antes de la transferencia de paquetes.
	Canales de Difusión de Paquetes	<i>Packet Broadcast Control Channel (PBCCH)</i>	BS → MS	Utilizado para difundir información de control general del sistema GPRS. El PBCCH emite paquetes de datos de información específica del sistema. Si no se asigna el PBCCH, el paquete de datos es emitido por un BCCH.
Canales Lógicos GPRS (cont)	Canales de Tráfico de Paquetes	<i>Packet Data Traffic Channel (PDTCH)</i>	BS ↔ MS	Usado para la transferencia de paquetes de datos.
	Canales Dedicados de Control de Paquetes (<i>Packet Dedicated Control Channel - PDCCH</i>)	<i>Packet Associated Control Channel (PACCH)</i>	BS ↔ MS	Constituye un canal de señalización relacionada a un MS asociado con un canal de tráfico PDTCH. Permite transferir el nivel de potencia e información del sistema.
		<i>Packet Timing Control Channel (PTCCH)</i>	BS ↔ MS	Utilizado para transmitir ráfagas de acceso aleatorio para permitir una estimación del avance del tiempo.

Tabla 1. 5 Canales Físicos y Lógicos [34] [35]

A más de seguir brindando soporte a servicios basados en la conmutación de circuitos, el **release 5** que aparece años más tarde, implementa el protocolo de transporte IP en toda su infraestructura, es así que lo convierte en una red de conmutación de paquetes de extremo a extremo. Las versiones posteriores al **release 5** apuestan por el protocolo *all-IP* como una solución en el transporte, control de la red e implementación y acceso a los servicios.

Arquitectura de red

El equipo terminal se lo conoce en el sistema UMTS como **Equipo de Usuario (UE)** y al igual que GSM/GPRS está compuesto por el *equipo móvil* y el *identificador de usuario (USIM)*.

En UMTS, la red de acceso se conoce como **Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN)**, y se compone de un conjunto de **Subsistema de Red de Radio (RNS)**, que a su vez se conforma por:

- ✓ **Nodo B:** Contiene el transmisor y receptor para comunicarse directamente hacia y desde los *UEs* ubicados en las celdas donde se provee cobertura. Se comunica con ellos mediante la interfaz *Uu*.
- ✓ **Controlador de la Red de Radio (RNC):** Controla uno o varios *Nodos B* que estén bajo su cargo. El RNC se encarga de la gestión de recursos de radio y algunas de las funciones de gestión de la movilidad. Los RNCs, no sólo se comunican con la red central con la interfaz *Iu* (*IuPS* para conmutación de paquetes y *IuCS* para conmutación de circuitos), sino también con RNCs vecinos mediante la interfaz *Iur*. Además se comunica con los *Nodos B* a través de la interfaz *Iub*.

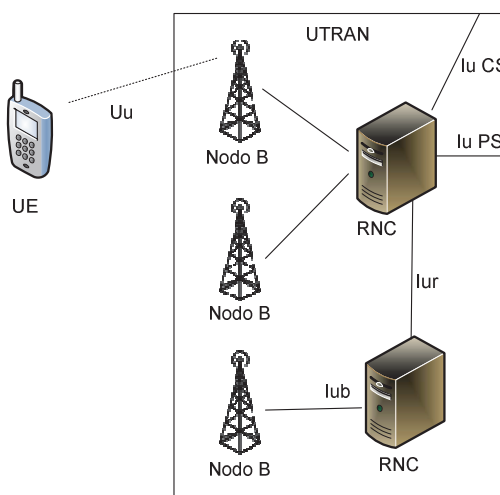


Figura 1. 22 Equipo Terminal y Red de Acceso UMTS [37]

La red principal en el sistema UMTS parte de la red troncal GSM/GPRS y se la conoce como **Red de Núcleo (CN)**. En esta red se distinguen claramente dos dominios: **Conmutación de Circuitos (CS)** y **Conmutación de Paquetes (PS)**. A través del modo CS se encaminarían los tráficos de voz y datos en modo circuito, y el modo PS haría lo propio con el tráfico de datos en modo paquete [38].

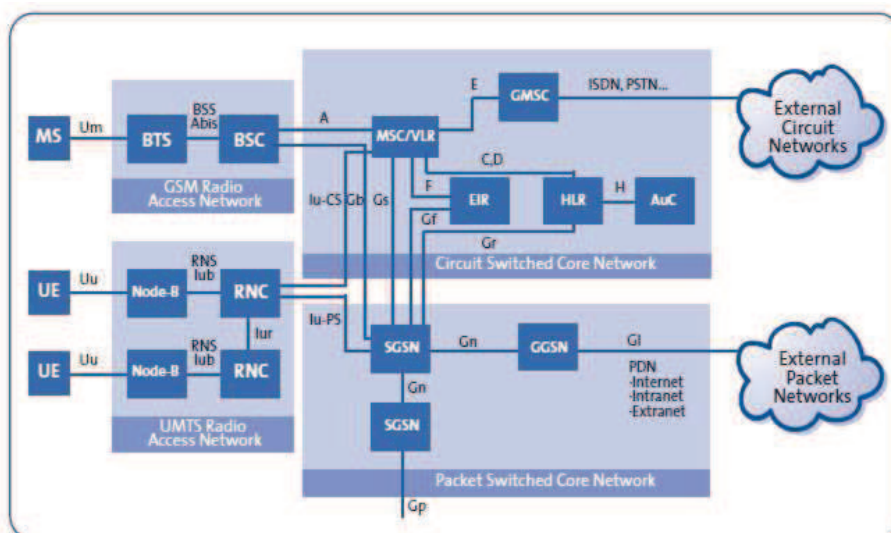


Figura 1. 23 Arquitectura de Red GSM/UMTS [38]

Acceso al medio

UMTS utiliza DS-CDMA denominado WCDMA²¹ como técnica de acceso múltiple para los canales de radio con un ancho de banda de 3.84 MHz, que con sus bandas de protección asciende a 5 MHz. WCDMA utiliza esquemas dúplex asíncrono en FDD para servicios simétricos con una amplia gama de velocidades y síncrono en TDD para servicios asimétricos en entornos microcelulares, y así permitir una comunicación simultánea en ambos sentidos. La tasa de chips²² de UMTS es 3.84 Mchips/s. Utiliza QPSK²³ (*downlink*) y BPSK²⁴ o QPSK dual (*uplink*) como técnicas de modulación.

²¹ En el concepto WCDMA se engloban la propuesta europeo – japonesa y el antiguo modo DS de la propuesta norteamericana CDMA2000.

²² **Chips:** Son los bits que componen el código digital WCDMA.

²³ **QPSK (4-Phase Shift Keying):** Es una modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos, su desplazamiento es de 4 símbolos.

²⁴ **BPSK (Binary Phase Shift Keying):** Es una modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos, su desplazamiento es de 2 símbolos.

Canales físicos, lógicos y de transporte UMTS

UMTS establece tres tipos de canales. Aquellos que describen la naturaleza de la información que transporta se les conoce como **canales lógicos**, los **canales de transporte** en cambio describen las características de envío de la información y los **canales físicos** son los que proporcionan el recurso radioeléctrico entre el terminal y el Nodo B. En la Tabla 1.6 se presentan los canales UMTS.

		TIPO DE CANAL	TIPO	SENTIDO	DESCRIPCIÓN
Canales Lógicos	De Control	<i>Broadcast Control Channel</i> (BCCH)	Común Control	Nodo B → UE	Difusión de información de control entre la red y una celda específica.
		<i>Paging Control Channel</i> (PCCH)	Común Control	Nodo B → UE	Envío de solicitud de <i>paging</i> para determinar la posición exacta de un UE para la establecer una comunicación.
		<i>Common Control Channel</i> (CCCH)	Común Control	Nodo B ↔ UE	Transmisión de peticiones de acceso al servicio y mensajes de concesión de acceso.
	De Tráfico	<i>Dedicated Control Channel</i> (DCCH)	Dedicado Control	Nodo B ↔ UE	Envío de información de control sobre una conexión activa dedicada.
		<i>Dedicated Traffic Channel</i> (DTCH)	Dedicado Tráfico	Nodo B ↔ UE	Transferencia de información entre la red y un terminal móvil.
		<i>Common Traffic Channel</i> (CTCH)	Común Tráfico	Nodo B → UE	Transmisión de datos a todos los UE de una misma célula o a un grupo específico de ellos.
Canales de Transporte	Común	<i>Broadcast Channel</i> (BCH)	Común Control	Nodo B → UE	Transporta el contenido del BCCH.
		<i>Forward Access Channel</i> (FACH)	Común Control	Nodo B → UE	Transmite información de control a un UE que se conoce que está dentro de la celda.
		<i>Paging Channel</i> (PCH)	Común Control	Nodo B → UE	Contiene información de radiobúsqueda utilizado para el inicio de una conexión con el UE.
		<i>Downlink Shared Channel</i> (DSCH)	Común Tráfico	Nodo B → UE	Transporta información dedicada del usuario para el tráfico de paquetes en un canal compartido.
		<i>Random Access Channel</i> (RACH)	Común Control	Nodo B ← UE	Transmite la petición de acceso al servicio.
		<i>Common Packet Channel</i> (CPCH)	Común Tráfico	Nodo B ← UE	Paquetes de usuario para tráfico en ráfagas.
	Dedicado	<i>Dedicated Channel</i> (DCH)	Dedicado Tráfico	Nodo B ↔ UE	Transmisión de señalización en un móvil específico correspondiente al DCCH y al DTCH.

		TIPO DE CANAL	TIPO	SENTIDO	DESCRIPCIÓN
Canales Físicos	Asociados a canales de transporte	<i>Primary Common Control Physical Channel (P-CCPCH)</i>	Común Control	Nodo B → UE	Soporta el canal BCH.
		<i>Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH)</i>	Común Control	Nodo B → UE	Soporta los canales FACH y PCH.
		<i>Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)</i>	Común Tráfico	Nodo B → UE	Soporta el canal DSCH.
		<i>Physical Random Access Channel (PRACH)</i>	Común Control	Nodo B ← UE	Soporta el canal RACH.
		<i>Physical Common Packet Channel (PCPCH)</i>	Común Tráfico	Nodo B ← UE	Soporta el canal CPCH.
		<i>Dedicated Physical Data Channel (DPDCH)</i>	Dedicado Tráfico	Nodo B ↔ UE	Soporta el tráfico de datos del DCH.
		<i>Dedicated Physical Control Channel (PDCCH)</i>	Dedicado Control	Nodo B ↔ UE	Soporta el tráfico de señalización del DCH.
	Asociado a canales de transporte	<i>Common Pilot Channel (CPICH)</i>	Común	Nodo B → UE	Señal piloto continua para referencia de potencia y fase a los UEs.
		<i>Synchronization Channel (SCH)</i>	Común	Nodo B → UE	Sincronización del UE con una célula.
		<i>Acquisition Indicator Channel (AICH)</i>	Común	Nodo B → UE	Notifica aceptación/rechazo de solicitudes de registro.
		<i>Access Preamble-Acquisition Indicator Channel (AP-AICH)</i>	Común	Nodo B → UE	Similar al AICH pero con solicitudes del uso de CPCH.
		<i>CPCH Status Indicator Channel (CSICH)</i>	Común	Nodo B → UE	Informa la disponibilidad del CPCH.
		<i>Collision Detection/Channel Acquisition-Indicator Channel (CD/CA-ICH)</i>	Común	Nodo B → UE	Informa sobre la detección de colisiones y asignación del CPCH.
		<i>Paging Indicator Channel (PICH)</i>	Común	Nodo B → UE	Informa a UE sobre decodificación del PCH.

Tabla 1. 6 Canales de WCDMA [34] [35]

1.3.3.2. Estándares Americanos

De igual manera como se estableció *3GPP* para la estandarización UMTS, la estandarización de las tecnologías **CDMA 2000 1x** se realiza a través de un

proyecto de colaboración llamado *3GPP2*²⁵. Al basarse en CDMA posee las características inherentes de esta tecnología e introduce mejoras al emplear técnicas como OFDM²⁶ y OFDMA. Agrega también mecanismos de control y señalización, técnicas de gestión de interferencia, el empleo de nuevos sistemas de antenas como el denominado MIMO (*Multiple Inputs Multiple Outputs*) y la tecnología SDMA con el objetivo de incrementar las tasas de transmisión y QoS, mejorar la capacidad de la red y reducir costos en el transporte de la red [39].

En **CDMA 2000 1x** se incrementa la capacidad que ofrece IS-95 con la creación de nuevos canales tanto descendentes (*forward*) como ascendentes (*reverse*). Se modifican también los códigos de ensanchamiento y se realiza un control de potencia más estricto.

Los estándares CDMA2000 1x que existen en Ecuador son:

1.3.3.2.1. CDMA 2000 1xRTT (1x Radio Transmission Technology) / IS-95C

CDMA 2000 1x fue desplegada mundialmente en octubre del año 2000 y se considera parte del proceso evolutivo de la red CDMA hacia la tercera generación. Opera en un par de canales de 1,25 MHz y mantiene la tasa de chips 1.2288 Mchips/s de su antecesor. Esta tecnología duplica la capacidad de voz de las redes IS-95 (CDMAOne) soportando hasta 40 llamadas de voz simultáneas, y aunque es aceptada oficialmente como una tecnología 3G, algunos lo consideran de generación 2.5 G (o a veces de 2.75 G) [40]. Las velocidades alcanzadas son 307 kbps pico (voz) y 153 kbps típico (datos).

1.3.3.2.2. CDMA 2000 1xEV-DO (1x Evolution-Data Optimized) / IS-856

CDMA2000 1xEV-DO es un estándar lanzado en octubre del 2006 que incorpora una interfaz de *uplink* más eficiente y brinda servicios de paquetes debido a que incorpora una arquitectura basada en IP compatible totalmente con estándares IS-95A/B. En su revisión A, CDMA2000 1x EV-DO opera en canales

²⁵ **3GPP2** (*3rd Generation Partnership Project 2*): Es un acuerdo de colaboración entre TTA y otros organismos de estandarización oficiales similar a 3GPP pero para sistemas americanos garantizando que los sistemas CDMA 2000 se ajusten al IMT-2000.

²⁶ **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) o Multiplexación de Frecuencias Ortogonales: Es una técnica de multiplexación que utiliza un conjunto de subportadoras de diferentes frecuencias ortogonales entre sí, donde cada una transporta información.

FDD de 1.25 MHz y alcanza valores picos de 3.1 Mbps (*downlink*) y 1.8 Mbps (*uplink*). La tasa de datos típica está entre 600 Kbps y 1.4 Mbps. Los tipos de modulación que CDMA 2000 1xEV-DO puede usar son BPSK, QPSK, 8-PSK y 16-QAM²⁷ y el uso depende si es un enlace directo o bien si es un enlace reverso.

Arquitectura de Red

✓ Equipo Terminal y Red de Acceso

La función del equipo terminal y la red de acceso es similar a la de los sistemas GSM/UMTS. Los *equipos terminales* se conocen como *Estación Móvil (MS)* y *Terminal de Acceso (AT)* para el sistema CDMA2000 1xRTT y CDMA2000 1xEVDO respectivamente. La *red de acceso*, al igual que las redes GSM está compuesta por BTSs y BSCs con sus respectivas funcionalidades.

✓ Red de Núcleo

Al igual que UMTS, la *red de núcleo* está compuesta por dos dominios, el de conmutación de circuitos y el de conmutación de paquetes. El dominio de conmutación de circuitos en CDMA2000 1x utiliza los mismos elementos que la red troncal de GSM alrededor del MSC, pero difiere en el protocolo de gestión de movilidad, ya que en CDMA2000 1x emplea el protocolo especificado en la norma de la red ANSI-41²⁸ [38].

Los elementos adicionales necesarios para la conmutación de paquetes en CDMA2000 1x son:

- ❖ **Función de Control de Paquetes (PCF):** Su función primordial es coordinar la transferencia de paquetes de datos entre las BSCs y los elementos de la red

²⁷ **16QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation*) o Modulación de amplitud en cuadratura de 16 estados: Es una técnica de modulación digital avanzada que transporta datos donde cada flujo de datos se divide en grupos de cuatro bits, y a su vez en subgrupos de 2 bits, codificando cada bit en 4 estados o niveles de amplitud y fase de las portadoras.

²⁸ **ANSI-41:** Conocido también como *IS-41*, es un estándar de sistemas de telecomunicaciones móviles para apoyar la gestión de movilidad. ANSI-41 compite con GSM MAP pero finalmente se fusionarán para apoyar la itinerancia a escala mundial.

de conmutación en paquetes (PDSN). Su implementación suele combinarse con el BSC. Controla además el estado de *latencia* de la sesión PPP²⁹.

- ❖ **Nodo de Servicio de Datos (PDSN):** Se ocupa de establecer, mantener y terminar las sesiones PPP con los usuarios. Interactúa con el servidor AAA iniciando la autenticación, autorización y el registro para el cliente móvil.
- ❖ **Autenticación, Autorización y Contabilidad (AAA):** El servidor AAA está basado en RADIUS³⁰ y contiene la información previa de los paquetes de datos de los abonados. Este servidor ofrece autenticación para conexiones IP móviles y sesiones PPP, autorización, administración/distribución de claves de seguridad y contabilidad para los servicios de datos conmutados por paquetes.
- ❖ **Agente Local (HA):** Almacena la información sobre el nodo móvil, en donde una de las tareas que realiza es el rastreo de la localización del suscriptor IP móvil, cuando se traslada de una zona de paquetes a otra. En el rastreo móvil, el HA asegurará que los paquetes sean enviados a ese mismo móvil.

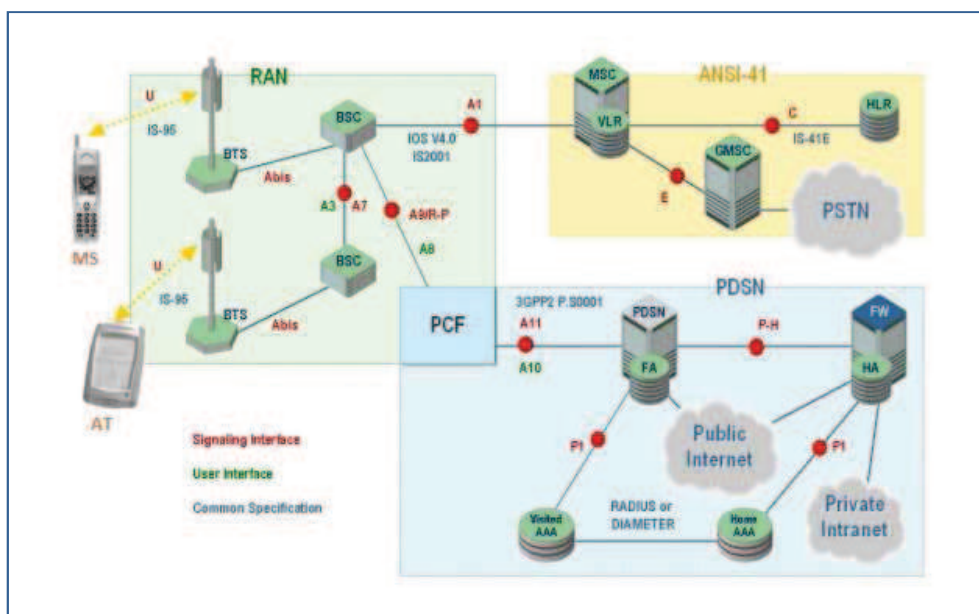


Figura 1. 24 Arquitectura de red CDMA2000 1x [41]

²⁹ PPP es un protocolo de capa 2 que permite establecer una comunicación entre dos usuarios a nivel de enlace.

³⁰ RADIUS (*Remote Authorization Dial-In Service*): Es un protocolo de autenticación y autorización para aplicaciones de acceso a la red o movilidad IP.

Canales CDMA2000 1x

Los sistemas *CDMA2000 1x* cuentan de manera esencial con los mismos canales que los sistemas IS-95 (CDMAOne): piloto, sincronía, voceo, tráfico y acceso. Se establecen dos familias de canales físicos: para el enlace ascendente y descendente, respectivamente. A su vez, los canales físicos pueden clasificarse también en comunes y dedicados. Los comunes (PCH, SCH, PICH, ACH) son compartidos por varios móviles, y los dedicados (TCH) se asignan a un móvil específico para acceder a un servicio requerido.

Se agregan canales en *CDMA2000 1x* con la finalidad de llevar a cabo acciones específicas y lograr un mejor desempeño del sistema. Este incremento permite ofrecer a *CDMA2000 1x* varios servicios simultáneos de diferentes caudales de tráfico. Obviamente, los múltiples canales simultáneos que pueden asignarse a un móvil absorben la capacidad del sistema, por lo que el número de canales debe ser una transacción entre la demanda del terminal y la capacidad disponible.

En las Tablas 1.7 y 1.8 se presentan los canales físicos para el enlace ascendente y el enlace descendente de CDMA2000 1x:

	TIPO DE CANAL	DESCRIPCIÓN
Pilot Channels	<i>Pilot Channel</i> F-PICH	Transmiten una señal de espectro ensanchado de referencia para la selección de portadora por los terminales móviles que se desplazan dentro de la zona de cobertura de la BTS que los radia. Proporcionan también una referencia de fase para la demodulación coherente de los canales descendentes asociados al piloto auxiliar.
	<i>Transmit Diversity Pilot Channel</i> F-TDPICH	
	<i>Auxiliary Pilot Channel</i>	
	F-APICH	
Paging Channels	<i>Auxiliary Transmit Diversity Pilot Channel</i> F-ATDPICH	Lo emplea la BTS para transmitir información de <i>overhead</i> y mensajes a los móviles
	<i>Paging Channel</i> (SR1)	
	F-PCH	
	<i>Quick Paging Channel</i>	
Traffic Channels	F-QPCH	Utilizado para realizar avisos a móviles que funcionan en modo <i>slotted</i> , tanto si reciben como si no los canales de control común, de difusión o aviso.
	DCCH (0 ó 1)	
	FCH (0 ó 1)	
	PCsCH	
	SCCH (RC1 y 2 / 0 a 7)	
SCH (RC3 y 9 / 0 a 2)	Se utilizan para la transmisión de la información de usuario y/o señalización específica del móvil durante la llamada. Incluyen también un subcanal de control de potencia.	

TIPO DE CANAL	DESCRIPCIÓN
Common Assignment Channel F-CACH	Utilizado por la BTS para acusar recibo a las transmisiones de los móviles que emplean el canal de acceso mejorado y en el modo de reserva.
Common Power Control Channel F-CPCH	Utilizado por la BTS para transmitir información en forma de subcanales para el control de potencia de múltiples terminales móviles.
Common Control Channel F-CCCH	Utilizado por la BTS para transmitir mensajes específicos a los móviles.
Synchronization Channel F-SCH	Utilizado por los terminales móviles para la adquisición de la sincronización en la celda donde se encuentran.
Broadcasting Channel F-BCH	Utilizado para transmitir información general del sistema y avisos de la BTS a los terminales.

Tabla 1. 7 Canales Físicos del *Forward Link* [42]

TIPO DE CANAL	DESCRIPCIÓN	
Pilot Channel <i>Pilot Channel</i> R-PICH	Es una señal del espectro ensanchado, enviada por el terminal móvil para ayudar a la BTS a detectar sus transmisiones.	
Access Channel <i>Access Channel</i> R-ACH	Lo utiliza el móvil para iniciar la comunicación con la BTS y responder a mensajes del canal directo F-PCH.	
Traffic Channel	<i>Fundamental Channel</i> R-FCH <i>Supplemental Channel</i> R-SCH	Utilizado por el móvil para la transmisión de información de usuario por una vía dedicada.
	<i>Enhanced Access Channel</i> R-EACH	Emplea el móvil para responder a un mensaje directo de la BTS.
	<i>Dedicated Control Channel</i> R-DCCH	Utilizados para la transmisión de información de usuario y de señalización a la BTS durante una comunicación en curso.
	<i>Supplemental Code Channel</i> R-SCCH	Opera con el canal principal inverso y opcionalmente con otros canales de código suplementario inverso para proporcionar los datos más altos de tasas de servicios que se transmite
	<i>Reverse Common Control Channel</i> R-CCCH	Emplea para la transmisión de información de usuario y señalización para la BTS cuando no se usan los canales de tráfico inverso.

Tabla 1. 8 Canales Físicos del *Reverse Channel* [42]

1.4. PROPAGACIÓN DE ONDAS DE RADIO

A la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio se la conoce como onda electromagnética. Las ondas electromagnéticas resultan de la oscilación perpendicular de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio, transportando energía de un lugar a otro, ya que no necesitan de un medio material de transporte puesto que viajan a través del aire o vacío.

Donde h es la *constante de Planck*³¹, cuyo valor es $h=6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{seg}$

De aquí, se puede establecer que las ondas con una frecuencia alta serán muy energéticas, mientras que aquellas cuyas frecuencias sean bajas transportarán menos energía.

1.4.2. PROPIEDADES DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA

❖ Refracción

Consiste en el cambio de dirección que sufre una onda electromagnética al pasar en dirección oblicua de un medio material a otro. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que se propaga. Por consiguiente, hay refracción siempre y cuando una onda de radio se propague de un medio a otro con distinta densidad [44].

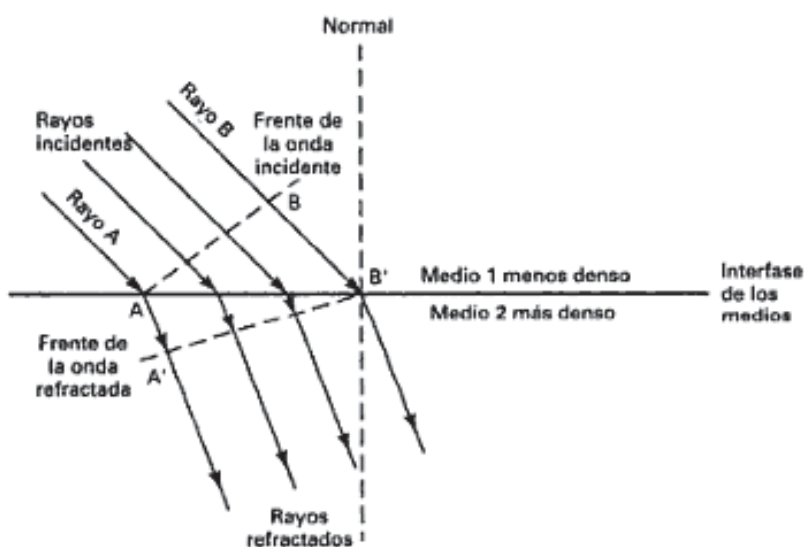


Figura 1. 26 Refracción [44]

❖ Reflexión

Consiste en el cambio de dirección que experimenta una onda electromagnética cuando choca con un medio que no se puede atravesar, en

³¹ **Constante de Planck (h):** Es una constante física que representa al cuanto elemental de acción. Es la relación entre la cantidad de energía y de frecuencia asociadas a un cuanto o a una partícula.

donde parte o toda la potencia de la onda no se propaga en la misma dirección si no que se irradia en dirección opuesta al obstáculo.

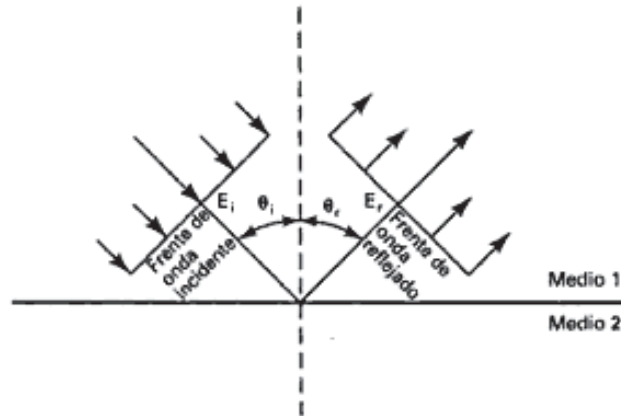


Figura 1. 27 Reflexión [44]

❖ Difracción`

Es la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco [44]. Es decir, consiste en el esparcimiento y curvado aparente de las ondas electromagnéticas cuando encuentran un obstáculo o atraviesan una rendija.

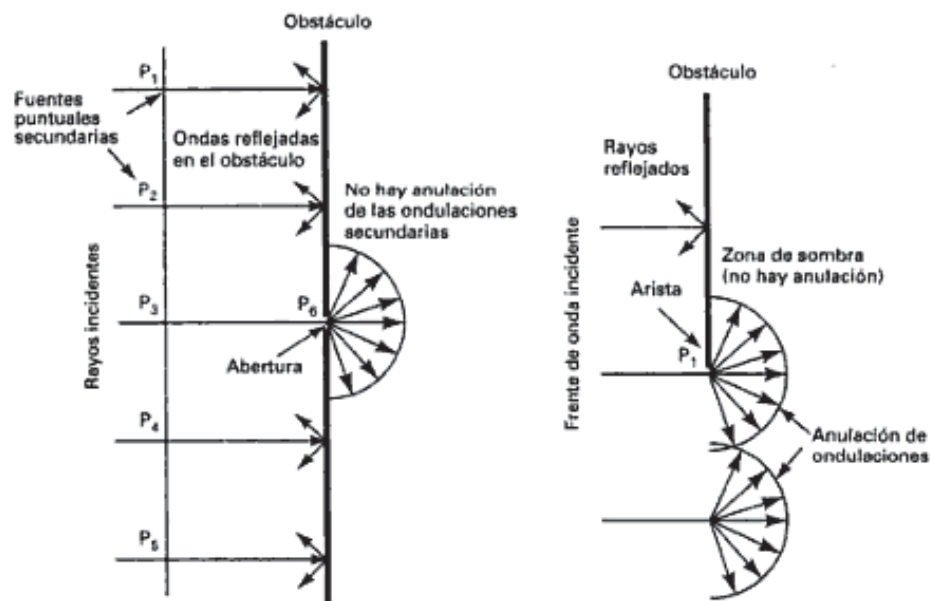


Figura 1. 28 Difracción [44]

❖ Interferencia

Ocurre cuando dos o más ondas electromagnéticas de la misma naturaleza coinciden en un punto del medio en forma simultánea degradando el sistema.

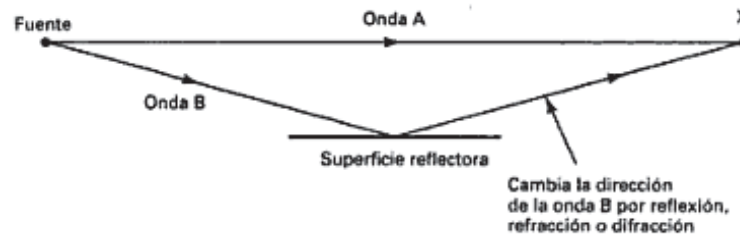


Figura 1. 29 Interferencia [44]

La refracción, la reflexión y la difracción pertenecen a la óptica geométrica y su comportamiento se analiza principalmente en *frentes de onda*³² y *función de rayos*³³. Por otro lado, la interferencia está sujeta al *principio de superposición lineal*³⁴ de las ondas electromagnéticas [44].

1.4.3. PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN (ATENUACIÓN)

Se conoce como pérdida de propagación al deterioro de potencia sufrida por la señal en su trayecto entre la antena de transmisión y la antena de recepción. Todas las señales transmitidas son atenuadas durante la propagación siendo afectadas por la ubicación del transmisor y receptor, así como el movimiento que se dé a su alrededor. El grado de atenuación depende en gran medida de la frecuencia de la señal, a señales de alta frecuencia se tendrá mayor atenuación.

El análisis de la propagación de las ondas de radio es muy complejo debido a que el camino más corto entre el transmisor y el receptor es a menudo bloqueado por objetos fijos y en movimiento. El trayecto directo entre estos elementos se le conoce como **LOS** (*Line-of-Sight*) en donde la señal viaja a través

³² **Frentes de onda:** Es el lugar geométrico de todos los puntos del medio que son alcanzados por el movimiento ondulatorio en el mismo instante o dicho de otra manera son todos los puntos del medio con igual fase de vibración.

³³ **Función de rayos:** Se considera como una línea trazada a lo largo de la dirección de propagación de una onda electromagnética y es perpendicular a los frentes de onda.

³⁴ **Principio de superposición lineal:** Establece que la intensidad total del voltaje en un punto determinado es la suma de los vectores individuales.

de un camino sin obstrucciones, mientras que al camino en donde la señal llega al receptor por medio de reflexiones, difracciones y dispersiones se lo denomina como enlace **NLOS** (*No-Line-of-Sight*).

El hecho de que exista una línea recta ininterrumpida, no garantiza por sí sola la calidad de la señal entre el transmisor y el receptor. Aquí, es necesario revisar otro concepto importante la *Zona de Fresnel*. Este concepto se define como el volumen de espacio existente entre el emisor y transmisor de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero se debe determinar la línea de vista de radiofrecuencia, es decir la línea recta que une los focos de las antenas transmisora y receptora. La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es [45]:

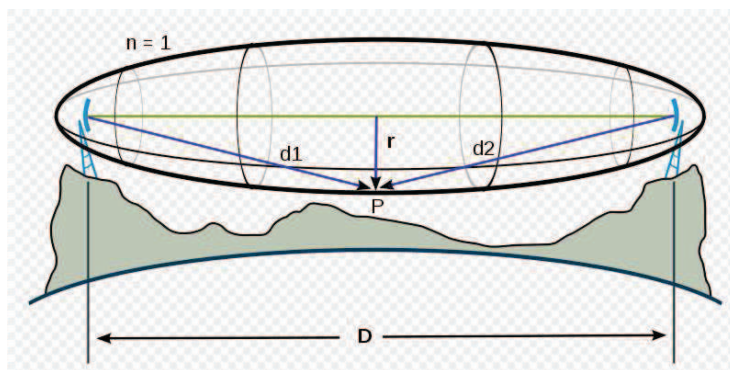


Figura 1. 30 Zonas de Fresnel [45]

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Ecuación 1. 3

Donde:

- r_n : radio de la n ésima zona de Fresnel en metros ($n=1,2,3\dots$).
- d_1 : distancia desde el transmisor al objeto en metros.
- d_2 : distancia desde el objeto al receptor en metros.
- λ : longitud de onda de la señal transmitida en metros.

1.4.4. PROBLEMAS DE PROPAGACIÓN EN COMUNICACIONES MÓVILES

En un entorno de telefonía móvil, cinco factores que aportan a la pérdida de propagación son [6]:

- Configuraciones naturales del terreno, tales como: una superficie plana, colinas, agua, montaña, valle y desierto.
- Estructuras artificiales tales como: áreas abiertas, áreas suburbanas y urbanas, y las áreas metropolitanas.
- Ruido provocado por el hombre, por ejemplo: ruido de encendido del automóvil y el ruido de máquinas.
- El movimiento del medio provocado por la movilidad de las unidades móviles y portátiles.
- El medio dispersivo causado por el desvanecimiento selectivo de frecuencia y la propagación de retardo.

Estos cinco factores son hechos significativos debido a que la antena móvil está muy cerca de la tierra. En particular, los factores *b*, *d* y *e* muestran que un entorno multitrayecto causa diferentes degradaciones de la señal. El entorno se caracteriza por la selectividad en diversos ámbitos como: espacio, tiempo y frecuencia.

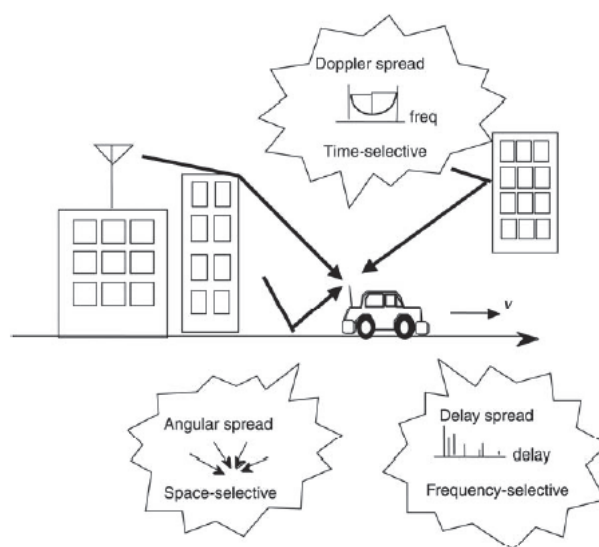


Figura 1. 31 Relación entre propagación y selectividad en tres diferentes dominios en un ambiente multitrayecto [6]

En la figura 1.31 se muestra tres tipos de relaciones entre la propagación y la selectividad: **(1)** Dispersión angular y selectiva en el espacio, **(2)** *Doppler spread* y selectiva en el tiempo y **(3)** *Delay spread* y selectivo en frecuencia.

Ahora se revisarán los mecanismos de propagación que provocan el deterioro de las señales que son:

1.4.4.1 Multicaminos (*Multipath*)

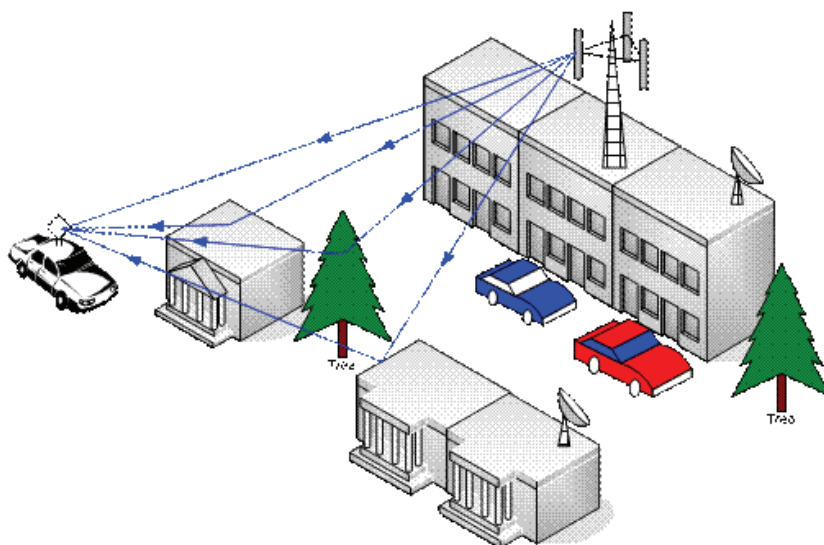


Figura 1. 32 Desvanecimiento multitrayecto [46]

Existen *múltiples caminos* para que la señal llegue a su destino. Debido a esto, el terminal móvil además de recibir la señal más corta proveniente desde el transmisor recibe las señales resultantes de rebotes con diferentes obstáculos (montañas, edificios, etc.) encontrados en su camino. A este efecto se lo conoce como *desvanecimiento multitrayecto*.

La señal total recibida por el receptor a causa de este desvanecimiento está compuesta por una señal principal y señales secundarias; las últimas son una versión de la primera, pero de diferente amplitud y fase debido a que efectúan un recorrido más largo. Esta suma puede reforzar la señal resultante (interferencia constructiva) o anularla (interferencia destructiva) [47].

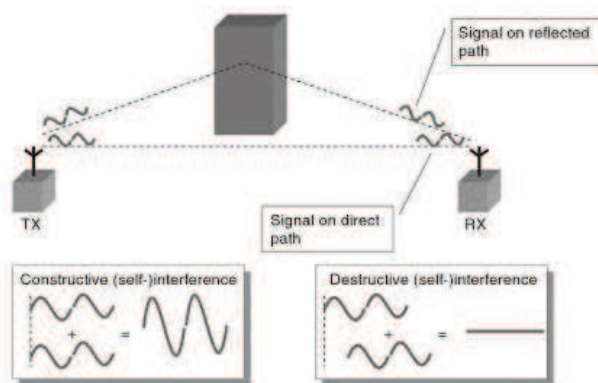


Figura 1. 33 Interferencia constructiva e interferencia destructiva [48]

En un canal con múltiples caminos se presentan tres tipos de variaciones que se pueden considerar aisladamente como:

❖ **Ensanchamiento temporal o Dispersión de retardo (*Delay Spread*)**

Delay spread es producto del efecto multicamino que sufren las comunicaciones móviles. Es causado por las diferencias en el tiempo de llegada de las señales debido a los diversos caminos que siga cada componente de la señal total. *Delay spread* es proporcional a la longitud del camino que recorre y tiene como efectos directos la dispersión en el tiempo y el desvanecimiento selectivo en frecuencia, es decir la señal sufre atenuaciones diferentes a frecuencias distintas.

Un efecto negativo presente a causa del *delay spread* es la **interferencia intersímbolo (ISI)**. Esta interferencia hace que los símbolos (cada uno representado por uno o más bits) de los datos se superpongan en el receptor. Esto ocurre cuando un símbolo anterior al que se está recibiendo interfiere debido a una o más reflexiones que en su viaje hayan experimentado. Claramente, el efecto se agrava con velocidades de transmisión altas y no se pueden evitar simplemente con el aumento de la potencia de la señal transmitida sino con la ayuda de ecualizadores y así contrarrestar el problema.

La **raíz cuadrada media (rms)** del *delay spread* se utiliza como una medida adecuada para estimar la cantidad de *ISI* causada por un canal inalámbrico múltiple. La tasa máxima de datos alcanzable depende principalmente de su valor más no de la forma de su función.

El **ancho de banda de coherencia (B_c)** es utilizado para caracterizar el canal en el dominio de la frecuencia y se define como el máximo ancho de banda en donde una señal puede ser transmitida en un canal sin que las distorsiones de la propagación multicamino le afecten significativamente. El *valor rms* del *delay spread* y el *ancho de banda de coherencia* son inversamente proporcionales.

$$B_c \propto \frac{1}{\sigma_\tau} \quad \text{Ecuación 1. 4}$$

Si el ancho de banda de coherencia se define como el ancho de banda sobre el cual la función de correlación frecuencial es superior a 0.9, entonces el ancho de banda de coherencia es aproximadamente [49]:

$$B_c \approx \frac{1}{50\sigma_\tau} \quad \text{Ecuación 1. 5}$$

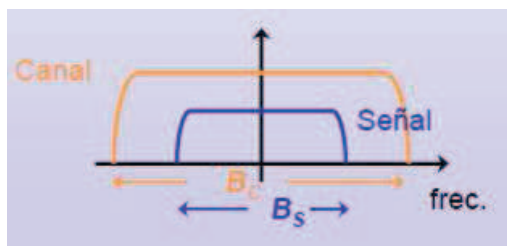
Si la definición se atenúa de forma que la función de correlación frecuencial está por encima de 0.5, el ancho de banda de coherencia es aproximadamente [49]:

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau} \quad \text{Ecuación 1. 6}$$

Siendo σ_τ el valor rms del *delay spread*.

Considerando que la señal transmitida tiene un ancho de banda B_s , y su relación con el *ancho de banda de coherencia*, se pueden establecer los siguientes canales:

- **Canal no selectivo en frecuencia o "flat fading".**



- ✓ $B_s < B_c \leftrightarrow \sigma_\tau < T_s$.
- ✓ El canal no se distorsiona.
- ✓ Conserva el espectro de la señal transmitida.

Figura 1.34. Fading plano [50]

➤ **Canal selectivo en frecuencia.**

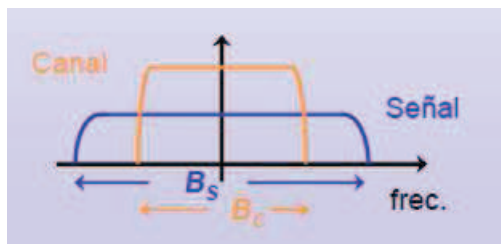


Figura 1. 35 Fading selectivo en frecuencia [50]

- ✓ $B_s > B_c \leftrightarrow \sigma_\tau > T_s$.
- ✓ ISI.
- ✓ No conserva el espectro de la señal transmitida.
- ✓ Puede resolver las componentes de *multipath*.

❖ **Ensanchamiento frecuencial o Doppler Spread**

Doppler spread es la varianza en el tiempo de propagación del canal de transmisión debido al desplazamiento del terminal móvil durante la comunicación. Esto provoca desvanecimientos selectivos en el tiempo que distorsionan la señal recibida y una dispersión frecuencial que se traduce en una alteración del ancho de banda de la señal transmitida, produciendo ensanchamientos o estrechamientos de la misma [51].

En sistemas OFDM por ejemplo, el efecto negativo que se presenta a causa de *Doppler spread* es la **interferencia entre portadoras (ICI)**. La sincronización en tiempo y frecuencia entre el transmisor y el receptor OFDM es crítica en términos de prestaciones del sistema de comunicaciones. Tan solo una pequeña desviación entre el transmisor y el receptor provocará que existan un desplazamiento en frecuencia y una reducción significativa de la amplitud de las portadoras, perdiendo por tanto la ortogonalidad que caracterizan a estos sistemas.

El **tiempo de coherencia (T_c)** es la medida temporal que indica durante cuánto tiempo la respuesta impulsiva del canal es invariante, es decir, es el tiempo durante el cual la correlación de la amplitud es grande. *El Doppler spread* y el *tiempo de coherencia* son inversamente proporcionales.

$$T_c \propto \frac{1}{f_m}$$

Ecuación 1. 7

Si el tiempo de coherencia se define como el tiempo sobre el cual la función de correlación de la amplitud es superior a 0.5, entonces el tiempo de coherencia puede expresarse también como [49]:

$$T_c \approx \frac{9}{16\pi f_m}$$

Ecuación 1. 8

Siendo $f_m = c/\lambda$.

Ahora se considera una señal transmitida con símbolos de duración T_s y se compara con el *tiempo de coherencia* con lo que se llega a tener los siguientes canales:

➤ **Canal con Desvanecimientos Rápidos o "Fast fading".**

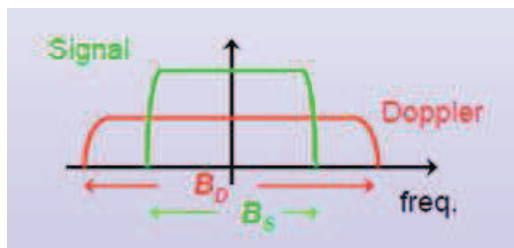


Figura 1. 36 Desvanecimiento rápido [50]

- ✓ Alta dispersión Doppler.
- ✓ Distorsión en el receptor.
- ✓ ICI en OFDM
- ✓ $1/B_{\text{Doppler}} \cong T_c \ll T_s$
- ✓ Distribución de Rayleigh.

➤ **Canal con Desvanecimientos Lentos o "Slow fading".**

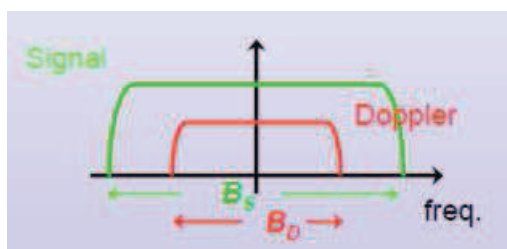


Figura 1.37. Desvanecimiento lento [50]

- ✓ Baja dispersión Doppler.
- ✓ No hay distorsión.
- ✓ $1/B_{\text{Doppler}} \cong T_c \gg T_s$
- ✓ Distribución Log-normal

Las características de las señales en un canal de banda estrecha y banda ancha son diferentes. Para las señales de banda estrecha el énfasis está en la potencia recibida, mientras que para las comunicaciones de banda ancha la

potencia recibida como las características multitrayecto son igualmente importantes.

❖ **Diversidad espacial o *Angular Spread***

El *angular spread* describe el ángulo de incidencia de la señal que llega al receptor. Se la puede calcular en dos planos, horizontal y vertical. La potencia recibida desde el plano horizontal es la más importante ya que la mayoría de las superficies reflectantes están relacionadas con la propagación horizontal. La dispersión angular vertical influye por ejemplo cuando la interferencia co-canal se reduce formando un ángulo de inclinación con la antena receptora.

Un efecto significativo que tiene esta dispersión es la dirección de instalación de la antena y la selección e implementación de la recepción tradicional de diversidad espacial. La misma consiste en utilizar dos antenas iguales físicamente y separadas entre sí. La distancia a la que deben estar tiene que asegurar que las señales recibidas sean independientes entre sí, o lo que es lo mismo, que estén sometidas a distintos patrones de desvanecimiento.

Otro parámetro clave es cuando se habla del rendimiento del sistema, debido a que la optimización de la relación portadora/interferencia (C/I) depende en gran medida de los ángulos de incidencia de la portadora y de las señales de interferencia.

1.4.5. MODELOS DE PROPAGACIÓN PARA COMUNICACIONES MÓVILES

Las comunicaciones móviles se caracterizan por las dificultades presentes en su entorno de comunicación, debido a la propagación de las ondas electromagnéticas. Esta propagación es un fenómeno enigmático, ya que no hay una forma precisa ni absoluta de saber cuáles serán las propiedades y características del canal de propagación.

Las características de propagación cambian de un lugar a otro de tal manera que, el patrón de transmisión entre transmisor y receptor puede ir desde el caso de línea de vista directa (LOS), al caso donde la trayectoria se encuentre

obstruida (NLOS). En el último caso los obstáculos y las superficies reflejadas en las cercanías de la antena tendrán una gran influencia en las características del patrón de propagación comprometiendo la calidad de servicio del sistema. A partir de estas propiedades se han establecido expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos que describen cómo el mundo físico afecta al flujo de la energía electromagnética dando lugar a los llamados *modelos de propagación*.

Los *modelos de propagación* se utilizan como una guía de conocimiento para comprender el comportamiento de la propagación de las ondas electromagnéticas, es decir describen las pérdidas de potencia de la señal en el tiempo debido al cambio de las condiciones atmosféricas y las pérdidas de potencia de la señal en el espacio debido a las condiciones del terreno. Existen una gran variedad de modelos de propagación y su clasificación depende de varios factores como se ve en la Figura 1.38.

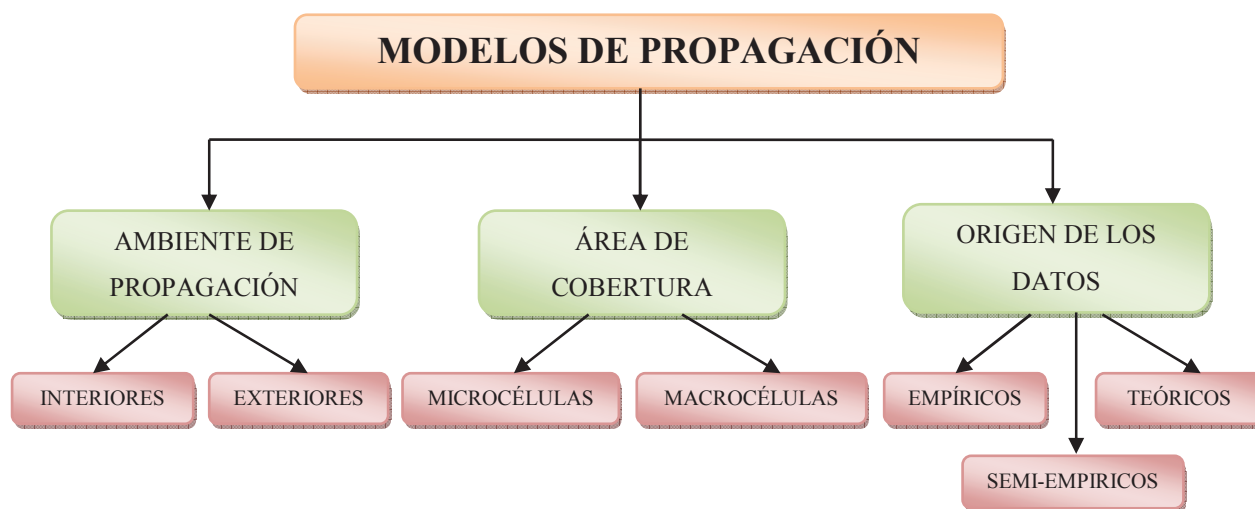


Figura 1. 38 Clasificación de los Modelos de Propagación

Los *modelos empíricos* (también llamados *estadísticos*) están basados netamente en mediciones, en donde implícitamente se tiene en cuenta las influencias ambientales. Su precisión no solo dependerá de la exactitud de las mediciones, sino también de las similitudes entre el ambiente a ser analizado y el ambiente donde se llevaron a cabo las mediciones. La eficiencia computacional de estos modelos es generalmente satisfactoria.

Los **modelos teóricos** (también llamadas **determinísticos**) se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio; debido a esto se pueden aplicar a ambientes diferentes sin afectar la exactitud de los resultados. Este tipo de modelos requiere en su implementación una base de datos grande que contengan las características ambientales, en ciertas ocasiones son imprácticas e imposibles de obtener. Los algoritmos utilizados por los modelos teóricos normalmente son muy complejos y carecen de eficiencia computacional; es por esto que estos modelos normalmente se restringe a áreas más pequeñas o espacios interiores [52].

Existen modelos de propagación que resultan de la combinación de los dos anteriores y se conocen como **modelos semi-empíricos**.

En los **modelos de propagación en exteriores** (también llamados **outdoor**) se consideran parámetros como el perfil del terreno (montañoso o muy inclinado), además elementos como la existencia de árboles, edificios y toda clase de obstáculos. Estos modelos se usan para predecir la intensidad de la señal en un punto receptor particular o en un área local específica (llamada sector) y varían ampliamente en su aproximación, complejidad y exactitud. La mayoría de estos modelos están basados en una interpretación sistemática de la medición de datos obtenidos en el área de servicio [52].

Los **modelos de propagación en interiores** (también llamados **indoor**) difiere de los anteriores en que las distancias a considerar son mucho más pequeñas y que la variabilidad del ambiente es mucho mayor tomando en cuenta el pequeño rango de separación entre transmisor y receptor. La radio propagación en interiores es dominada al igual que en exteriores por mecanismos como: reflexión, difracción, refracción y dispersión. Sin embargo, las condiciones varían mucho más en función de diferentes factores físicos, que involucran tanto el diseño de los edificios, como su altura y los materiales con los que son construidos [52].

Entre los modelos de propagación clasificados de acuerdo al área de cobertura se tienen **modelos de propagación para macrocélulas** que cubren distancias entre 1 y 20 km, los **modelos de propagación para microcélulas** que

abarcan distancias entre 0.1 y 1 km y **modelos de propagación para picoceldas** que abarcan distancias entre menores a 100 m.

En este estudio se revisarán únicamente aquellos modelos que se adapten al entorno de telefonía móvil. Para su análisis se requiere revisar modelos de propagación que interpreten la mayor cantidad de variables y así acercarse lo más posible a una situación real. Los modelos seleccionados son los más utilizados en la predicción de alcances máximos en redes móviles para ambientes urbanos, sub urbanos y rurales; además deben ser aplicables a las frecuencias de operación de los estándares GSM, UMTS y CDMA en el Ecuador (850 MHz y 1900 MHz).

1.4.5.1. Okumura

El modelo de Okumura es el modelo empírico más difundido alrededor del mundo. Se basó en una gran cantidad de mediciones realizadas en un ambiente urbano con un terreno casi plano en la ciudad de Tokio. A partir de estas numerosas pruebas, Okumura como resultado de los datos analizados estadísticamente creó una serie de curvas que muestran el nivel de señal en función de la distancia para diferentes alturas de antenas y frecuencias como se presenta en la Figura 1.39.

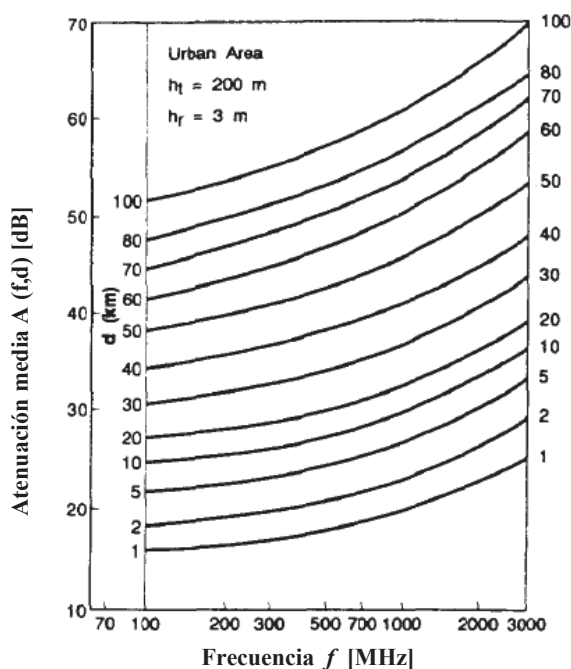


Figura 1. 39 Atenuación de un terreno cuasi regular vs. frecuencia [49]

Dado que las mediciones se dieron en un terreno casi plano y en un área urbana, Okumura mediante extrapolación introdujo factores de corrección para ajustar las predicciones a áreas abiertas y diferentes tipos de terreno (Figura 1.40). Otros factores de corrección que se establecieron en este modelo están: ondulación, heterogeneidad y pendiente del terreno, el grado de urbanización (orientación de las calles, densidad de las edificaciones), la altura y localización de la antena de recepción respecto a grandes obstáculos.

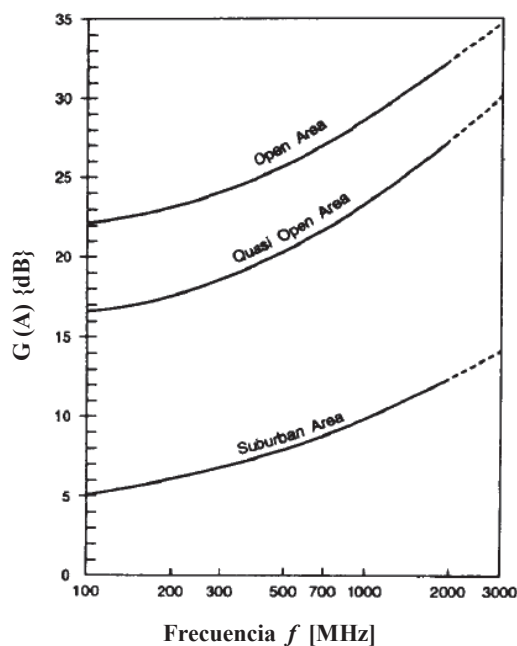


Figura 1. 40 Factor de corrección para diferentes tipos de terreno [49]

El modelo Okumura se expresa por la siguiente ecuación:

$$L_{dB} = L_{el} + A(f,d) - G(h_b) - G(h_m) - G(A) \quad \text{Ecuación 1. 9}$$

Donde:

L_{el} es la atenuación de espacio libre.

$A(f,d)$ es la atenuación relativa promedio obtenida de las curvas.

$G(h_b)$ es la ganancia de la altura de la antena de transmisión en [m].

$G(h_m)$ es la ganancia de la altura de la antena de recepción en [m].

$G(A)$ es la ganancia de acuerdo al tipo de morfología.

Además Okumura establece variaciones que presentan las ganancias de las antenas transmisoras y receptoras:

$$G(h_b) = 20 \log (h_b/200) \quad \text{con} \quad 30\text{m} < h_b < 1000\text{m}$$

$$G(h_m) = 10 \log (h_m/3) \quad \text{con} \quad h_m \leq 3\text{m}$$

$$G(h_m) = 20 \log (h_m/3) \quad \text{con} \quad 3\text{m} < h_m < 10\text{m}$$

Este modelo se ajusta bien en regiones urbanas más no en áreas abiertas, la principal desventaja que presenta es que depende de la interpretación de curvas para obtener su resultado.

El modelo de Okumura es válido para los valores que se muestran en la Tabla 1.9.

Parámetros	Rangos de Validez
Frecuencia f en [MHz]	100 – 1920
Altura efectiva de la estación base h_b en [m]	200
Altura de la antena móvil h_m en [m]	3
Distancia R en [km]	1 – 100

Tabla 1. 9 Rangos de validez de los parámetros en el modelo de Okumura [49]

1.4.5.2. Okumura – Hata

Este método está enteramente basado en las curvas de propagación de Okumura, siendo sintetizadas en fórmulas empíricas que predicen las pérdidas de propagación realizadas por Hata. El rigor de estas dos obras en su conjunto ha hecho que éste sea el modelo de propagación de macroceldas más citado y a menudo es considerado como un estándar que sirve para juzgar nuevos enfoques.

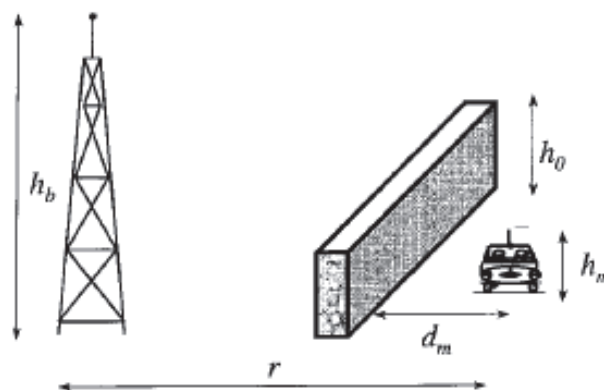


Figura 1.41. Parámetros para los modelos de propagación en macroceldas [6]

Las aproximaciones hechas por Hata involucran dividir las áreas de cobertura categorizándolas por el tipo de terreno de la siguiente manera:

- **Área urbana:** Corresponde a las grandes ciudades con altas edificaciones y casas con 2 o más pisos, o donde existen una gran concentración de casas estrechas y altas.
- **Área suburbana:** Pueblos con pocas casas o carreteras en donde hay árboles y casas en forma dispersa, existen obstáculos cerca del usuario pero no provocan congestión.
- **Área abierta:** Espacios abiertos sin grandes árboles o edificaciones altas en el camino de la señal, terreno despejado entre 300 y 400 m, por ejemplo, tierras agrícolas, campos de arroz y campos abiertos.

Este modelo trata de representar las mediciones hechas por Okumura utilizando aproximaciones de Hata de la siguiente manera [6]:

$$\begin{array}{ll}
 L_{dB} = A + B \log_{10} R - E; & \text{Áreas Urbanas} \\
 L_{dB} = A + B \log_{10} R - C; & \text{Áreas Suburbanas} \\
 L_{dB} = A + B \log_{10} R - D; & \text{Áreas Abiertas}
 \end{array}
 \quad \text{Ecuación 1. 10}$$

Donde:

$$\begin{array}{ll}
 A = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b \\
 B = 44.9 - 6.55 \log h_b \\
 C = 2(\log(f_c/28))^2 + 5.4 \\
 D = 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c + 40.94
 \end{array}
 \quad \text{Ecuación 1. 11}$$

Para las áreas urbanas, el factor E variará dependiendo de la zona urbana a cubrir como se indica a continuación:

- Para ciudades pequeñas y medianas:

$$E = (1.1 \log f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log f_c - 0.8)
 \quad \text{Ecuación 1. 12}$$

- Para ciudades grandes se tienen dos expresiones para el factor E que depende del valor de la frecuencia como se muestra a continuación:

$$E = 8.29 (\log (1.54 h_m))^2 - 1.1 \quad \text{para } f_c < 300 \text{ MHz}$$

$$E = 3.2 (\log (11.75 h_m))^2 - 4.97 \quad \text{para } f_c \geq 300 \text{ MHz}$$

Ecuación 1. 13

El modelo de propagación Okumura - Hata junto con las correcciones realizadas se convierte en el modelo más comúnmente utilizado en el diseño de sistemas reales. Varias herramientas de predicción comerciales dependen esencialmente de las variaciones de este modelo. Los rangos de validez aplicables al modelo Okumura - Hata se muestran en la Tabla 1. 10.

Parámetros	Rangos de Validez
Frecuencia f_c en [MHz]	150 – 1500
Altura efectiva de la estación base h_b en [m]	30 – 200
Altura de la antena móvil h_m en [m]	1 – 10
Distancia R en [km]	> 1

Tabla 1. 10 Rangos de validez de los parámetros en el modelo Okumura-Hata [6]

Con el desarrollo de estas fórmulas se logra llegar a un sistema automático sin recurrencia a curvas y con una muy buena precisión. Uno de los problemas que presenta este modelo es su omisión a algunas consideraciones como la influencia de la ondulación del terreno y los efectos derivados del grado de urbanización.

1.4.5.3. Cost-231 – Hata

El grupo europeo COST 231 propuso un nuevo modelo que complementa el modelo Okumura – Hata, extendiendo el rango de frecuencias válidas entre 1500 y 2000 [MHz].

$$L_{dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_b + (44.9 - 6.55 \log h_b) \cdot \log R - E + G \text{ [dB]}$$

Ecuación 1. 14

El valor E seguirá dependiendo del entorno en donde se desenvuelva la comunicación (al igual que el modelo Okumura – Hata) mientras que el valor G

(factor de corrección para adecuar el modelo extendiendo el rango de frecuencias) se escogerá de acuerdo a la Tabla 1.11.

Entorno	Valor [dB]
Para ciudades urbanas densas (Edificios altos de más de 7 pisos)	3
Para ciudades urbanas medias (Edificios más pequeños con calles pequeñas y medianas)	0
Para ciudades urbanas medias con calles anchas	-5
Para entornos suburbanos con pequeños edificios	-12
Para entornos mixtos, pueblo y rural	-20
Para entornos rurales con pocos árboles y casi sin colinas	-26

Tabla 1. 11 Valores G para distintos entornos [6]

Una de las grandes aportaciones de este modelo es su consideración a las pérdidas por dispersión gracias al factor G. Los rangos de validez aplicables al modelo COST 231 - Hata se muestran en la Tabla 1.12.

Parámetros	Rangos de Validez
Frecuencia f_c en [MHz]	1500 – 2000
Altura efectiva de la estación base h_b en [m]	30 – 200
Altura de la antena móvil h_m en [m]	1 – 10
Distancia R en [km]	> 1

Tabla 1. 12 Rangos de validez de los parámetros en el modelo Cost-231-Hata [6]

1.4.5.4. COST 231 – Walfisch – Ikegami

El modelo Walfisch-Ikegami es un modelo de propagación teórico resultante de la combinación de los modelos Walfisch-Bertoni e Ikegami, agregando correcciones empíricas de algunos parámetros del proyecto COST 231. Este modelo está restringido a terrenos urbanos planos utilizados para macroceldas y microceldas.

A continuación se hacen explícitas algunas relaciones que son utilizadas en las distintas expresiones del modelo.

$$\Delta h_{techo} = h_{techo} - h_m$$

$$\Delta h_{base} = h_{base} - h_{techo}$$

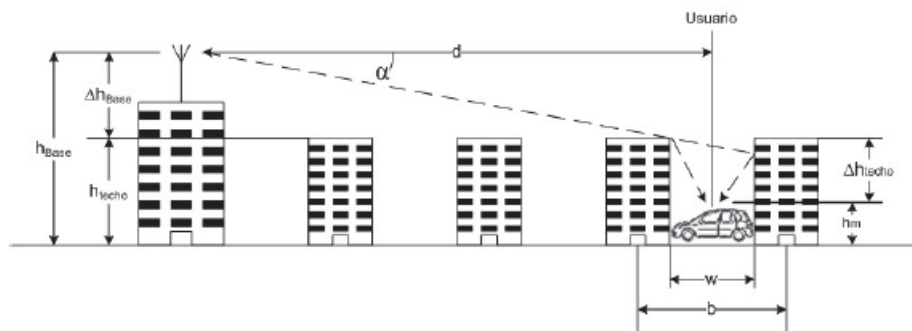


Figura 1. 42 Parámetros utilizados del modelo COST 231 – Walfisch – Ikegami

En este modelo se definen distintas expresiones para la pérdida por propagación dependiendo si la trayectoria tiene o no línea de vista. Si existe LOS la pérdida considera únicamente la pérdida en espacio libre, así como se detalla en la siguiente expresión [53]:

$$L_{los} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f \quad \text{Ecuación 1. 15}$$

Donde d es expresada en km y f en MHz.

Si la trayectoria no tiene línea de vista (NLOS) se utilizan las siguientes expresiones:

$$L = \begin{cases} L_F + L_{msd} + L_{sd} & \text{si } L_{msd} + L_{sd} > 0 \\ L_F & \text{si } L_{msd} + L_{sd} \leq 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 1. 16}$$

Donde:

L_F es la pérdida de espacio libre,

L_{sd} son las pérdidas por difracción en los techos de las edificaciones y las pérdidas por dispersión.

L_{msd} son las pérdidas de acuerdo al ángulo de incidencia de la onda al móvil.

El parámetro L se le da un valor mínimo de L_F en el caso de que los otros términos se vuelven negativos. Los términos individuales son:

$$L_{sd} = -16.9 + 10 \log f_c + 10 \log \frac{(h_{techo} - h_m)^2}{w_m} + L_\phi \quad \text{Ecuación 1. 17}$$

Donde w_m (típicamente $w_m = w/2$) es la distancia entre las caras frontales de los edificios que se encuentran a cada lado de la calle donde se desplaza el móvil y ϕ es el ángulo en grados entre la onda incidente de la estación base y el eje de la calle como se muestra en la Figura 1.43.

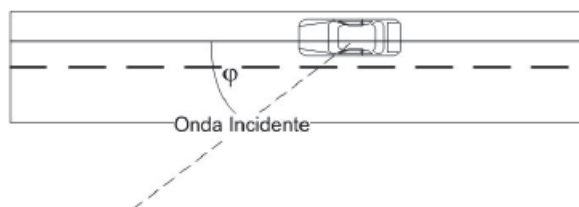


Figura 1.43. Ángulo de incidencia ϕ

El término $L(\phi)$ está definido por las siguientes expresiones:

$$L_{\phi} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi & \text{para } 0^{\circ} < \phi < 35^{\circ} \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35^{\circ}) & \text{para } 35^{\circ} \leq \phi < 55^{\circ} \\ 4 - 0.114(\phi - 55^{\circ}) & \text{para } 55^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ} \end{cases} \quad \text{Ecuación 1. 18}$$

Finalmente, el término L_{msd} (integral cuya solución fue encontrada en forma aproximada en el modelo Walfisch - Bertoni) que corresponde a pérdidas por *multiscreen difraction* para el caso en donde la altura de la antena de la estación base es mayor que el promedio de los tejados.

Luego el grupo COST 231 incluyendo funciones empíricas, extendió esta solución para el caso en que la altura de la antena de la estación base sea menor que el promedio de los tejados. La expresión para L_{msd} está dada por:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log R + k_f \log f_c - 9 \log w \quad \text{Ecuación 1. 19}$$

Donde:

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log[1 + (h_{base} - h_{techo})] & \text{para } h_{base} > h_{techo} \\ 0 & \text{para } h_{base} \leq h_{techo} \end{cases} \quad \text{Ecuación 1. 20}$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{para } h_{base} > h_{techo} \\ 54 - 0.8(h_{base} - h_{techo}) & \text{para } R \geq 0.5 \text{ km y } h_{base} \leq h_{techo} \\ 54 - 0.8 \frac{(h_{base} - h_{techo})R}{0.5} & \text{para } R < 0.5 \text{ km y } h_{base} \leq h_{techo} \end{cases} \quad \text{Ecuación 1. 21}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{para } h_{base} > h_{techo} \\ 18 - 15 \frac{(h_{base} - h_{techo})}{h_{techo}} & \text{para } h_{base} \leq h_{techo} \end{cases} \quad \text{Ecuación 1. 22}$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 * \left(\frac{f_c}{925} - 1 \right) & \text{para ciudades medianas y centros} \\ & \text{suburbanos con una densidad} \\ & \text{moderada de árboles.} \\ 1.5 * \left(\frac{f_c}{925} - 1 \right) & \text{para centros metropolitanas} \end{cases} \quad \text{Ecuación 1. 23}$$

El término **ka** denota el incremento de las pérdidas cuando las antenas de las estaciones base están por debajo de los techos de los edificios que se encuentran alrededor. Mientras que los términos **kd** y **kf** controlan la dependencia de L_{msd} de la distancia y la frecuencia.

En el caso de que no existieran datos sobre los edificios del trayecto, este modelo recomienda emplear los siguientes valores de los parámetros:

$$h_{techo} = \begin{cases} 3n_{floors} & \text{para cubierta plana} \\ 3n_{floors} + 3 & \text{para cubierta inclinada} \end{cases} ; b = 20 \text{ m a } 50 \text{ m}; w = \frac{b}{2}; \phi = 90^\circ$$

Las restricciones del modelo COST 231 – Ikegami – Walfisch se muestran en la Tabla 1.13.

Parámetros	Rangos de Validez
Frecuencia f_c en [MHz]	800 – 2000
Altura efectiva de la estación base h_b en [m]	4 – 50
Altura de la antena móvil h_m en [m]	1 – 3
Distancia R en [m]	0.02 – 5

Tabla 1. 13 Rangos de validez de los parámetros en el modelo COST 231 – Walfisch – Ikegami [6]

1.5. CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

1.5.1. TERMINOLOGÍA BÁSICA

El término Calidad de Servicio (QoS) se ha interpretado de manera diferente, algunas definiciones establecidas en recomendaciones de los organismos internacionales son [54]:

- Según la norma *ISO 8402* se define al término de **calidad** como: "*el conjunto de propiedades y características de una entidad que le confieren su aptitud para satisfacer sus necesidades explícitas e implícitas*". Esta norma, en el año 2000 fue reemplazada por la *ISO 9000*, en la cual la definición cambio a "*el grado en que un conjunto de características inherentes satisfacen los requisitos*".
- El concepto más ampliamente utilizado para la definición de **calidad de servicio (QoS)** según la UIT-T es: "*El efecto global del rendimiento de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario de un servicio*", esta publicación hace referencia a la recomendación *UIT-T E.800*.

Además dependiendo de los elementos implicados como usuarios, fabricantes, operadores de red, proveedores de servicio, etc., el contexto de la QoS adquiere diferentes definiciones [55]:

- Para los usuarios, lo más importante es que tan completa es la provisión de los parámetros de servicio, por lo que desde su punto de vista *la calidad* es entendida como *el grado de cumplimiento de sus expectativas del servicio global (publicidad, tarifas, etc.) frente a la percepción subjetiva del funcionamiento de la red y del terminal, así como también del servicio preventa y posventa*.
- Para los proveedores lo más importante referente a calidad es *el aprovechamiento eficaz de los recursos*.

- Desde el punto de vista de la red, *la calidad es resultado de las prestaciones ofrecidas por cada uno de los factores implicados, como los terminales, la red de acceso, la red de transporte y los servicios.*

1.5.2. CALIDAD DE SERVICIO (QoS) Y CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED (NP)

A la *calidad de servicio* se la define como el resultado de la percepción del cliente, mientras que la *calidad de funcionamiento de la red (Network Performance)* es la capacidad de la misma o una parte de ella para proporcionar funciones relacionadas con la comunicación entre usuarios. Además la *NP* representa una parte de la QoS ya que la calidad del funcionamiento técnico de todos los elementos de la red, determina globalmente la calidad del funcionamiento del servicio. En la Figura 1. 44 se aprecian los conceptos vinculados a la QoS y a la NP.

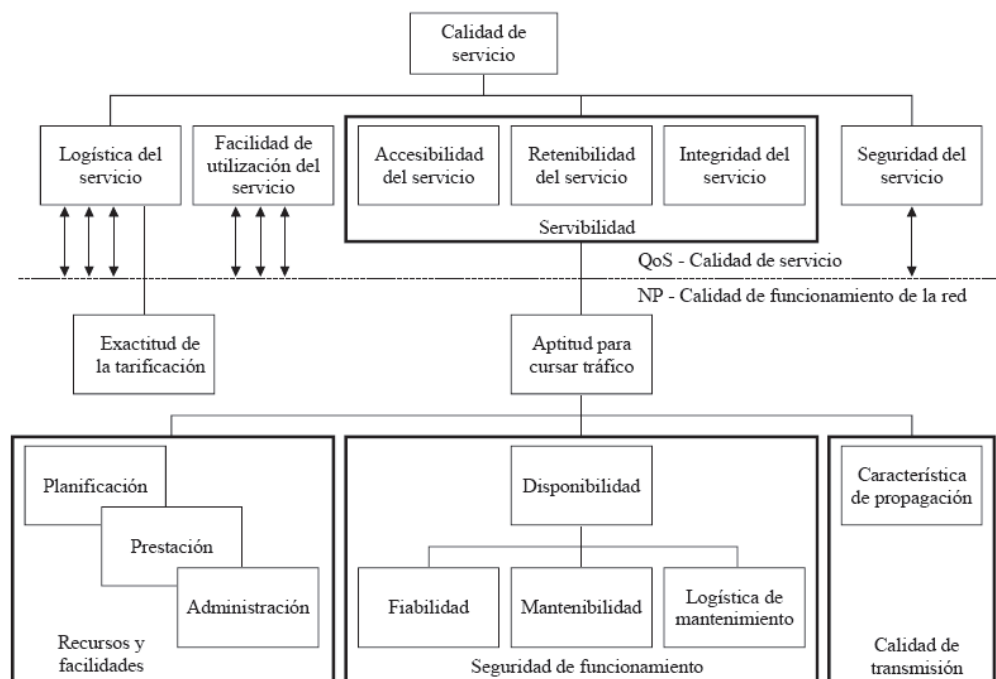


Figura 1. 44 Conceptos relacionados a la QoS y a la calidad de funcionamiento de la red [56]

Desde el punto de vista de los *usuarios finales*, ellos cuidan solamente de aquellas características visibles, considerando los siguientes requerimientos [56]:

- Únicamente importa la QoS percibida por el usuario final.
- El número de atributos de usuario definidos/controlados tiene que ser tan pequeño como sea posible.
- Los atributos de QoS deben ser capaz de identificar todas las aplicaciones que son usadas, incluyendo las de naturaleza asimétrica.
- La definición de QoS debe ser simple con una visión para pruebas futuras.
- La QoS debe ser proporcionada de extremo a extremo.

En la Tabla 1.14 se presenta una comparación que diferencia entre estos dos conceptos: calidad de servicio (QoS) y rendimiento de la red (NP).

PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE SERVICIO	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED
Orientado al usuario	Orientado al proveedor de red
Atributos relacionados con el servicio	Atributos relacionados con los elementos y la tecnología de red
Se centra en efectos que puede observar el usuario	Se centra en la planificación del desarrollo (diseño), la explotación y el mantenimiento
Observado por los usuarios en los puntos de acceso al servicio, sin importar los procesos y eventos de red	Observado en las fronteras de los elementos de conexión de red, por ejemplo en lo que tiene que ver con señales de interfaces propias al protocolo

Tabla 1. 14 Categorización de los parámetros de QoS y NP [55]

1.5.3. PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

Además con el objetivo de alcanzar una visión integral se debe tomar en cuenta el estrecho vínculo que existe por un lado entre la QoS que requiere un usuario, la que oferta el proveedor de servicio (o la QoS planificada), la QoS que finalmente se entrega y la QoS percibida por los clientes. Un marco de QoS que pretenda ser lo suficientemente útil y práctico como para ser utilizado por la industria, debe tener sentido desde esas cuatro perspectivas (ver Figura 1. 45).

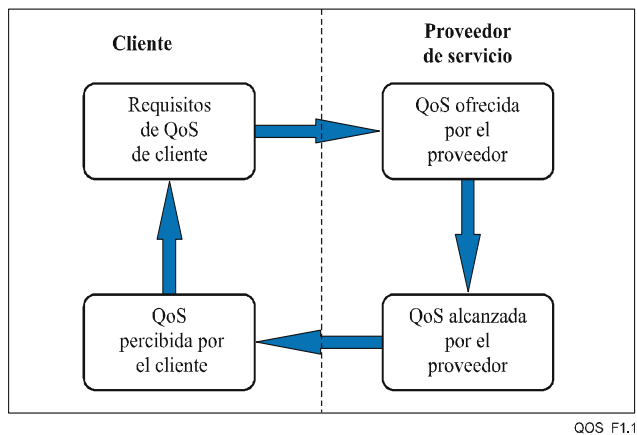


Figura 1. 45 Diferentes perspectivas de la QoS [55]

- **Necesidades de QoS del cliente:** Definen el nivel de calidad que se exige en un determinado servicio, y se pueden expresar en lenguaje no técnico comprensible para el usuario y para el proveedor de servicio. Al cliente únicamente le interesa la calidad total percibida de extremo a extremo, sin interesarse por aspectos como el diseño interno de la red o cómo se presta el servicio [57].
- **QoS ofrecida por el proveedor de servicio:** Constituye una declaración del nivel de calidad que se espera ofertar al cliente, y que se expresa mediante valores atribuidos a parámetros. Esta QoS es de gran utilidad para el establecimiento y tiene sus bases en los acuerdos de nivel de servicio (SLA). Cada servicio tendrá su propio conjunto de parámetros de QoS, los cuales pueden ser expresados en lenguaje corriente para el cliente, y en lenguaje técnico para su uso en la industria [57].
- **QoS conseguida por el proveedor de servicio:** Establece una declaración del nivel de calidad real obtenido y entregado al cliente. Se expresa a través de valores asignados a parámetros que deben ser idénticos a los especificados para la QoS ofrecida. Gracias a esta similitud se podrá compararlos y evaluar el nivel de calidad logrado [57].

- **QoS percibida por el cliente:** Expresan el nivel de calidad que los clientes 'creen' haber experimentado, y que se indica normalmente en función del grado de satisfacción y no en términos técnicos. La QoS puede ser cuantificada en encuestas a clientes (encuestas telefónicas o por correo), las mismas pueden ser empleadas por el proveedor para determinar la satisfacción del cliente [57].

1.5.4. ASPECTOS TÉCNICOS Y NO TÉCNICOS DE LA QoS

El efecto colectivo del funcionamiento del servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario es caracterizado por aspectos aplicables a todos los servicios, como por ejemplo [58]:



Figura 1. 46. Aspectos técnicos y no técnicos de la QoS [58]



Figura 1.47. Fases del uso de servicio desde el punto de vista del cliente [58]

- **Disponibilidad de la red:** Es la probabilidad de que los servicios sean ofrecidos al usuario, es decir se refiere a la disponibilidad de recursos de red como por ejemplo la cobertura.
- **Accesibilidad a la red:** Es la probabilidad de que un usuario lleve a cabo con éxito un registro en la PLMN.

- **Accesibilidad del servicio:** Incluye los aspectos relacionados con la disponibilidad del servicio: tiempo de acceso, fuera de servicio, resultado de acceso al servidor, etc. Si el cliente quiere utilizar un servicio, el operador de red debe proporcionar tan rápido como sea posible el acceso al servicio.
- **Integridad del servicio:** Describe la QoS durante el uso del servicio, como por ejemplo efectividad del servicio, calidad de voz, velocidad de transmisión (*throughput*), calidad de la transmisión de datos (BER³⁵), tiempo de navegación.
- **Retención del servicio:** Describe la terminación de los servicios (de acuerdo o contra la voluntad del usuario, como por ejemplo las caídas del servicio).

³⁵ BER: *Bit Error Rate* o Tasa de Bits Erróneos

CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN DE LOS FACTORES EXTERNOS QUE AFECTAN A LA QoS DE LA REDES DE SMA (2G Y 3G) EN BASE A PRUEBAS EN UN AMBIENTE REAL

2.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA QoS DEL SMA

2.1.1. SENTIDO RECORRIDO Y VELOCIDAD

El sentido de recorrido y la velocidad de desplazamiento de un terminal móvil son propiedades de un fenómeno conocido como *signal dragging*. Este fenómeno indica cómo el patrón de información de señal tiende a contener más señales de las BTSs localizadas opuestamente a la dirección de movimiento del terminal que de las señales procedentes de las BTSs situadas en la dirección de movimiento. En la Figura 2.1 se ve cómo el terminal móvil mientras se traslada hacia el noreste recibe señales de seis BTSs, su patrón de señal contiene cuatro señales que vienen de BTSs anteriores y sólo contiene dos señales de BTSs posteriores a su posición.

Para entender mejor lo que ocurre, se trazan vectores BTSs (flechas blancas) desde la posición del terminal móvil a los puestos individuales de cada BTS. Luego se calculan el vector suma (flecha azul) de los seis vectores BTSs. Este último vector apunta hacia la dirección (suroeste) opuesta a la del movimiento del terminal, esto debido a que más BTS anteriores que BTS posteriores son incluidos en el patrón de señal. Así, si se invierte el vector suma, la dirección del vector probablemente apuntará hacia la dirección de movimiento del terminal (flecha roja).

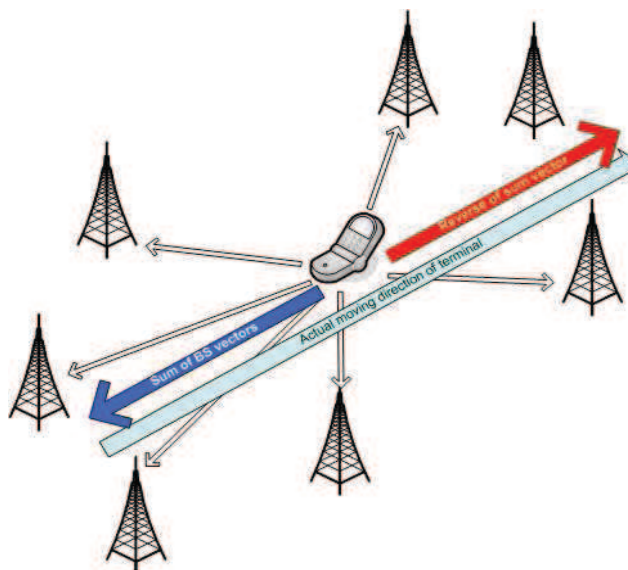


Figura 2. 1 Fenómeno “*signal dragging*” [1]

La Figura 2.2 muestra cómo el fenómeno *signal dragging* se produce en circunstancias reales de un usuario en movimiento. Los dos ejes indican latitud y longitud, los círculos rojos indican la posición geográfica del usuario y los círculos azules muestran las posiciones de las BTS en el área de ejemplo. Las flechas indican el vector de estimación de la dirección que corresponde a la inversa del vector suma (flecha negra) en la Figura 2.1. Así, si la dirección de las flechas coincide con la dirección de movimiento real se puede decir que el fenómeno *signal dragging* ha ocurrido notablemente.

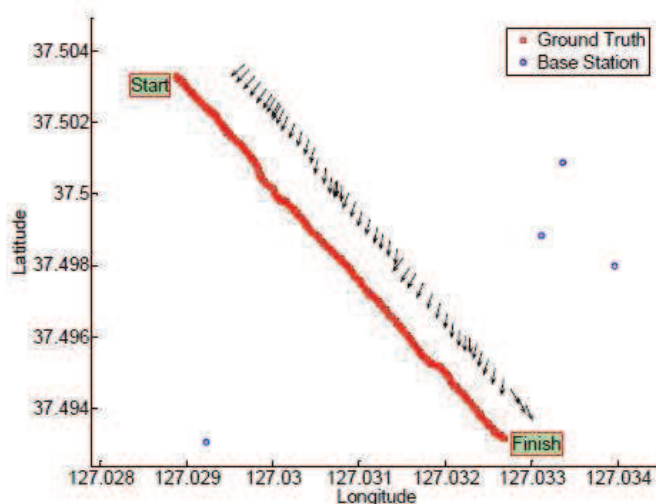


Figura 2. 2 Arrastre de señal en una trayectoria de 0.8 km² [1]

Para comprender mejor cómo afecta la velocidad y el sentido de recorrido a la recepción de la intensidad de señal se definirá el *error métrico del signal dragging* (SDEM); el mismo nos indica si el fenómeno se ha producido como se esperaba o no. Para esto se usa la diferencia angular (valor absoluto) entre dos vectores, el vector dirección real del usuario (diferencia de dos posiciones consecutivas verdaderas en tierra firme) y la dirección del vector estimado (vector suma inverso presentado en la Figura 2.1).

Utilizando la media SDEM en cada posición del usuario en el mapa, se puede decir que el fenómeno *signal dragging* en el área de interés ha demostrado su eficacia, siempre y cuando el valor medio sea inferior a 90° . Si el valor medio está cerca de 90° , no existe una relación en lo absoluto entre el movimiento del terminal y la distribución geométrica de BTSs en el patrón de señal del terminal. Si la media es mayor que 90° , se puede decir que en promedio más BTS posteriores que BTS anteriores tienden a estar contenidas en el patrón de la señal, lo contrario que en el *signal dragging*. El valor SDEM aumenta en zonas curvas.

La **velocidad** de un terminal móvil afecta el grado de *signal dragging*. Con el fin de observar su relación, se calcula el coeficiente de correlación entre la velocidad de movimiento del terminal (calculada a partir de dos períodos consecutivos de registros de GPS) y el $(180 - \text{SDEM})^{36}$. Si el valor de este coeficiente de correlación es mayor que 0, es argumento suficiente para decir que la velocidad de movimiento del terminal está positivamente correlacionada con el efecto de *signal dragging*. En otras palabras, mientras el terminal se mueve más rápido, el fenómeno se vuelve más notable.

El **sentido de recorrido** ilustrado con un conjunto de datos en una trayectoria rectangular en la Figura 2.3 muestra que cuando el terminal móvil cambia de dirección (esquinas marcadas por óvalos), las flechas de estimación de dirección convergen gradualmente a la dirección de cambio del terminal después de un cierto tiempo. Las flechas finalmente se alinean con la dirección del terminal mientras se desplaza en el camino recto varios metros después del cambio de dirección. El mejor caso ocurre cuando el terminal se mueve en una línea recta

³⁶ Debido a que SDEM crece cuando el *signal dragging* disminuye, restamos el SDEM calculado de 180° para calcular el coeficiente de correlación.

durante un tiempo suficiente. La ubicación de las BTS y el entorno gráfico afecta la eficacia del *signal dragging*. Así, si el terminal cambia su dirección con frecuencia, el valor SDEM tiende a aumentar.

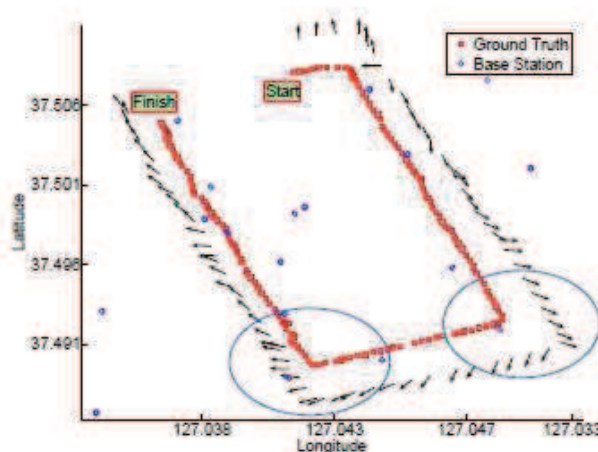


Figura 2. 3 Vector de convergencia en el cambio de dirección [1]

2.1.2. CLIMA Y VEGETACIÓN

Atenuación por gases y vapores atmosféricos

Para trayectos troposféricos, las moléculas de O_2 y H_2O absorben energía electromagnética produciendo una atenuación; a ciertas frecuencias esta pérdida suele ser muy elevada. Mientras que para frecuencias por debajo de 10 GHz es despreciable.

Para calcular la atenuación causada por los gases y vapores atmosféricos se debe acudir a la **Recomendación UIT-R P.676**. En este documento se indica que la atenuación de la señal radioeléctrica, A (dB) en un trayecto horizontal o ligeramente inclinado próximo al suelo puede calcularse como [2]:

$$A = \gamma r_o = (\gamma_o + \gamma_w) r_o \quad \text{Ecuación 2. 1}$$

Donde:

γ = atenuación específica (dB/km).

γ_o = atenuación específica del oxígeno.

γ_w = atenuación específica del agua.

r_o = distancia (km).

Las atenuaciones específicas para el O₂ y H₂O se obtienen de la gráfica mostrada en la Figura 2.4.

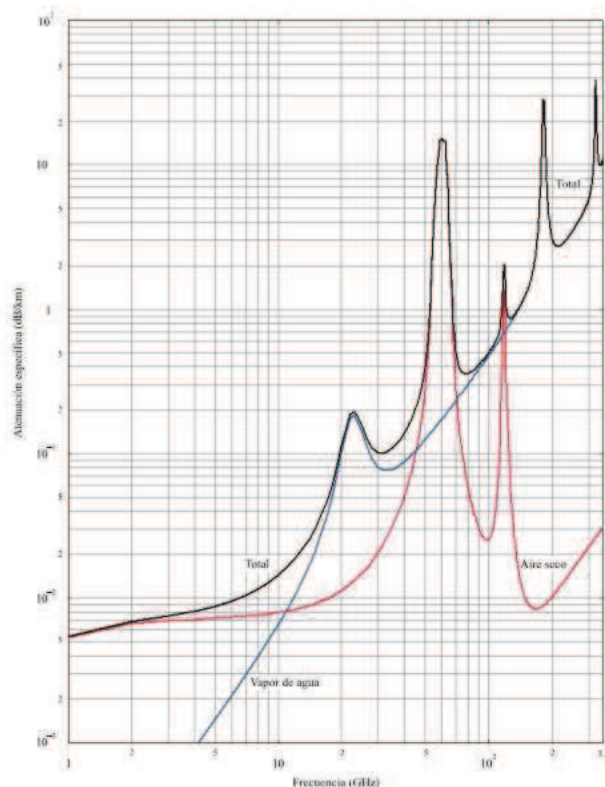


Figura 2. 4 Atenuación específica debida a los gases [2]

Atenuación por lluvia

Otro tipo de atenuación que se debe mencionar es aquella producida por factores atmosféricos y meteorológicos como la absorción y dispersión en hidrometeoros (lluvia, nieve, granizo o niebla). A frecuencias por debajo de 10 GHz, normalmente puede ignorarse. Su importancia aumenta con la frecuencia por encima de 10 GHz, especialmente para ángulos de elevación bajos [3].

La atenuación específica debida a la lluvia puede calcularse a partir de la **Recomendación UIT-R P.838**. La atenuación específica γ (dB/km) se obtiene a partir de la intensidad de lluvia R (mm/h) mediante la ley exponencial [4].

$$\gamma = kR^\alpha$$

Ecuación 2. 2

Donde k y α son constantes que dependen de la frecuencia y polarización de la onda electromagnética relacionadas con la geometría de la gota y el ángulo de inclinación respectivamente; y R es la intensidad de la lluvia en mm/H.

En la Figura 2.5 se presentan curvas de atenuación específica debida a la lluvia en función de la frecuencia para distintos valores de precipitación. Como puede observarse, la atenuación específica crece rápidamente para frecuencias por encima de los 10 GHz.

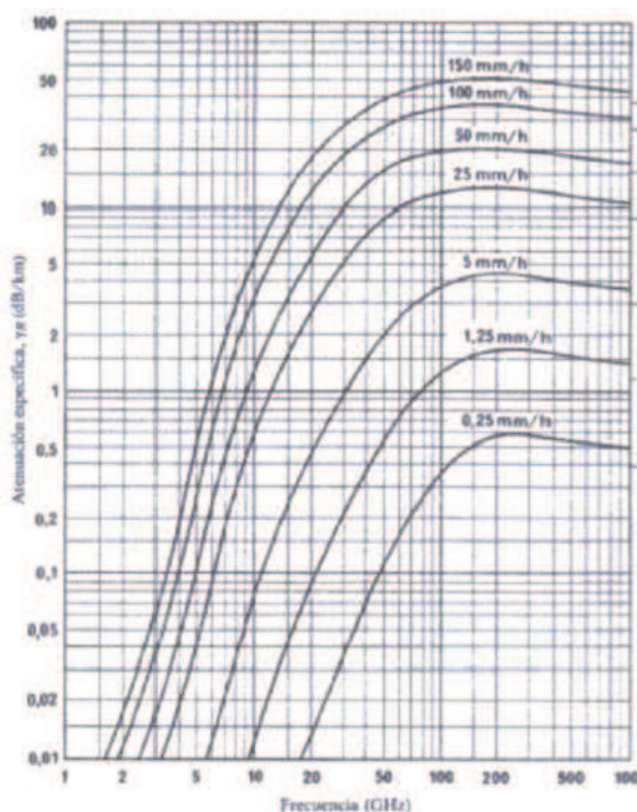


Figura 2. 5 Atenuación específica debida a la lluvia [5]

Atenuación por vegetación

Cuando el receptor de un sistema de radiocomunicaciones se encuentra en el interior de un terreno boscoso o en una zona similar de vegetación extensa, la pérdida adicional debida a la vegetación puede describirse en base a dos parámetros [6]:

- El índice de atenuación específica (dB/m) debida fundamentalmente a la dispersión de energía fuera del trayecto radioeléctrico;
- La atenuación adicional total máxima debida a la vegetación en un trayecto radioeléctrico (dB) limitada por el efecto de otros mecanismos entre ellos, la propagación de ondas de superficie por encima del medio vegetal y la dispersión dentro del mismo.

Para evaluar el incremento de atenuación dentro de una zona boscosa, la **Recomendación UIT-R P.833** calcula la atenuación excesiva A_{ev} como [6]:

$$A_{ev} = A_m [1 - \exp(-d\gamma/A_m)] \quad \text{Ecuación 2. 3}$$

Donde:

d = distancia del trayecto dentro de la zona boscosa (m)

γ = atenuación específica para trayectos en vegetación muy cortos (dB/m).

A_m = atenuación máxima cuando un terminal está dentro de una zona de vegetación de un tipo y profundidad específicos (dB).

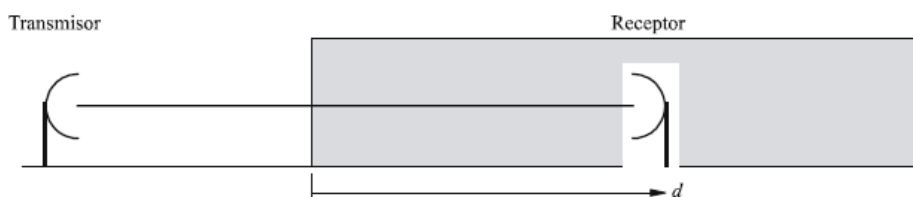


Figura 2. 6 Trayecto radioeléctrico representativo en zona boscosa [6]

En la Figura 2.7 se muestran las curvas promedio entre la atenuación específica y la frecuencia dependiendo de la polarización. Por debajo de 1 GHz, se observan mayores pérdidas en la polarización vertical que en la polarización horizontal, lo cual se debe a la dispersión causada por los troncos de los árboles.

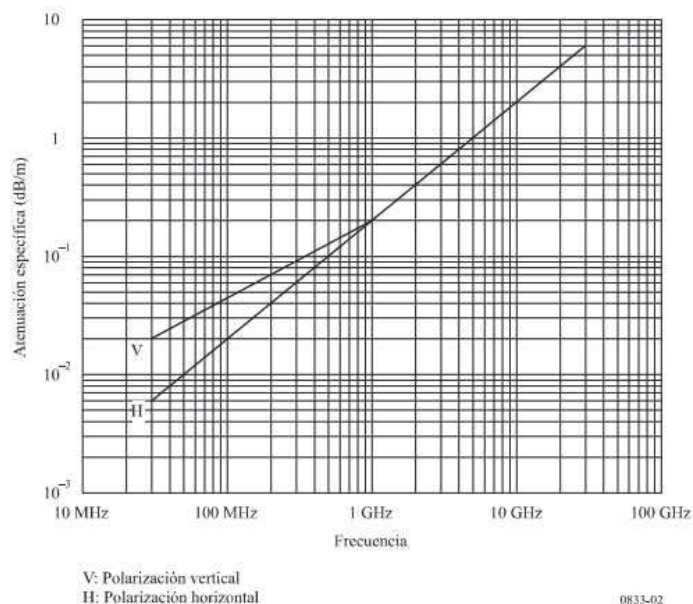


Figura 2. 7 Atenuación específica en zona boscosa [6]

2.1.3. EQUIPO Y TERMINALES DE MEDIDA

Otro de los factores que afectan a la calidad de señal de radio es la influencia del equipo de medida que se utiliza, lo hace en dos aspectos principalmente [7]:

- ✓ Los terminales del equipo de medida, de un tipo determinado, dan lugar a valores de potencia y sensibilidad ligeramente distintos a los que se podrían obtener con otros terminales.
- ✓ El simple hecho de introducir determinados terminales en la red para realizar las medidas da lugar a una serie de perturbaciones sobre la propia red, que pueden afectar a las medidas realizadas. Esto puede producir dos efectos: la disminución de los recursos disponibles y el aumento de interferencias.

Es importante también mencionar el factor de penetración dentro de vehículos, este factor es un margen promedio que debe ser tomado en cuenta para el uso de aparatos portátiles dentro de vehículos. Puede alcanzar valores entre 2 y 13 dB

dependiendo del lugar en que el equipo se utilice, usualmente se considera un valor promedio de 6 dB [8].

2.2. SISTEMAS Y HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

Existen varias maneras de medir la calidad de servicio móvil, cada forma de medición dependerá del parámetro de calidad que se pretenda evaluar. A continuación se describen dos métodos diferentes pero complementarios a la hora de brindar resultados mucho más confiables.

La una técnica conocida como “*drive test*” basada en la realización de medidas discretas en zonas concretas y tiempo determinados; se realiza a bordo de vehículos con la utilización de equipos capaces de recibir y decodificar la señal de radio. Su objetivo es ofrecer una visión local del funcionamiento de la red, permitiendo emular el comportamiento de un usuario típico y la detección de problemas de cobertura, interferencias, traspasos, etc. La otra técnica se basa en la utilización de contadores de red³⁷, extraídos normalmente de los diferentes elementos que la conforman, o a través de sus sistemas de gestión, y aunque además de permitir un análisis de celdas en particular, su propósito fundamental es ofrecer una imagen global de las prestaciones de la red [7].

2.2.1. HERRAMIENTAS DE MEDIDA DE LA SEÑAL DE RADIO

Dependiendo de los parámetros de calidad que se deseen medir se pueden escoger los sistemas de medida, entre los cuales se encuentran los siguientes [7]:

- **Teléfonos de ingeniería:** Estos teléfonos permiten medir la potencia de señal radioeléctrica radiada en una determinada posición de la celda, además de permitir la estimación de la calidad de voz recibida.
- **Los “Drive Test”:** En este caso los teléfonos de ingeniería se conectan a un PC que permite el almacenamiento de los datos medidos en su disco duro, y mediante una herramienta de software se puede establecer un

³⁷ **Contadores de red:** Permite contabilizar el número de veces que acontece un determinado evento ofreciendo una imagen global del funcionamiento y prestación de la red. Son extraídos normalmente de los elementos que conforman la red o a través de sus sistemas de gestión.

mapa de la zona geográfica de cobertura de una determinada señal, así como la estimación de la calidad de voz recibida en cada posición.

- **Los sistemas automáticos de medida de la calidad:** Estos sistemas permiten realizar llamadas con varios teléfonos simultáneamente, en distintos instantes de tiempo y posiciones, registrando estas mediciones en una base de datos, para generar los mapas de cobertura y medidas estadísticas de calidad de los servicios examinados en función del tiempo o de la posición.

2.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA EMPLEADOS POR LA SUPERTEL

2.2.2.1. Metodología de medición

Una de las tareas que realiza la Superintendencia de Telecomunicaciones para el control de los parámetros de QoS del SMA es a través de “*Drive Test*”. Para este método se requieren equipos especiales que permiten la adquisición de información de la red, como por ejemplo: el nivel de señal, el tiempo de acceso a un servicio, etc. A continuación se efectuará una breve descripción del procedimiento, hardware y software que emplea la Intendencia Regional Norte para llevar a cabo este control.

2.2.2.2. Procedimiento de medición

El parámetro de QoS a monitorear será para la zona de cobertura de las redes móviles 2G y 3G. A la *zona de cobertura* se conoce como 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 [9].

De este modo, para la medida de la zona de cobertura se suelen realizar medidas de la potencia mínima admisible recibida desde una o varias BTS, relacionándolas con una determinada posición geográfica del móvil de medida, de forma que lo que se muestra como resultado es la zona geográfica de cobertura de las BTSs de cada Sociedad Concesionaria.

Las mediciones para la zona de cobertura se deben efectuar con el teléfono en modo idle sin antena externa. Se ejecutarán sobre las tecnologías *GSM/UMTS* y *CDMA1xRTT/CDMA1XEVD0* para las operadoras CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. simultáneamente. Los parámetros a medirse son:

- **Rx Power** (nivel de recepción) para GSM,
- **Ec/Io** (energía por chip / ruido) para CDMA y UMTS (WCDMA).

✓ Forma de medición

La metodología a utilizar para medir este parámetro de QoS se realizará por medio de la ejecución de “*drive test*” [9], sobre la base de la cobertura presentada y reportada por la Sociedad Concesionaria a sus usuarios en su publicidad. La SUPERTEL establecerá las rutas sobre las cuales se realizará la medición de posición, nivel de señal y velocidad, de preferencia cada segundo.

Las velocidades máximas para la realización del *drive test* son 40 km/h en zonas urbanas y 60 km/h en carreteras y zonas rurales, el 90% de las muestras recogidas deberán estar dentro de los límites de velocidad establecidos³⁸.

✓ Variables que conforman el parámetro

p: Posición del equipo terminal.

n_s: Número de muestras con nivel de señal 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.

%c: Porcentaje de cobertura por tecnología y por tipo de zona.

Para obtener el índice %c se aplica la siguiente fórmula:

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

³⁸ Estos valores de velocidad se han tomado de acuerdo al Contrato de Concesión que tienen las Operadoras.

Los niveles mínimos de acuerdo a la tecnología y zona de cobertura son [9]:

TECNOLOGÍAS	URBANA	RURAL O CARRETERAS
GSM (Rxpower)	$n_s \geq -85$ dBm	$n_s \geq -98$ dBm
CDMA / UMTS (Ec/Io)	$n_s \geq -14$ dB	$n_s \geq -17$ dB

Tabla 2. 1 Niveles mínimos de acuerdo a la tecnología y zona de cobertura

Los valores objetivos de %c de acuerdo a la zona de cobertura son:

URBANA	RURAL O CARRETERAS
%c \geq 95 %	%c \geq 90 %

Para calcular el parámetro que se comparará con el valor objetivo se recomienda no considerar valores repetidos en la misma posición p o en 10 metros alrededor de ella. Para el caso de este estudio, además de tener en cuenta esta recomendación, se analizarán los resultados del universo de datos recogidos durante la ejecución de cada una de las pruebas.

2.2.2.3. Equipamiento utilizado

Invex NxG es un equipo de marca *Andrew* utilizado para la evaluación de redes inalámbricas, permite la conexión de receptores GPS, escáners digitales, teléfonos de ingeniería y tarjetas de datos de varios fabricantes (*Kyocera*, *Samsung*, *Motorola*, *Nokia* y *Qualcomm*). Este equipo configurado previamente por software, permite la ejecución de pruebas sobre redes GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, CDMA1x, EV-DO.

Entre los dispositivos de hardware se cuenta con los equipos conocidos como *Invex 3G chassis* e *Invex 3G-PC* (ver Figura 2.8). El *Invex 3G chassis* puede ser de varios modelos dependiendo de los requerimientos de las pruebas. Este equipo junto con los módulos empleados para un determinado *test* son controlados por una aplicación de software que se ejecuta en una PC. El sistema

Invex 3G-PC en cambio permite combinar en una sola PC la capacidad de conexión con varios dispositivos (teléfonos, escáners y receptores GPS) y un software de gestión [10].

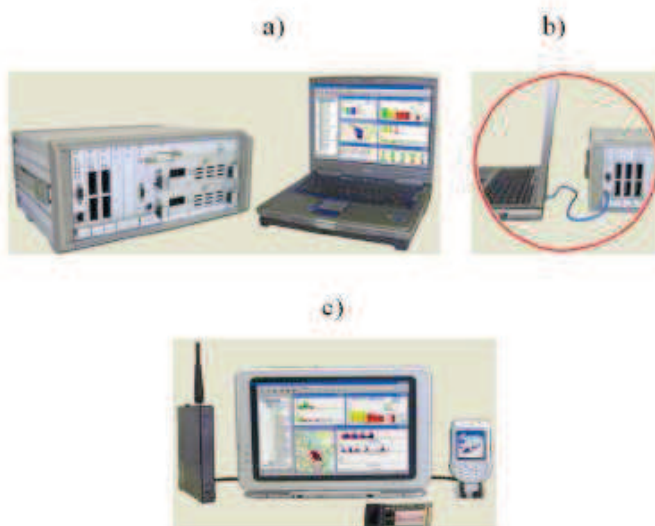


Figura 2.8. Equipos *Invex 3G*, a) *Invex 3G chassis*, b) *Conexión de PC con Invex 3G chassis y PC con el software*, c) *Invex 3G-PC* [10]

Los sistemas *Invex 3G* requieren diferentes tipos de cables como: cables de poder, cables de conexión de teléfonos, cables de conexión especiales para pruebas de MOS, cables de comunicación, etc, además requiere la conexión de GPS para la provisión de información de tiempo y coordenadas. El suministro de energía (10 a 16 VDC) se lo efectúa a través de una fuente de poder, la cual puede ser empleada con un inversor en aplicaciones móviles.

Adicionalmente este hardware es manejado por un software *Invex.NxG*, el cual habilita la configuración de pruebas específicas, como el monitoreo de la intensidad de señal, la realización automática de llamadas de voz, SMS, pruebas de datos, etc, permitiendo la visualización de resultados a través de una PC. El almacenamiento de toda la información proporcionada por la red se realiza en archivos formato **.ilf* compatibles con varias herramientas de post-procesamiento como *Interpreter, Windcatcher, Gladiator*

- f) Cuatro terminales para ejecutar pruebas de cobertura GSM y UMTS (LG CU 500).

	<p><u>CARACTERÍSTICAS:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso: 105 gramos. ▪ Dimensiones: 96.5 × 49.5 × 19.3 mm. ▪ Soporta redes: GSM (850, 900, 1800 y 1900 MHz), GPRS, EDGE, UMTS y HSDPA. ▪ Sensibilidad: -105 dBm.
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


- g) Dos terminales para ejecutar pruebas de cobertura GSM (Nokia 6230).

	<p><u>CARACTERÍSTICAS:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso: 97 gramos. ▪ Dimensiones: 103 × 44 × 20 mm. ▪ Soporta redes: GSM (900, 1800 y 1900 MHz), GPRS, EDGE. ▪ Sensibilidad: -102 dBm.
-------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- h) Un terminal para ejecutar pruebas de cobertura CDMA 1xRTT (Kyocera KX5).

	<p><u>CARACTERÍSTICAS:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso: 110 gramos. ▪ Dimensiones: 99 × 47 × 22.9 mm. ▪ Soporta redes: AMPS y CDMA (850 y 1900 MHz).
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- i) Un terminal para ejecutar pruebas de cobertura CDMA 1xEVDO (Kyocera KPC650).

	<p><u>CARACTERÍSTICAS:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso: 57 gramos. ▪ Dimensiones: 54 × 123 × 13 mm. ▪ Soporta redes: CDMA 2000 1xRTT y CDMA 2000 1Xevdo
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Con la ayuda de una PC que disponga del software de configuración *Invex NxG* se configura cada teléfono en modo *idle* y la red a la que se va a monitorear (2G o 3G). Estos datos posteriormente se almacenarán en el disco duro de la PC para su evaluación y análisis final. En las figuras 2.11 a 2.15 se presentan las configuraciones de los diferentes terminales a utilizar.

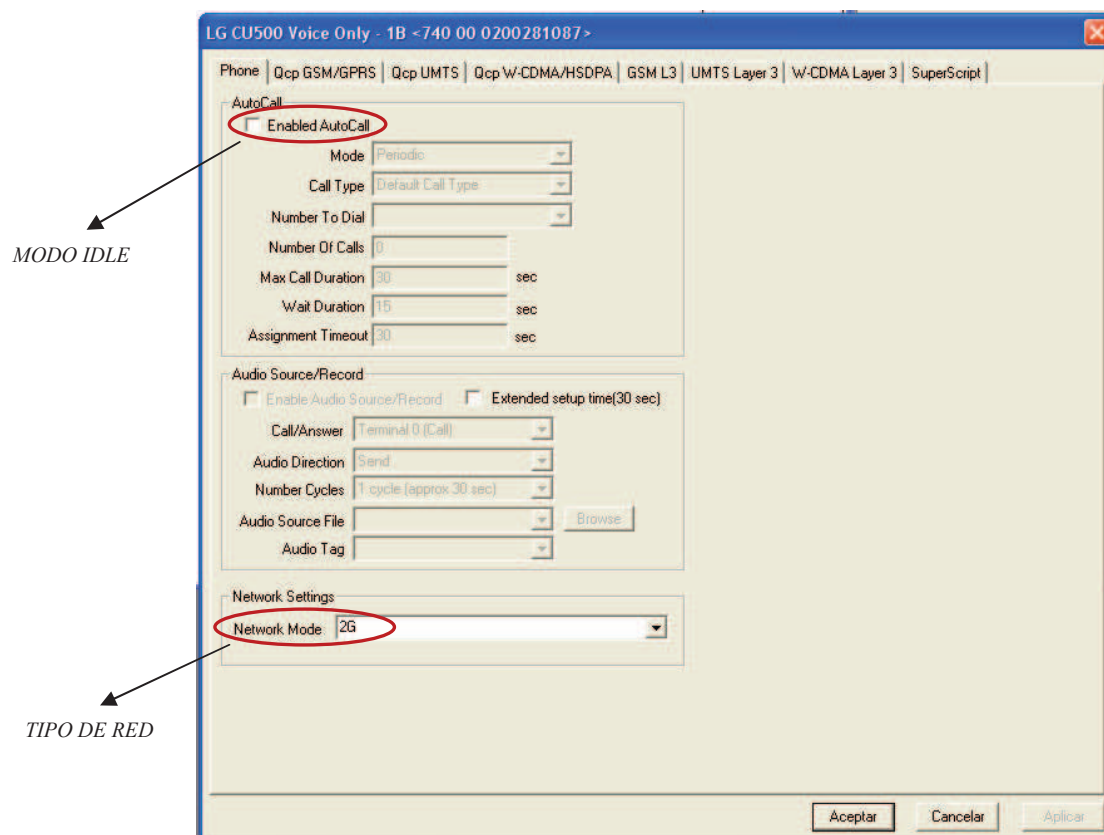


Figura 2.11. Configuración en modo *idle* 2G para LGCU500

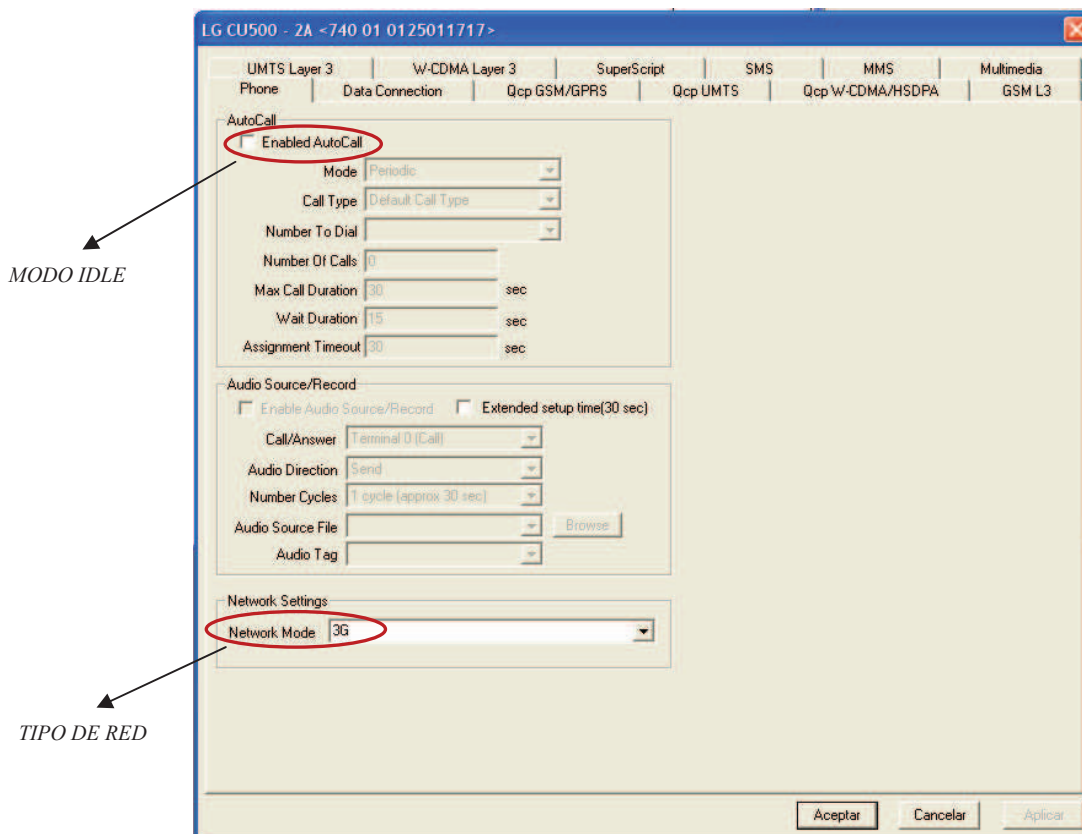


Figura 2.12. Configuración en modo *idle* 3G para LGCU500

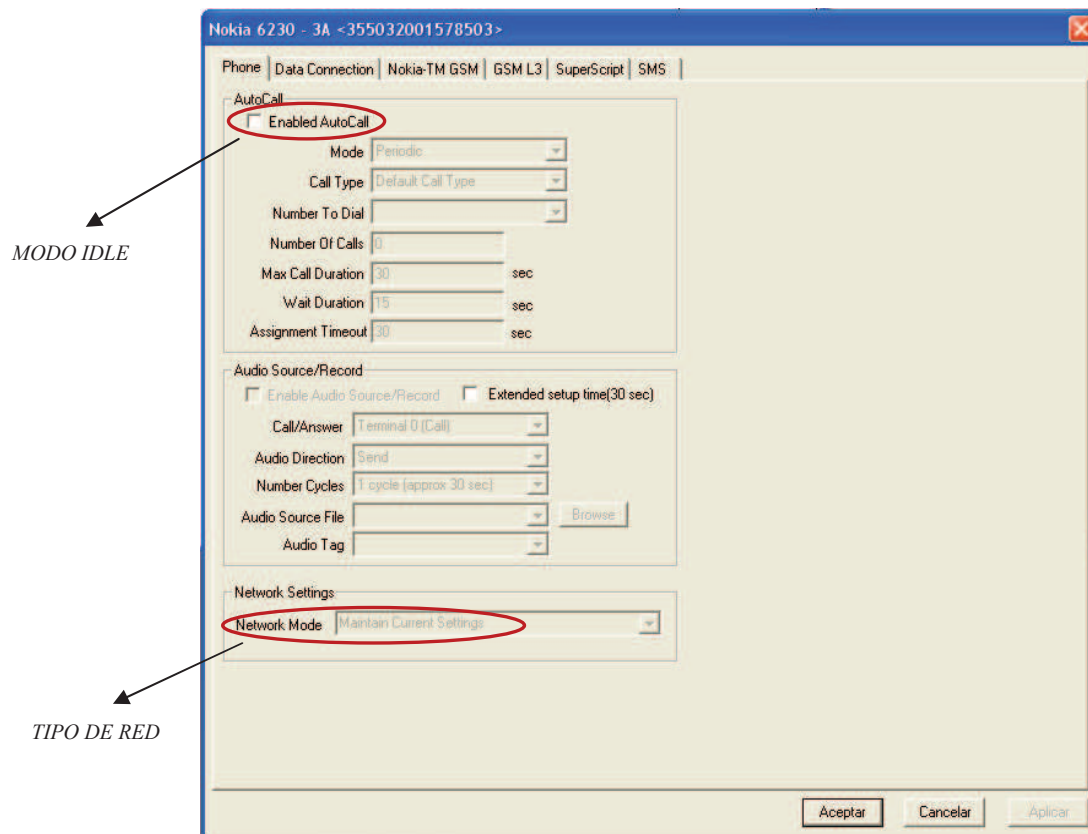


Figura 2.13. Configuración en modo *idle* 2G para NOKIA 6230.

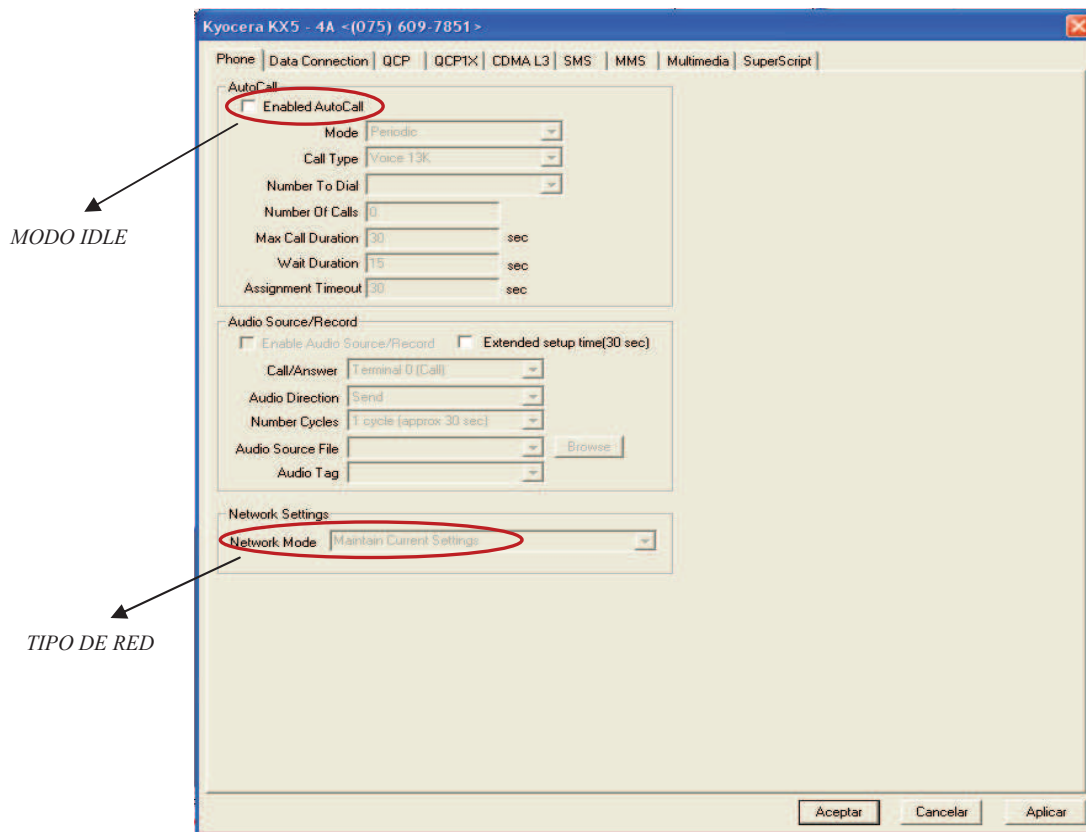


Figura 2.14. Configuración en modo *idle* CDMA para KYOCERA KX5

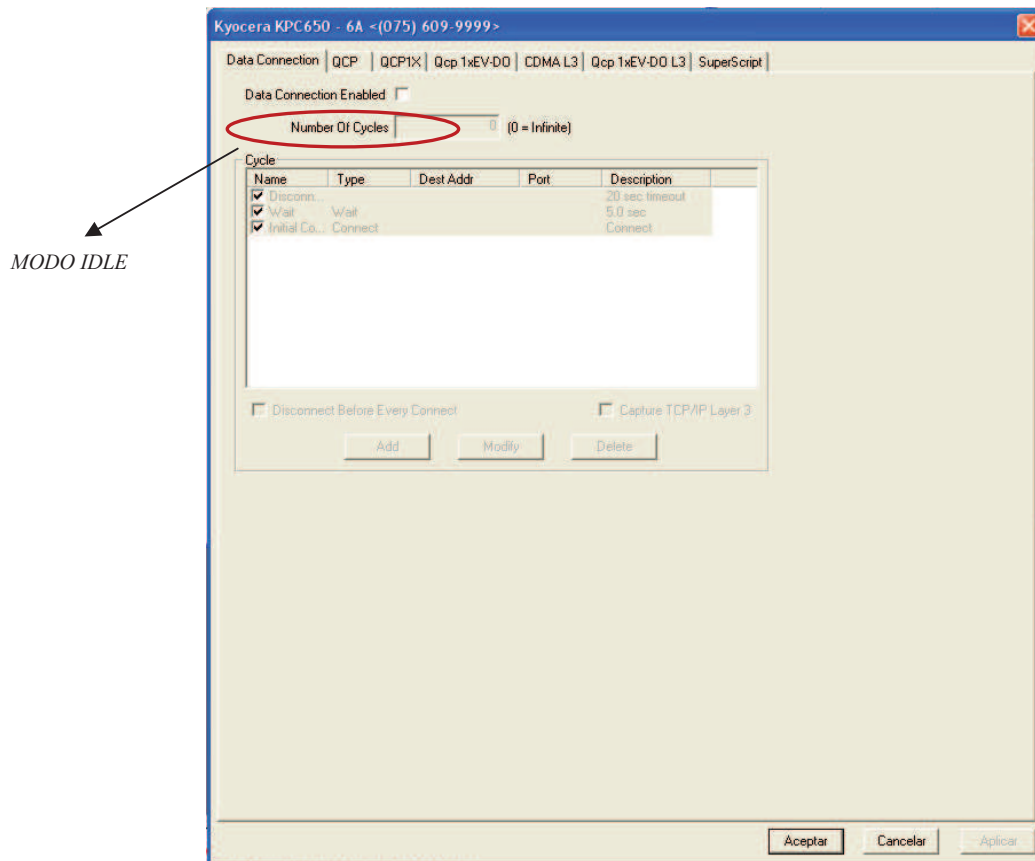


Figura 2.15. Configuración en modo *idle* CDMA EVDO para KYOCERA KPC650

Finalmente los ocho terminales que se usaron quedaron configurados para los *drive test* de la siguiente manera:

TERMINAL	PUERTO INVEX NxG	TECNOLOGÍA	OPERADORA
LG CU500	1 A	GSM	CONECEL S.A.
LG CU500	1 B	GSM	OTECCEL S.A.
LG CU500	2 A	WCDMA	CONECEL S.A.
LG CU500	2 B	WCDMA	OTECCEL S.A.
Nokia 6230	3 A	GSM	CONECEL S.A.
Nokia 6230	3 B	GSM	OTECCEL S.A.
Kyocera KX5	4 A	CDMA 1xRTT	CNT E.P.
Kyocera KPC650	6 A	CDMA 1xEVDO	CNT E.P.

Tabla 2. 2 Configuración de los equipos terminales en el Invex NxG

2.2.2.4. Post-procesamiento de las mediciones efectuadas

Los archivos fuente generados (*.ILF*) por los equipos de medición luego de procesarlos mediante un software de post-procesamiento (por ejemplo *Interpreter*, *Windcatcher*, *Gladiator*) generan una base de datos, de la cual se extraerán los valores a ser analizados. A continuación se hará una breve descripción de los programas que se van a utilizar.

→ **Interpreter**

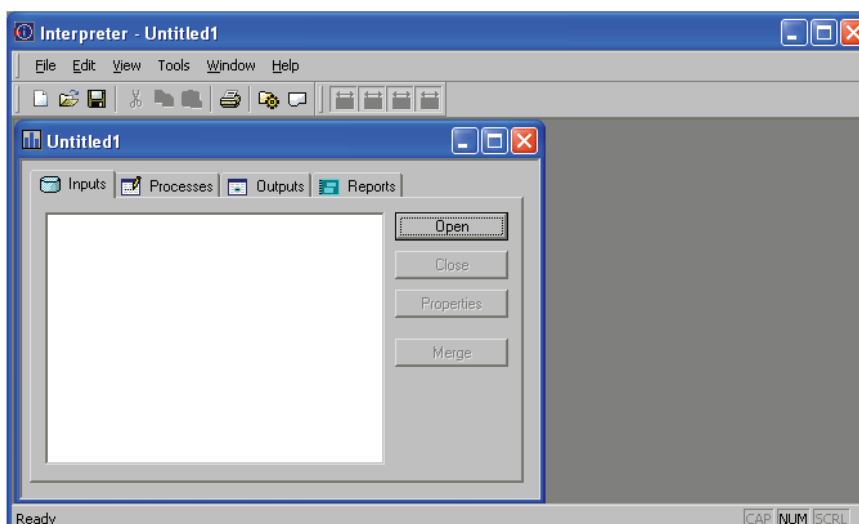


Figura 2. 16 Espacio de trabajo del software de post-procesamiento *Interpreter* [11]

Interpreter³⁹ es una herramienta de software especializado en analizar redes inalámbricas. Los administradores de red, ingenieros, técnicos lo utilizan para optimizar el rendimiento de sus sistemas e identificar fácilmente problemas comunes presentes en las redes. Este software analiza los datos recogidos por las herramientas de medición Andrew; proporciona resultados claros y concisos en un número de pantallas incluyendo mapas, gráficos, hojas de cálculo, etc [11].

→ **Gladiator**

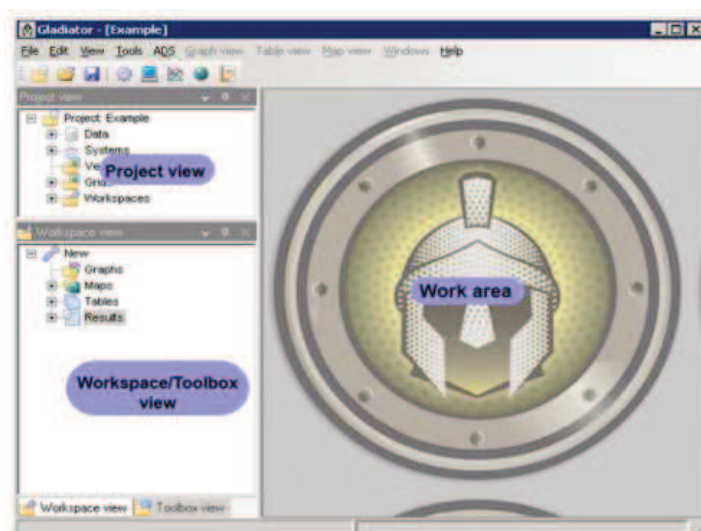


Figura 2. 17 Espacio de trabajo del software de post-procesamiento *Gladiator* [12]

Gladiator⁴⁰ es una plataforma de optimización que analiza los datos de la interfaz celular que se recogen utilizando cualquiera de los sistemas de medición de datos inalámbricos existentes en el mercado. Los datos analizados se combinan en el sistema de recolección y proviene de dos fuentes [12]:

- *Los datos de la interfaz aire:* los campos de datos que se relacionan con la tecnología específica del usuario.
- *Datos de navegación:* una posición de referencia geodésica y el sello de tiempo para cada lectura de datos.

³⁹ La versión que se utiliza en este estudio es la 3.5.1.3.7.

⁴⁰ La versión que se utiliza en este estudio es la 5.4.

El post-procesamiento del parámetro **zona de cobertura** de los servicios 2G y 3G independientemente del programa que se emplee sigue la secuencia siguiente:

- a. Procesamiento de los archivos fuente **.ILF* a **.mdb* mediante el software utilizado.
- b. Generación de tablas en Microsoft Excel **.xls* a través de parámetros obtenidos en el software de post-procesamiento. Para la zona de cobertura se tiene:

Rxpower o Ec/Io	Tiempo	Latitud	Longitud	Distancia
--------------------	--------	---------	----------	-----------

- c. Ejecución de macros para la generación de archivos *.kml* de cobertura gracias a la facilidad del Google Earth.

En el **Anexo A2** se muestra una comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento empleados por la SUPERTEL.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE MEDICIÓN

Con el objetivo de determinar los factores y su grado de influencia en la QoS de las redes móviles 2G y 3G, se efectuaron mediciones para el área de cobertura a través de los siguientes escenarios de pruebas.

- **ESCENARIO 1:** Parte de la Zona 8 de Quito

Características: Urbana Densa.

Área de medición aproximada: 1.21 km².

Número de recorridos: 5.

Fecha de realización de pruebas: 14, 15, 18 de noviembre del 2011 y
13 de diciembre del 2011.

El recorrido de la medición transitó por las calles listadas a continuación:

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| ✓ Av. Naciones Unidas | ✓ Calle Juan Pedro Sanz |
| ✓ Calle Corea | ✓ Calle José Padilla |
| ✓ Calle Ignacio San María | ✓ Av. Atahualpa |

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| ✓ Calle Iñaquito | ✓ Av. De la República |
| ✓ Calle Guayas | ✓ Av. de los Shyris |
| ✓ Calle Azuay | ✓ Calle Japón |
| ✓ Calle Rumipamba | ✓ Av. Río Amazonas |
| ✓ Calle Inglaterra | ✓ Calle Juan González |
| ✓ Calle Denmark | ✓ Calle Núñez de Vela |
| ✓ Av. Eloy Alfaro | ✓ Av. 10 de Agosto |



Figura 2. 18 Zona 8 (Quito)

- **ESCENARIO 2:** Parte de la Zona 4 de Quito

Características: Urbana.

Área de medición aproximada: 0.88 km².

Número de recorridos: 6.

Fecha de realización de pruebas: 14, 15, 18 de noviembre del 2011.

16 de diciembre del 2011 y

20 de enero del 2012.

El recorrido de la medición transitó por las calles listadas a continuación:

- ✓ Av. Luis Tufiño
- ✓ Calle Leonardo Murialdo
- ✓ Calle Nicolás Arteta
- ✓ Calle José María Borrero
- ✓ Calle Alfonso Yépez
- ✓ Calle César Borja Lavayen
- ✓ Calle Porfirio Romero
- ✓ Calle Humberto Marín
- ✓ Calle Miguel Cruz
- ✓ Calle Reinaldo Bastidas
- ✓ Calle Miguel Alvarez
- ✓ Calle Capitán Ramón Borja
- ✓ Av. Real Audiencia de Quito
- ✓ Calle Francisco Marcos
- ✓ Calle M. García Moreano
- ✓ Calle J.M. Landa
- ✓ Calle Rafael Aulestia
- ✓ Calle Miguel Zambrano
- ✓ Calle Gangotena
- ✓ Calle Navarro
- ✓ Calle Febres Cordero
- ✓ Calle Manuel Matheu
- ✓ Calle Juan B. León
- ✓ Calle Nicolás Vásconez
- ✓ Calle Ignacio Valdiviezo
- ✓ Av. 10 de Agosto

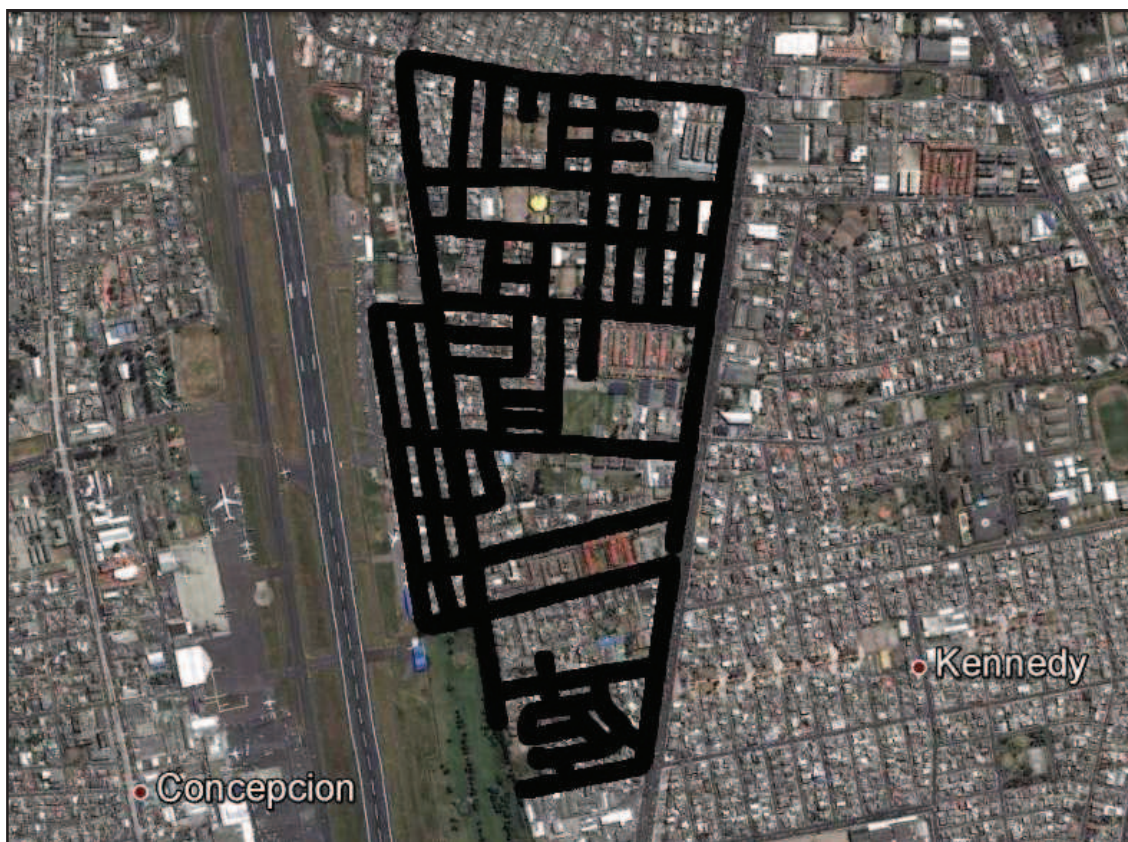


Figura 2. 19 Zona 4 (Quito)

- **ESCENARIO 3: Nayón.**

Características: Rural.

Área de medición aproximada: 0.60 km².

Número de recorridos: 4.

Fecha de realización de pruebas: 12, 13, y 21 de diciembre del 2011.



Figura 2. 20 Nayón

- **ESCENARIO 4: Av. Simón Bolívar.**

Características: Carretera.

Longitud de medición aproximada: 24.3 km.

Número de recorridos: 4.

Fecha de realización de pruebas: 17 de noviembre del 2011.

El recorrido de esta medición se dio en la Av. Simón Bolívar desde el redondel de Zámbriza hasta llegar al intercambiador de la curva de Santa Rosa.



Figura 2. 21 Av. Simón Bolívar

- **ESCENARIO 5:** Machachi – Aloag.

Características: Carretera.

Longitud de medición aproximada: 9.44 km.

Número de recorridos: 4.

Fecha de realización de pruebas: 17 de noviembre del 2011.



Figura 2. 22 Carretera Machachi – Aloag

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA QoS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO

3.1. INTRODUCCIÓN

Antes de ver los resultados, se hará un breve resumen de los escenarios en donde se desarrollaron las mediciones. Para este estudio se han establecido cinco escenarios en donde de acuerdo a sus características se han fijado los factores a ser comparados.

ESCENARIO 1: Comprende una extensión de 1.21 km², es un área catalogada como urbano denso por tener varias entidades de interés público (ministerios, bancos, centros comerciales, etc). Se caracteriza por tener edificios altos, gran densidad de gente y un destacado tráfico vehicular.

ESCENARIO 2: Es una zona urbana con una extensión de 0.88 km², es un entorno referente de un área habitacional compuesta por casas pequeñas/medianas y una densidad vehicular moderada.

ESCENARIO 3: Clasificada como zona rural con una extensión de 0.60 km², consta de estructuras civiles pequeñas/medianas y una modesta población. A su alrededor hay espacios naturales, es decir zonas verdes donde no hay habitantes.

ESCENARIO 4: Carretera con una extensión de 24.3 km, en pequeños tramos de esta vía se presentan estructuras habitacionales pero en la mayoría de su trayecto no existe población.

ESCENARIO 5: Carretera con una extensión de 9.44 km que va desde el centro de la ciudad de Machachi hasta la parroquia Aloag. Un pequeño tramo de esta carretera no tiene población circundante.

Para la evaluación de los niveles de recepción de potencia (Rxlevel o Rxpower) y la *energía por chip / ruido (Ec/Io)* se ha establecido un rango de análisis, éste se basa en el contrato de concesión que manejan las operadoras de SMA en Ecuador⁴¹. Estos rangos van a variar de acuerdo a la tecnología a evaluar (GSM, WCDMA y CDMA) y al tipo de zona a cubrir.

TIPO DE ZONA	Rxlevel ⁴² (GSM)	Ec/Io ⁴³ (WCDMA y CDMA)
Urbana	Valor objetivo $\geq - 78$ dBm	Valor objetivo $\geq - 12$ dB
Rural	Valor objetivo $\geq - 93$ dBm	Valor objetivo $\geq - 14$ dB
Carretera	Valor objetivo $\geq - 98$ dBm	Valor objetivo $\geq - 17$ dB

Tabla 3. 1 Valores objetivos⁴⁴ para evaluar la cobertura de la telefonía móvil celular

Como se observa en la Tabla 3.1, a medida que las zonas se hacen más extensas y menos pobladas la tolerancia en los rangos aumenta: 38 dBm en GSM y 12 dB en CDMA/WCDMA para zonas urbanas, 53 dBm en GSM y 14 dB en CDMA/WCDMA para zonas rurales y 58 dBm en GSM y 17 dB en CDMA/WCDMA para carreteras⁴⁵.

Con el objetivo de discriminar de mejor manera la calidad de las comunicaciones, el rango tolerable actualmente controlado para cada tecnología

⁴¹ Los contratos de concesión están publicados en la página web oficial del CONATEL

⁴² Según la norma ETSI GSM 05.08 el valor máximo que puede tomar Rxlevel es -40 dBm.

⁴³ El valor máximo que puede tomar Ec/Io es 0 dB.

⁴⁴ **Valor objetivo:** Son valores de señal mínimos que debe proporcionar una BTS para garantizar un nivel adecuado de servicio. El 95% de las muestras tomadas debe encontrarse en este rango.

⁴⁵ Valores que resultan de la diferencia entre los valores máximos y mínimos de los parámetros a evaluar.

se ha subdividido en cuatro sub rangos con escalas uniformes y su descripción correspondiente como se indica en las tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

RxLevel (dBm)	Ec/Io (dB)	DESCRIPCIÓN
-40 a -49,5	0 a -3	Excelente
-49,5 a -59	-3 a -6	Bueno
-59 a -68,5	-6 a -9	Regular
-68,5 a -78	-9 a -12	Malo

Tabla 3. 2 Rangos a evaluar en las ZONAS URBANAS para 2G y 3G

RxLevel (dBm)	Ec/Io (dB)	DESCRIPCIÓN
-40 a -53,25	0 a -3,5	Excelente
-53,25 a -66,5	-3,5 a -7	Bueno
-66,5 a -79,75	-7 a -10,5	Regular
-79,75 a -93	-10,5 a -14	Malo

Tabla 3. 3 Rangos a evaluar en las ZONAS RURALES para 2G y 3G

RxLevel (dBm)	Ec/Io (dB)	DESCRIPCIÓN
-40 a -54,5	0 a -4,25	Excelente
-54,5 a -69	-4,25 a -8,5	Bueno
-69 a -83,5	-8,5 a -12,75	Regular
-83,5 a -98	-12,75 a -17	Malo

Tabla 3. 4 Rangos a evaluar en las CARRETERAS para 2G y 3G

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para analizar la afección de cada factor a la QoS del SMA se ha promediado el total de muestras recogidas en cada recorrido (excepto para el tipo de terminales y sentido de recorrido), es decir se van a tener tantos datos como recorridos se hayan hecho. En el caso del tipo de terminales se ha tomado una muestra de los datos recopilados para realizar la comparación, mientras que para el análisis del sentido de recorrido se lo hará en puntos determinados. Para cada tecnología y operadora se va a calcular la media, la varianza y la desviación estándar con el único objetivo de que el análisis sea más acertado.

3.2.1. HORARIO

Las mediciones se realizaron en distintos horarios (mañana-tarde). Los resultados para este factor se muestran en las Figuras 3.1 a 3.15 para los distintos escenarios. En una vista global, las mediciones se encuentran generalmente dentro de un mismo sub rango de análisis y no presentan entre sí un desfase significativo, siendo la mayor desviación estándar igual a 2.313 presente en la tecnología GSM de la operadora OTECEL en el escenario 5.

La operadora que presenta menor recepción de señal en las áreas urbanas (escenarios 1 y 2) es OTECEL sin que esto signifique que la recepción de señal de las otras dos operadoras (CONECEL y CNT) sea excelente. En las tecnologías de segunda generación los niveles de recepción para las operadoras móviles se encuentran en el rango “bueno” (excepto OTECEL) en el escenario 1 y en el rango “regular” para el escenario 2. Por otro lado, en las tecnologías de tercera generación OTECEL cae en el rango “malo” y la mayoría de las mediciones de CONECEL y CNT seguirían en el rango “regular”.

ESCENARIO 1

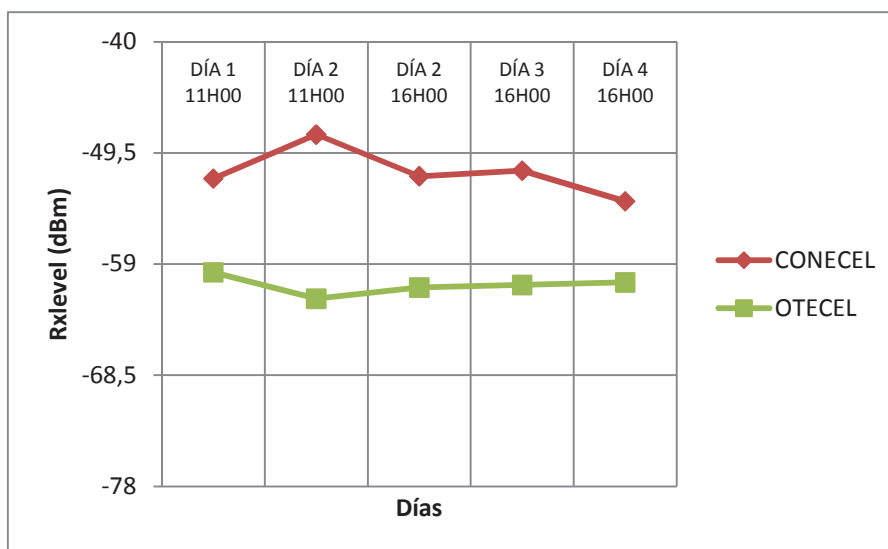


Figura 3. 1 Rxlevel de la tecnología GSM para las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 1

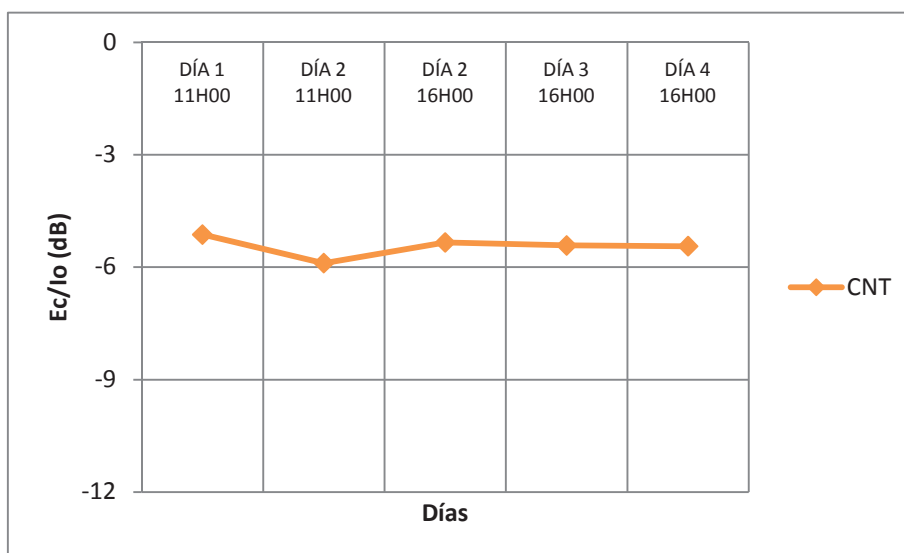


Figura 3. 2 Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 1

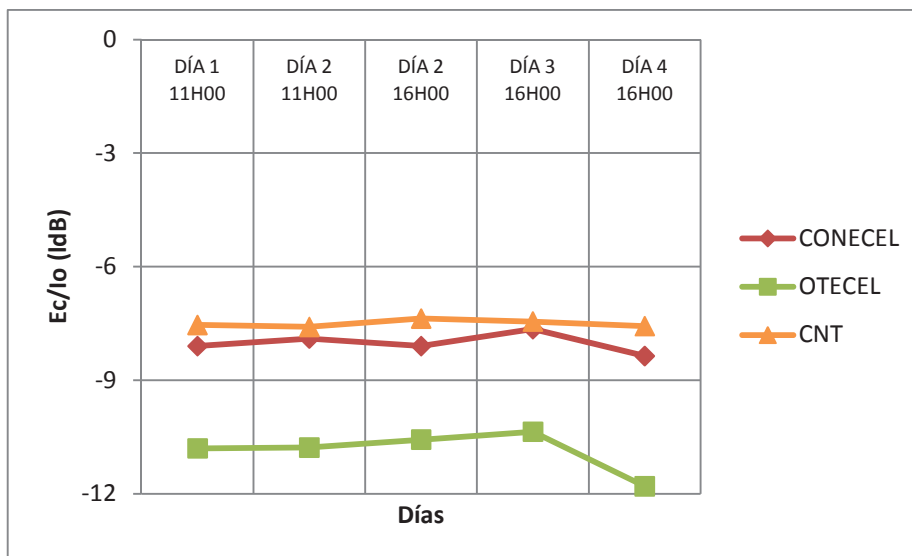


Figura 3. 3 E_c/I_o de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 1

	CONECEL		OTECCEL		CNT	
	GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA EVDO
MEDIA	-51,152	-8,022	-60,800	-10,862	-5,444	-7,504
VARIANZA	3,389	0,056	0,531	0,246	0,062	0,007
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,841	0,237	0,729	0,496	0,249	0,082

Tabla 3. 5 Media, varianza y desviación estándar para el factor *horario* en el escenario 1

ESCENARIO 2

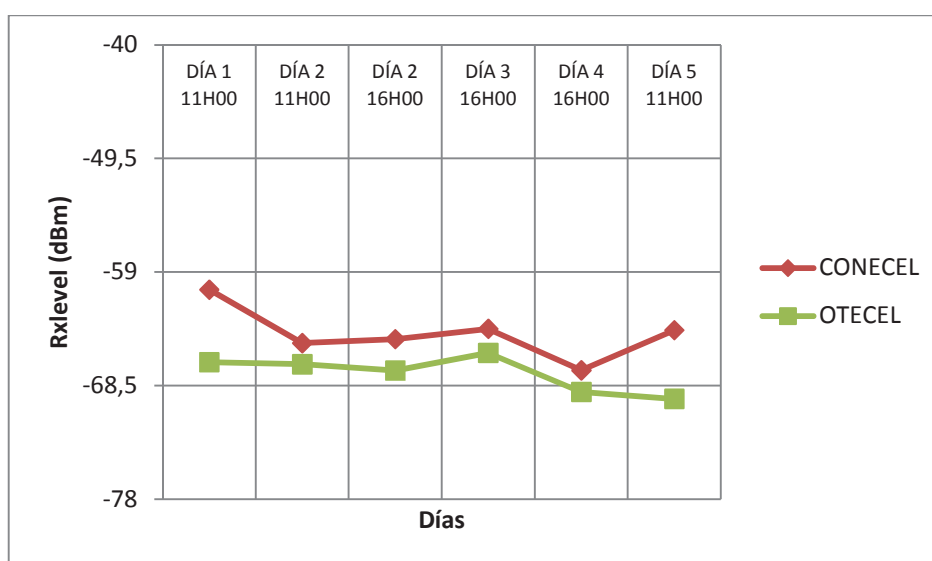


Figura 3. 4 Rxlevel de la tecnología GSM para las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 2

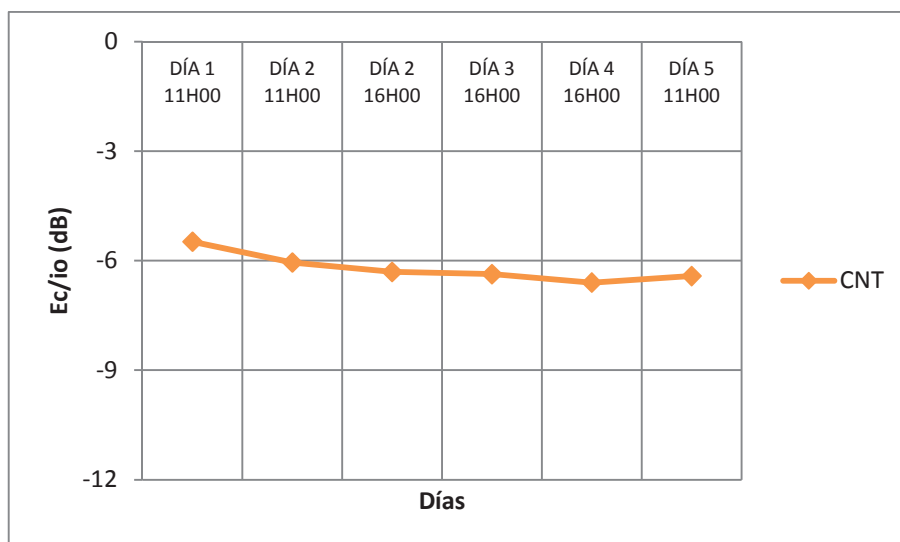


Figura 3. 5 Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 2

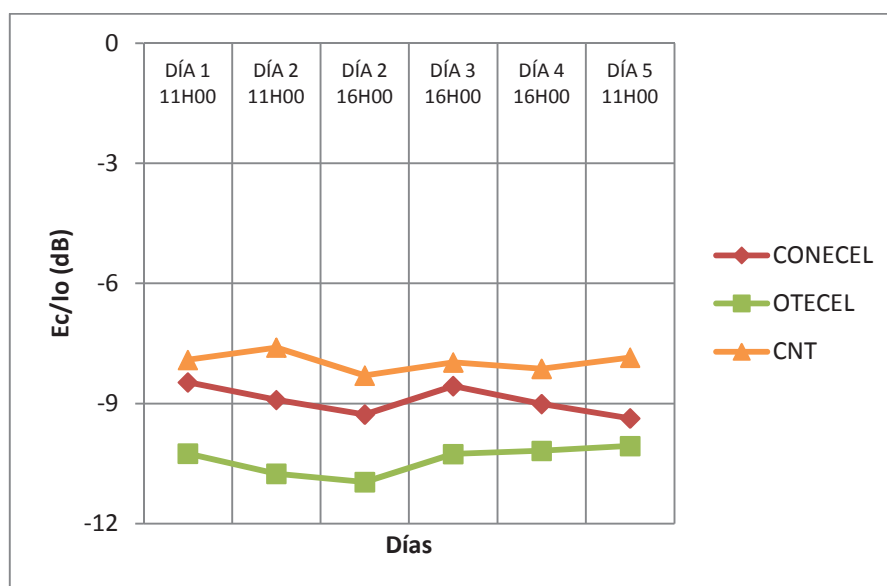


Figura 3. 6 Ec/Io de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 2

	CONECEL		OTECCEL		CNT	
	GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA EVDO
MEDIA	-64,152	-8,932	-67,492	-10,410	-6,205	-7,960
VARIANZA	4,008	0,111	1,905	0,107	0,132	0,048
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,002	0,333	1,380	0,327	0,363	0,219

Tabla 3. 6 Media, varianza y desviación estándar para el factor *horario* en el escenario 2

En el área rural (escenario 3) la operadora que tiene mejor recepción de señal celular en las tecnologías de segunda generación es CNT, encontrándose en el límite entre los rangos “excelente” y “bueno”; mientras que las operadoras CONECEL y OTECEL siguen ubicadas en el rango “regular”. En las mediciones de las tecnologías de tercera generación las tres operadoras coinciden en su mayoría en el rango “regular”.

ESCENARIO 3

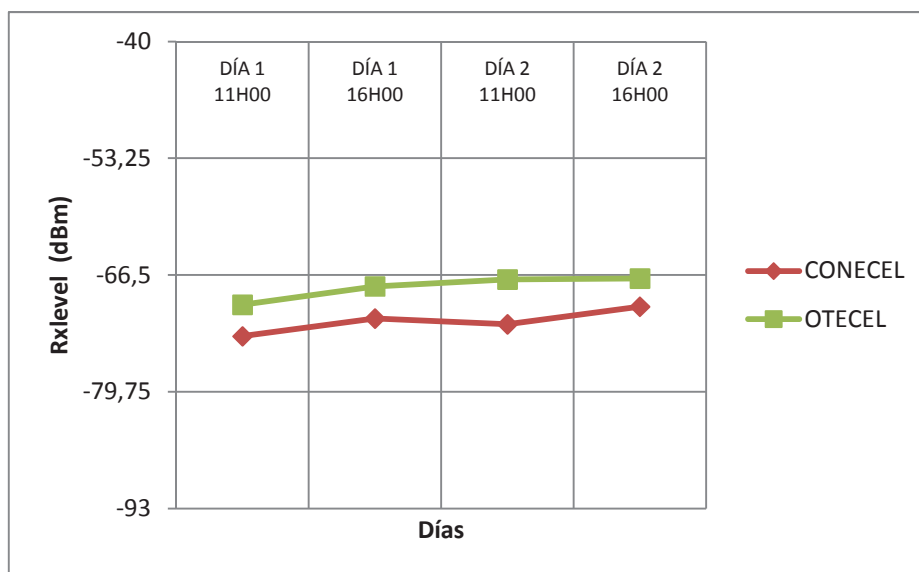


Figura 3. 7 Rxlevel de la tecnología GSM para CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 3

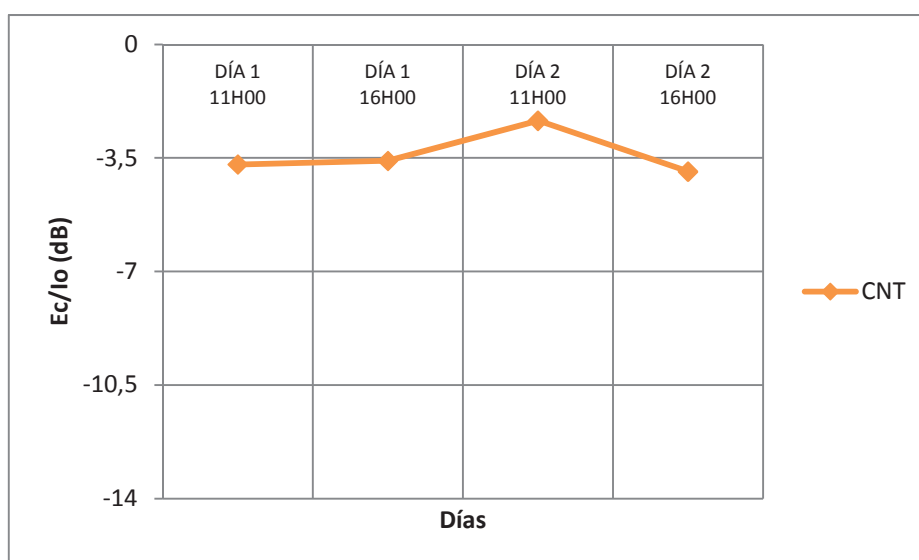


Figura 3. 8 Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 3

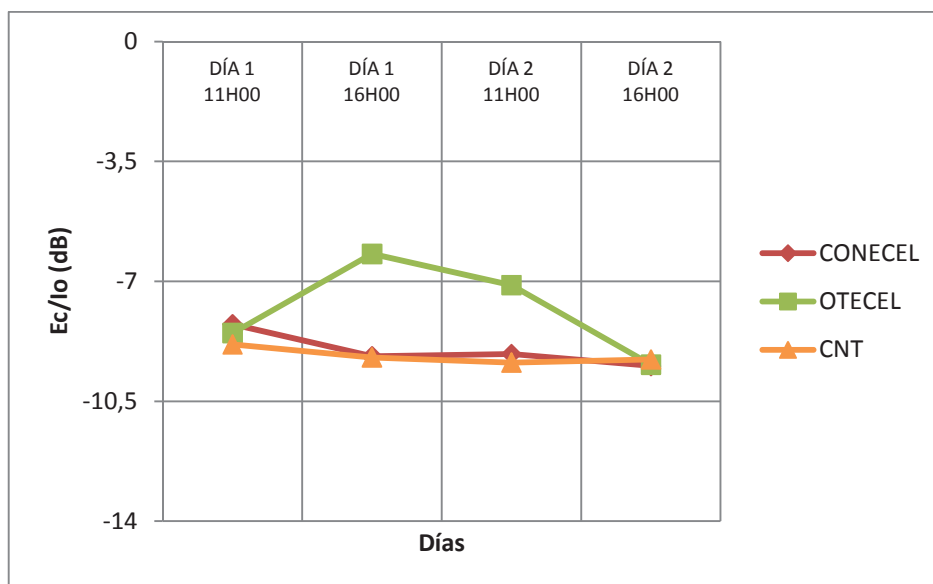


Figura 3. 9 Ec/Io de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 3

	CONECEL		OTECCEL		CNT	
	GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA EVDO
MEDIA	-71,765	-9,008	-67,888	-7,813	-3,390	-9,178
VARIANZA	1,466	0,208	1,431	1,549	0,375	0,041
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,211	0,457	1,196	1,245	0,612	0,202

Tabla 3. 7 Media, varianza y desviación estándar para el factor *horario* en el escenario 3

En el escenario 5 los niveles de recepción de potencia son más altos que los presentes en el escenario 4. Las mediciones en las tecnologías de segunda generación para el escenario 4 se encuentran en el sub nivel “bueno” y para la tercera generación en el sub nivel “regular”. Las tecnologías de segunda y tercera generación en el escenario 5 se desarrollan entre los niveles “bueno” y “regular”.

ESCENARIO 4

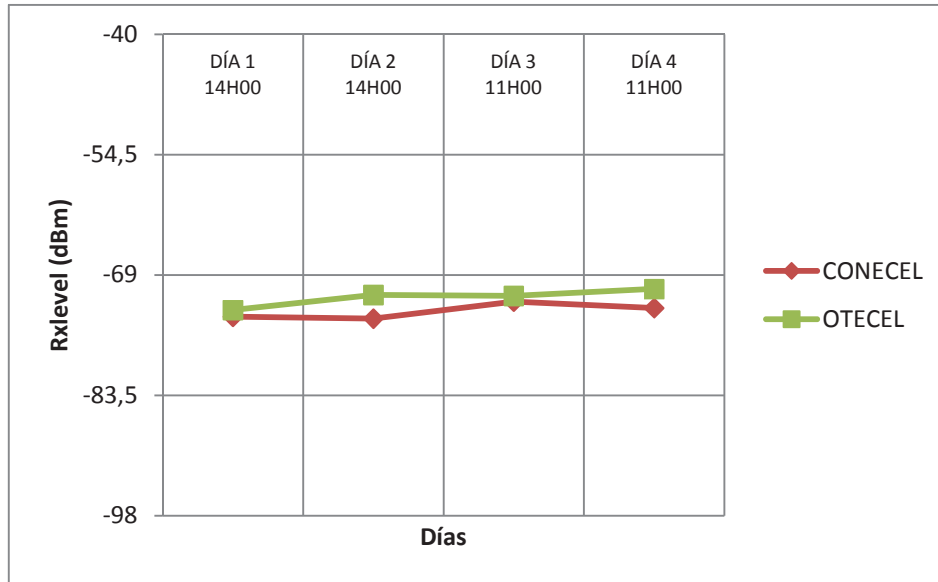


Figura 3. 10 Rxlevel de la tecnología GSM para CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 4

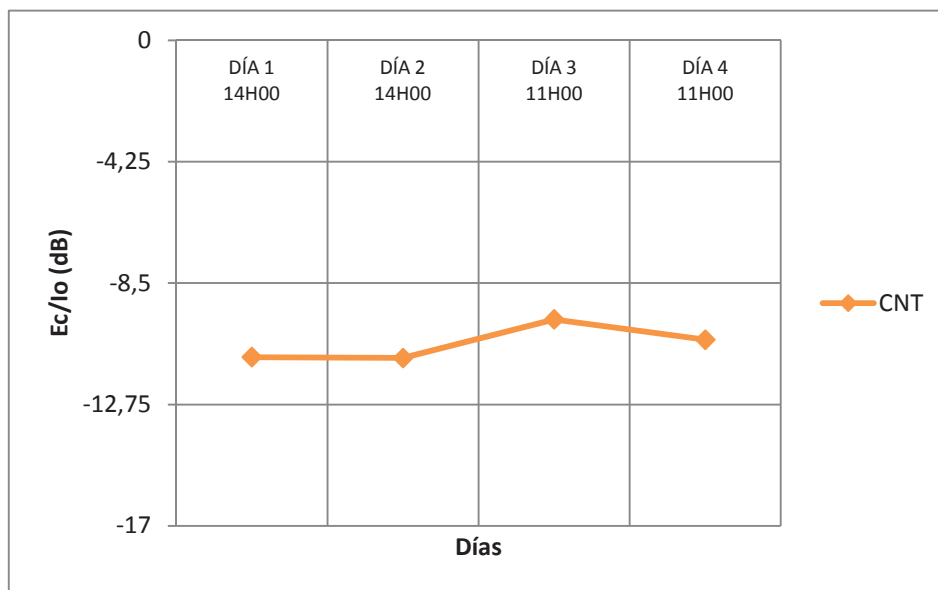


Figura 3. 11 Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 4

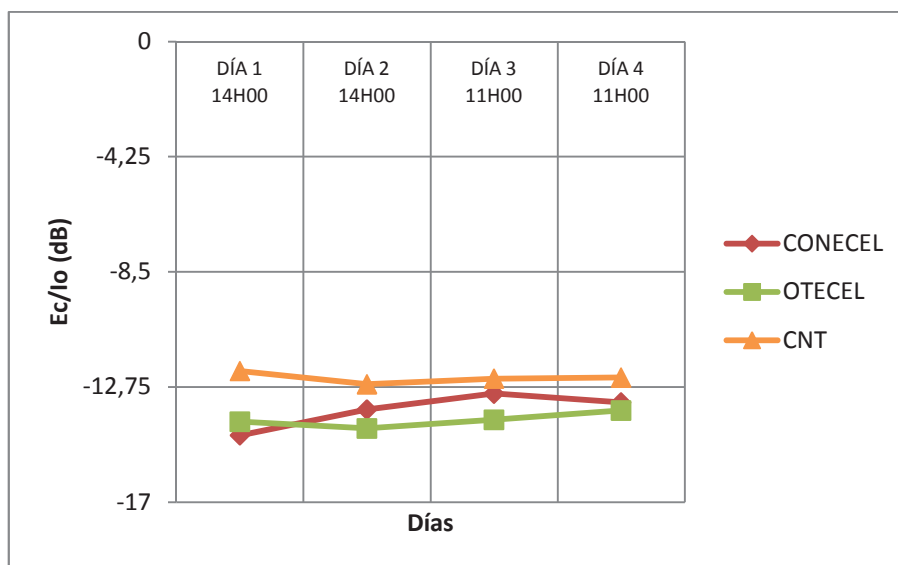


Figura 3. 12 E_c/I_o de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 4

	CONECEL		OTECCEL		CNT	
	GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA EVDO
MEDIA	-73,360	-13,605	-71,703	-13,973	-10,615	-12,413
VARIANZA	0,662	0,329	0,866	0,056	0,303	0,030
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,814	0,574	0,930	0,236	0,551	0,174

Tabla 3. 8 Media, varianza y desviación estándar para el factor *horario* en el escenario 4

ESCENARIO 5

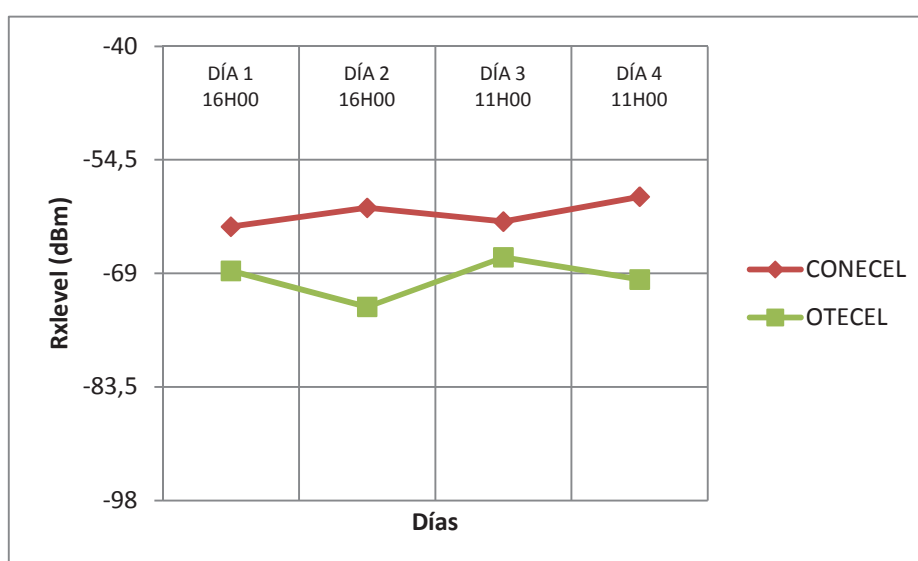


Figura 3. 13 Rxlevel de la tecnología GSM para CONECEL S.A. y OTECEL S.A. en el escenario 5

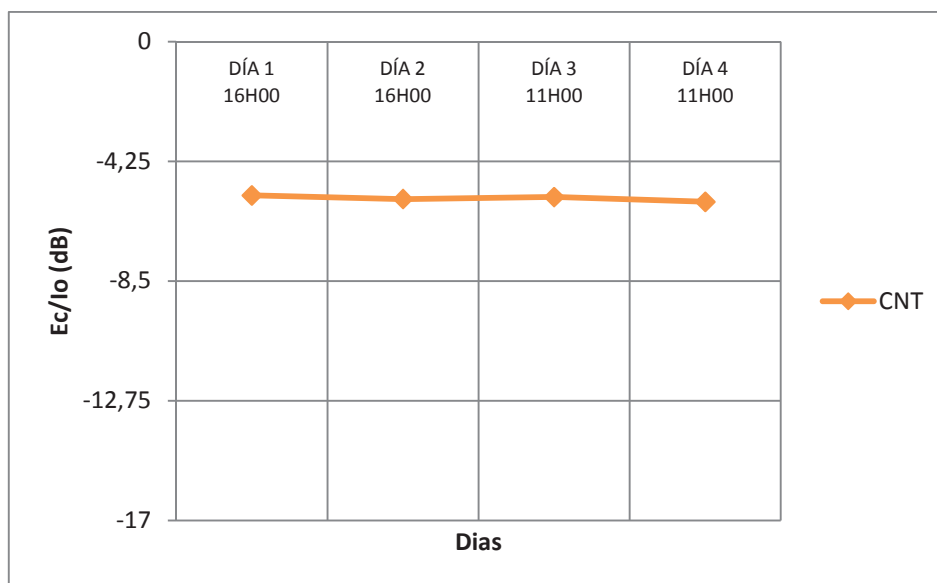


Figura 3. 14 Ec/Io de la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 5

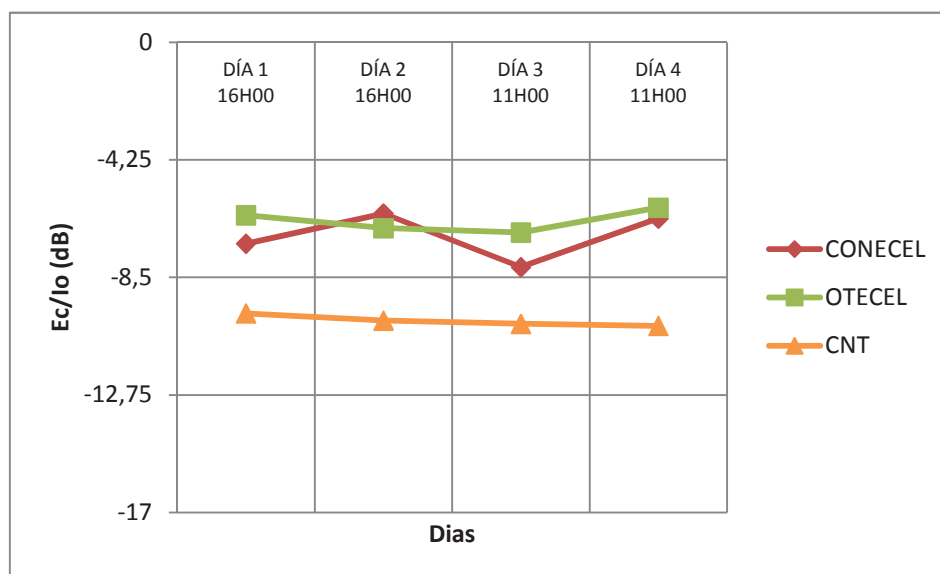


Figura 3. 15 Ec/Io de la tecnología WCDMA y CDMA EVDO para CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. en el escenario 5

	CONECEL		OTECCEL		CNT	
	GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA EVDO
MEDIA	-61,315	-6,993	-69,665	-6,458	-5,565	-10,073
VARIANZA	2,253	0,602	5,351	0,130	0,007	0,029
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,501	0,776	2,313	0,360	0,086	0,171

Tabla 3. 9 Media, varianza y desviación estándar para el factor *horario* en el escenario 5

En la Tabla 3. 10 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en este estudio, aquí se indican el sub rango en el que las mediciones se encuentran.

OPERADORAS	TECNOLOGÍA	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4	ESCENARIO 5
CONECEL S.A.	GSM	BUENO	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BUENO
	WCDMA	REGULAR	MALO	REGULAR	MALO	BUENO
OTECEL S.A.	GSM	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
	WCDMA	MALO	MALO	REGULAR	MALO	BUENO
CNT E.P.	CDMA	BUENO	REGULAR	BUENO	REGULAR	BUENO
	CDMA 1xEVDO	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR

EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO
-----------	-------	---------	------

Tabla 3. 10 Resultados obtenidos de la recepción de señal de acuerdo a los sub rangos establecidos para el factor *horario*

A pesar de que dentro de una celda, el número de usuarios varía según la hora y el día, en estos casos el promedio de la potencia recibida no varía de una manera contundente, probablemente debido a que cuando se recolectaron las mediciones no hubo saturación de los canales de comunicación en ninguno de los escenarios para ninguno de los recorridos.

Con los resultados presentados se puede decir que el nivel de potencia obtenida para cada operadora, en cada escenario, para un diferente horario y sin congestión de tráfico no varía para nuestra recategorización. Entonces se estaría hablando que las operadoras brindan un servicio generalmente REGULAR al usuario, por tanto la QoS que ofrecen las operadoras no es la adecuada.

3.2.2. CLIMA

Para analizar este factor se ha logrado tener en los dos primeros escenarios varias condiciones de clima (precipitación fuerte, precipitación moderada y precipitación débil)⁴⁶. En las siguientes comparaciones se tienen tres condiciones para cada escenario.

En el primer escenario se establece la comparación entre tres condiciones, dos de ellas en un entorno “normal”⁴⁷ y la tercera con una intensidad de lluvia presente igual a 24.3 mm (precipitación fuerte). En las figuras 3.16 a 3.21 se pueden notar varias diferencias entre las intensidades de señal recibida por el terminal móvil según el clima presente. A pesar del diferente clima en cada una de las mediciones el resultado medido de la recepción de señal no cambia notablemente y tampoco varía el sub rango de análisis.

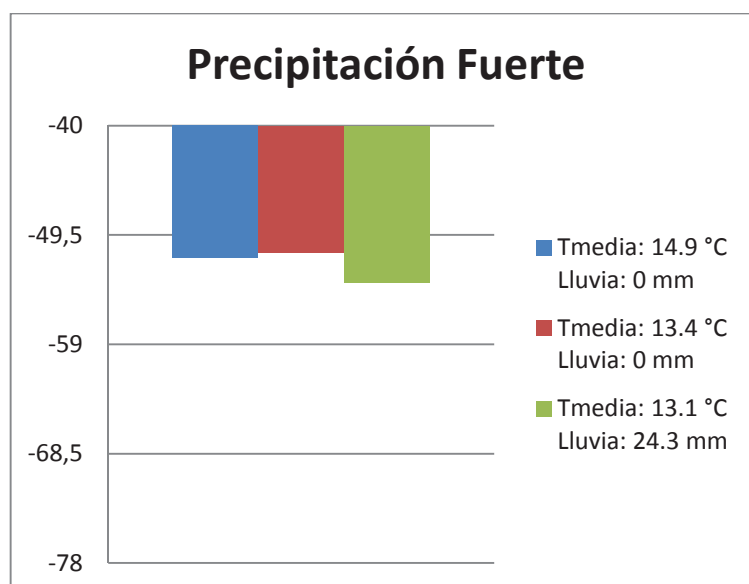


Figura 3. 16 Rxpower sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 1

⁴⁶ Intensidades de lluvia proporcionados por personal del INHAMI.

⁴⁷ Sin presencia de precipitaciones.

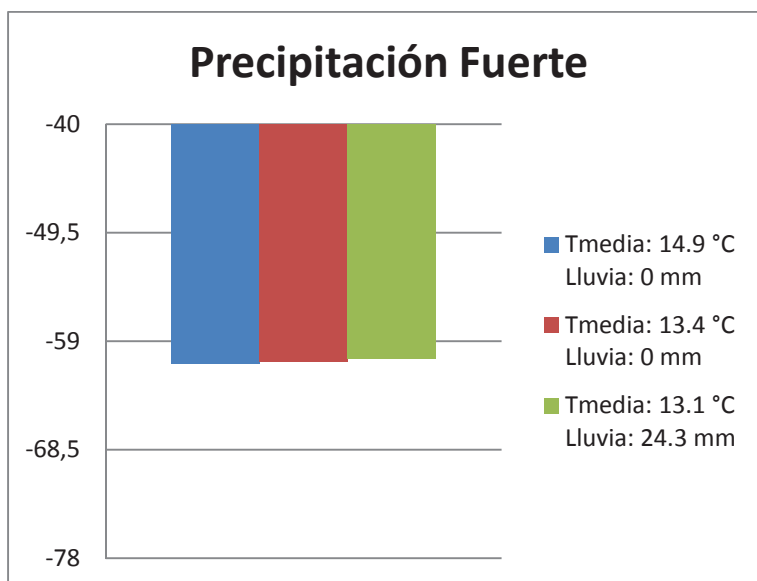


Figura 3. 17 Rxpower sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 1

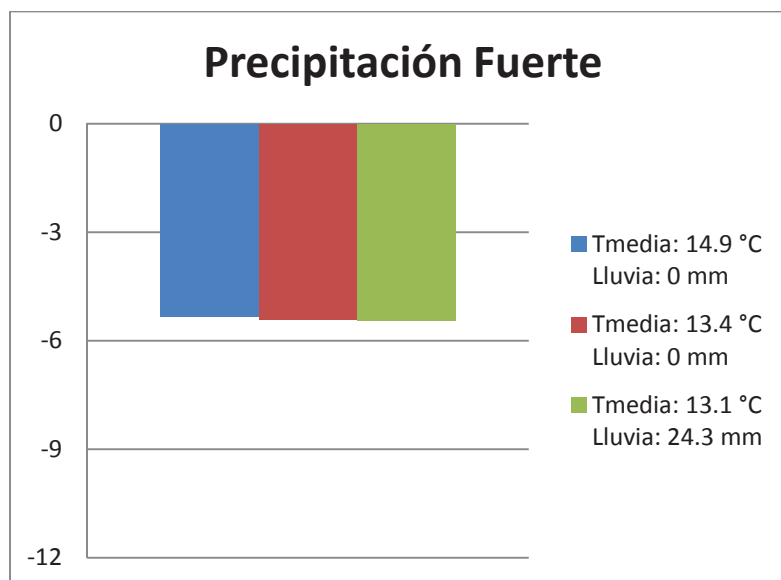


Figura 3. 18 Ec/Io sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 1

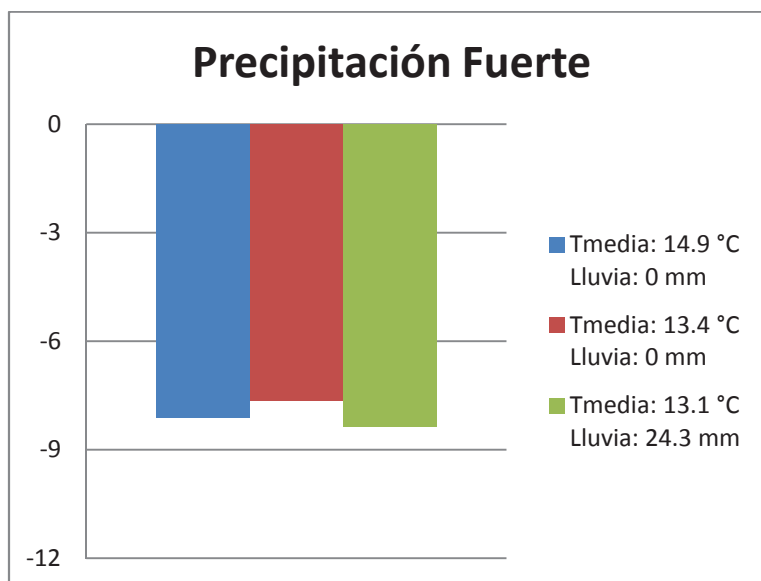


Figura 3. 19 Ec/lo sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 1

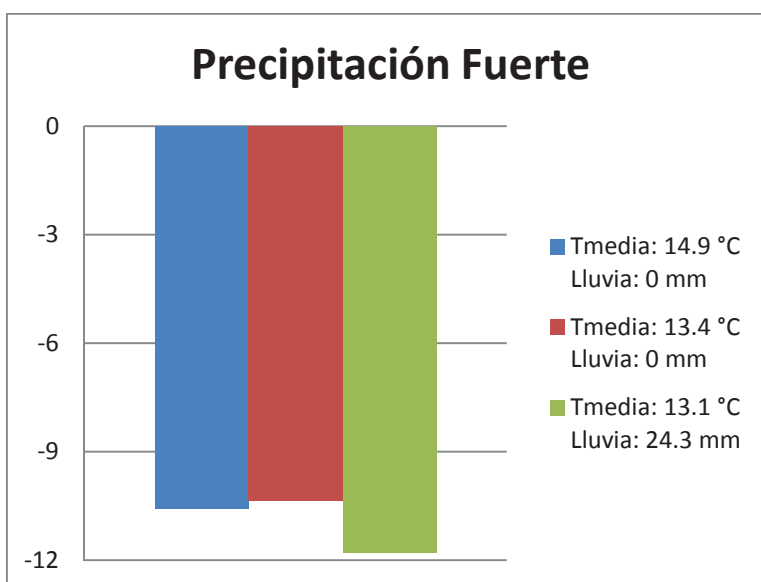


Figura 3. 20 Ec/lo sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 1

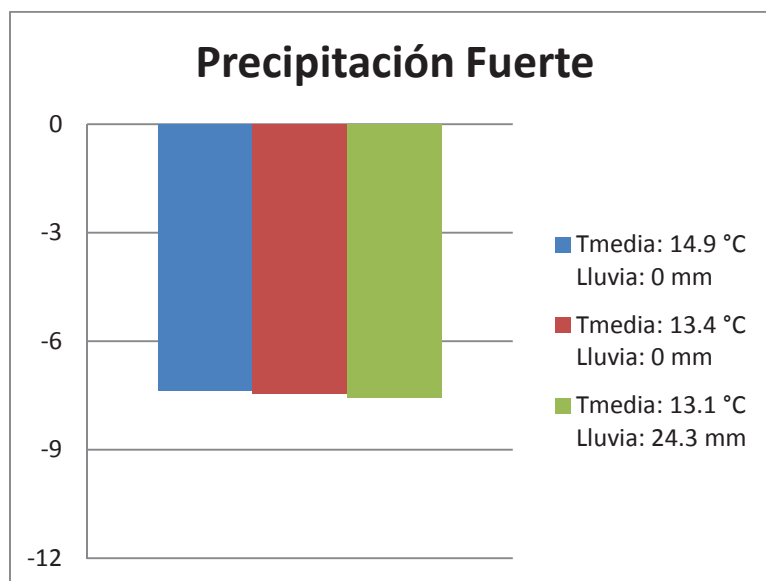


Figura 3. 21 Ec/lo sin precipitación y con precipitación fuerte en la tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P. en el escenario 1

	CONECEL		OTECCEL		CNT	
	GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA EVDO
MEDIA	-52,047	-8,037	-60,780	-10,910	-5,400	-7,463
VARIANZA	1,290	0,086	0,032	0,403	0,002	0,007
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,136	0,293	0,180	0,635	0,043	0,082

Tabla 3. 11 Media, varianza y desviación estándar de los datos promedio cuando hay *precipitación fuerte*

Para el primer análisis en el escenario 2, como tercera condición se tiene una precipitación fuerte tendiendo a moderada (intensidad de lluvia igual a 17.7 mm). Desde las figuras 3.22 a 3.27, al igual que en el análisis anterior, no se observa ningún cambio notable en los niveles de recepción de señal ni en el sub rango de análisis.

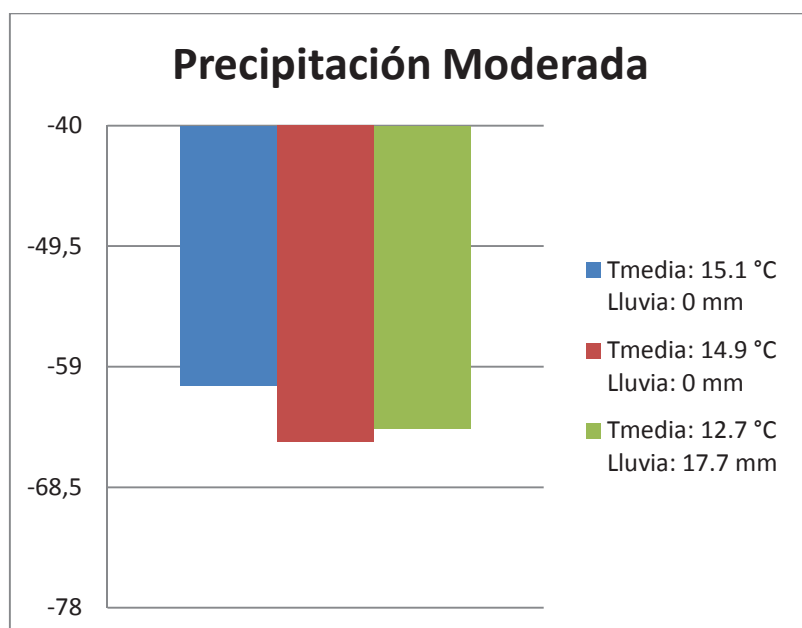


Figura 3. 22 Rxpower sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2

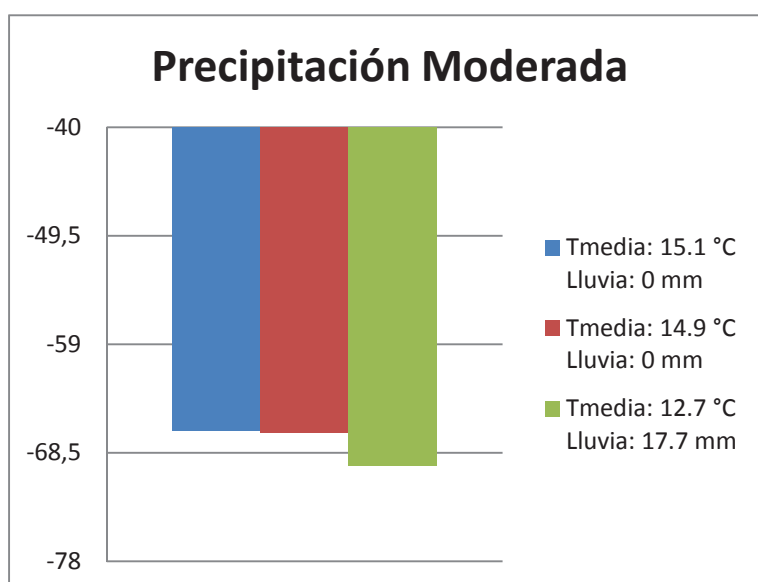


Figura 3. 23 Rxpower sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2

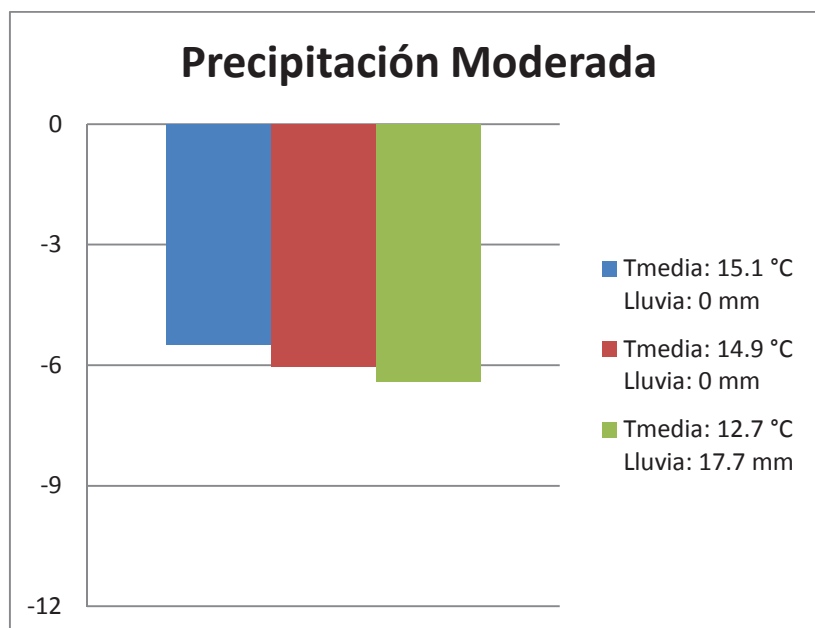


Figura 3. 24 Ec/lo sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 2

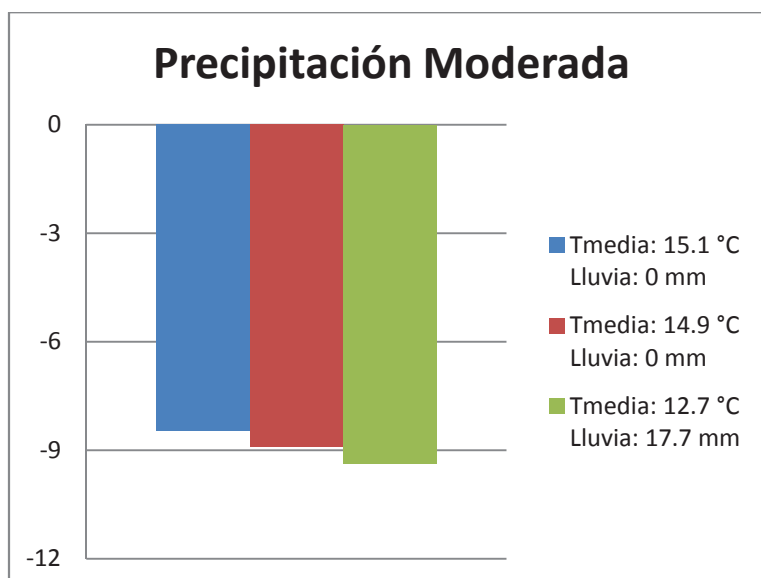


Figura 3. 25 Ec/lo sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2

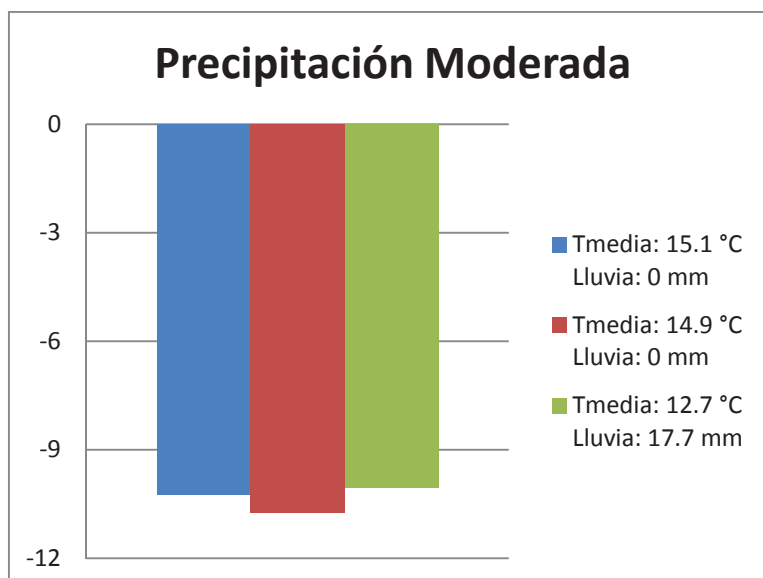


Figura 3. 26 Ec/lo sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2

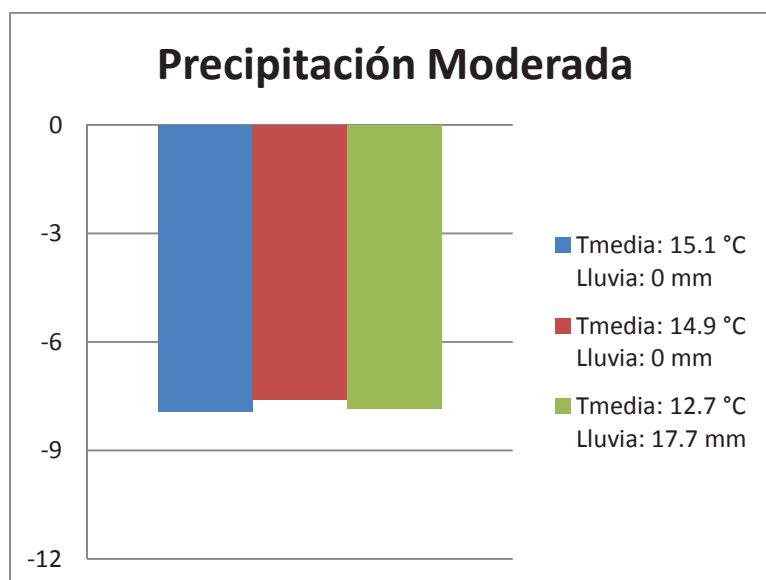


Figura 3. 27 Ec/lo sin precipitación y con precipitación moderada en la tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P. en el escenario 2

	CONECEL		OTECCEL		CNT	
	GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA EVDO
MEDIA	-63,100	-8,917	-67,630	-10,353	-5,983	-7,787
VARIANZA	3,627	0,135	1,985	0,085	0,149	0,018
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,904	0,367	1,409	0,291	0,387	0,134

Tabla 3. 12 Media, varianza y desviación estándar de los datos promedio cuando hay precipitación moderada

Ahora como tercera condición para el segundo análisis del escenario 2, se presenta una lluvia moderada tendiendo a débil (intensidad de lluvia igual a 5.4 mm). Desde la figura 3.28 a 3.33 se tiene una variación casi imperceptible donde los resultados se mantienen en el mismo sub rango de análisis.

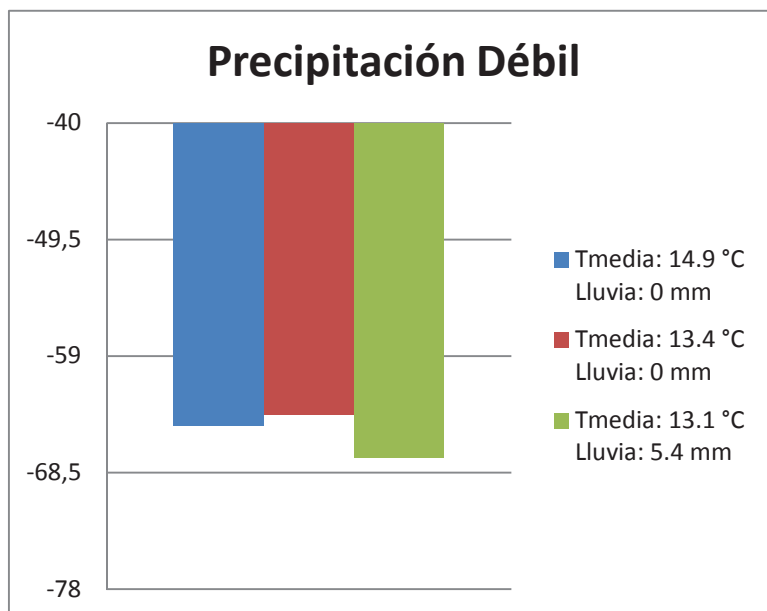


Figura 3. 28 Rxpower sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2

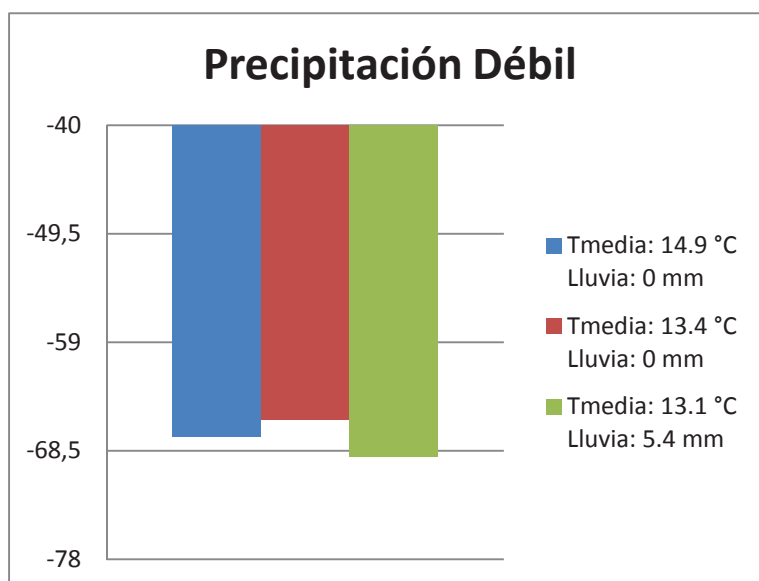


Figura 3. 29 Rxpower sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2

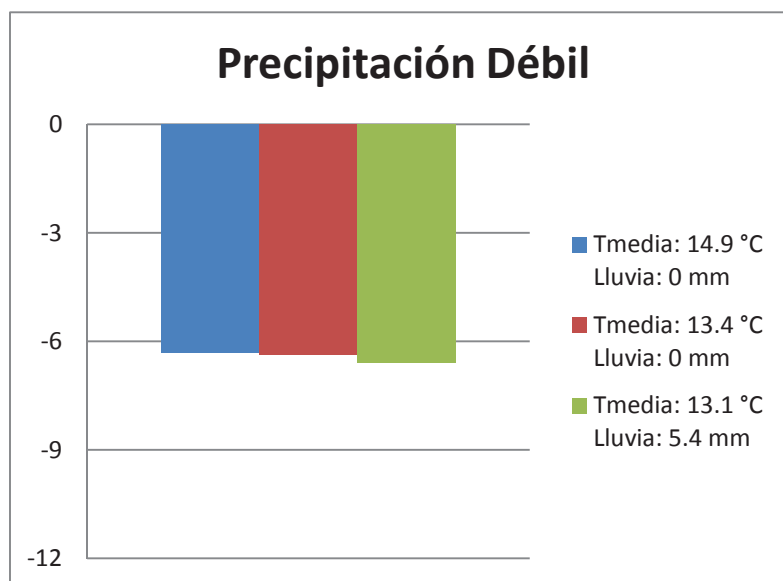


Figura 3. 30 Ec/lo sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología CDMA para la operadora CNT E.P. en el escenario 2

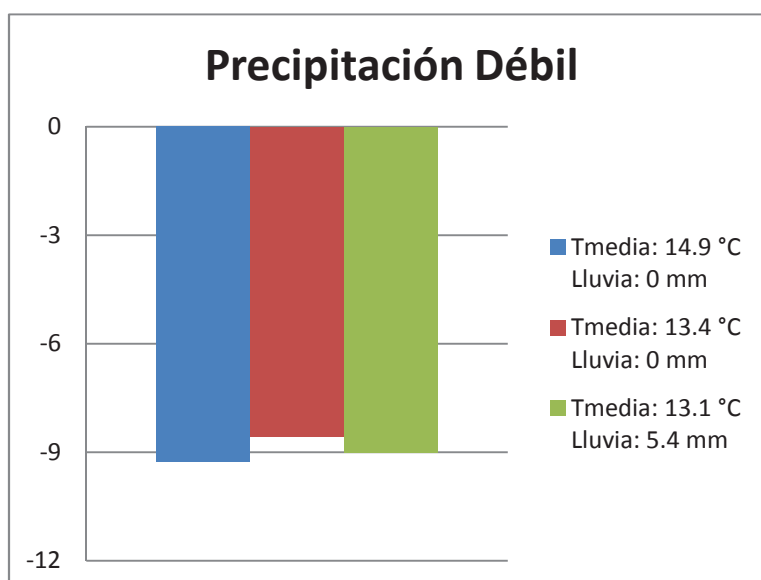


Figura 3. 31 Ec/lo sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2

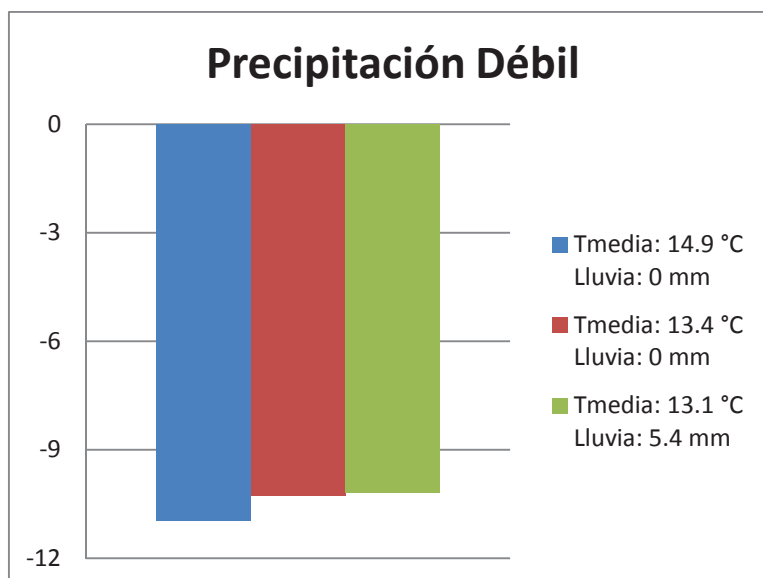


Figura 3. 32 Ec/lo sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2

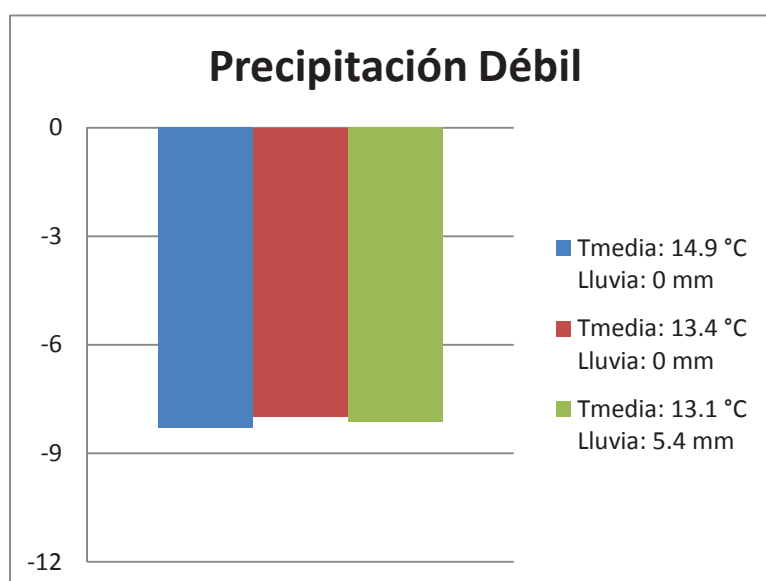


Figura 3. 33 Ec/lo sin precipitación y con precipitación débil en la tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P. en el escenario 2

	CONECEL		OTECCEL		CNT	
	GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA EVDO
MEDIA	-65,203	-8,947	-67,353	-10,467	-6,427	-8,133
VARIANZA	2,177	0,086	1,787	0,123	0,016	0,018
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,475	0,293	1,337	0,350	0,125	0,135

Tabla 3. 13 Media, varianza y desviación estándar de los datos promedio cuando hay *precipitación débil*

En la Tabla 3.14 se presenta un resumen de la calidad de la comunicación cuando hay presencia de precipitaciones.

PRECIPITACIÓN		CONECEL S.A.		OTECEL S.A.		CNT E.P.	
		GSM	WCDMA	GSM	WCDMA	CDMA	CDMA 1xEVDO
ESCENARIO 1	FUERTE	BUENO	REGULAR	REGULAR	MALO	BUENO	REGULAR
	MODERADA	REGULAR	REGULAR	REGULAR	MALO	BUENO	REGULAR
ESCENARIO 2	DÉBIL	REGULAR	REGULAR	REGULAR	MALO	REGULAR	REGULAR

EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO
-----------	-------	---------	------

Tabla 3. 14 Nivel de Precipitación vs Calidad de la Comunicación

Para el análisis del factor *clima*, incluso se presentan casos en donde la recepción de señal es mayor para situaciones donde hay precipitaciones que en donde no hay presencia de lluvia. Corroborando con la teoría, la lluvia no afecta significativamente a frecuencias menores de 10 GHz; en nuestro caso las mediciones tomadas están en el orden de los 850 MHz y 1900 MHz, es decir que la presencia de precipitaciones no deteriora la QoS del SMA. Sin embargo, los resultados finales siguen dentro del rango *REGULAR*.

3.2.3. TIPO DE TERMINALES

Para analizar el comportamiento al momento de recibir la señal de radio celular desde la BTS, para la tecnología GSM se han utilizados dos tipos de terminales móviles de marcas y características diferentes (LG CU500 y NOKIA 6100). El terminal LG CU500 tiene una sensibilidad de -105 dBm, mientras que la sensibilidad en el terminal NOKIA 6100 es de -102 dBm. En las figuras 3.34 hasta

3.43 se indica una muestra de las medidas obtenidas (n=30) y sus diferencias para los distintos escenarios.⁴⁸

ESCENARIO 1

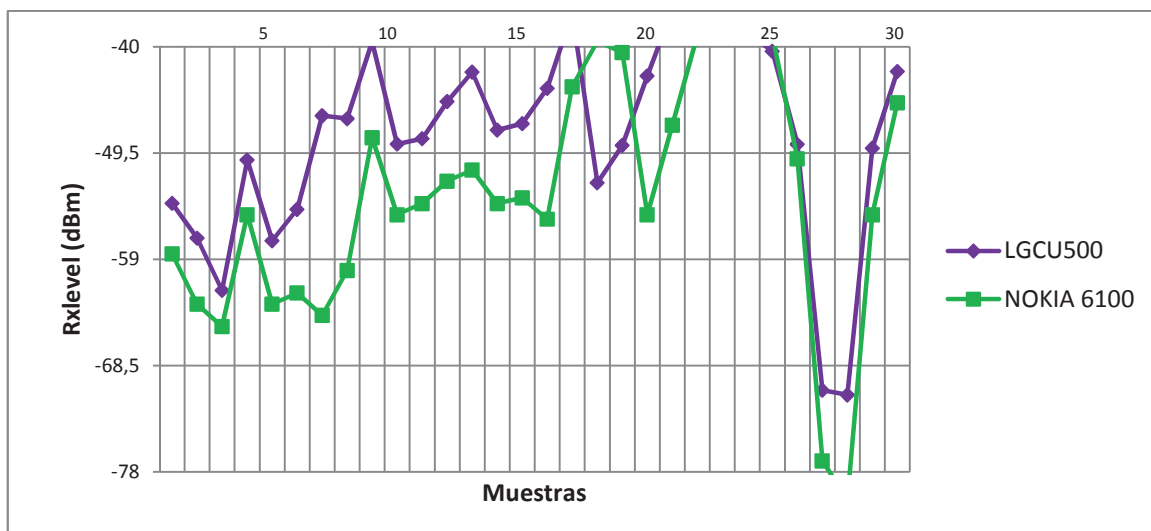


Figura 3. 34 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 1

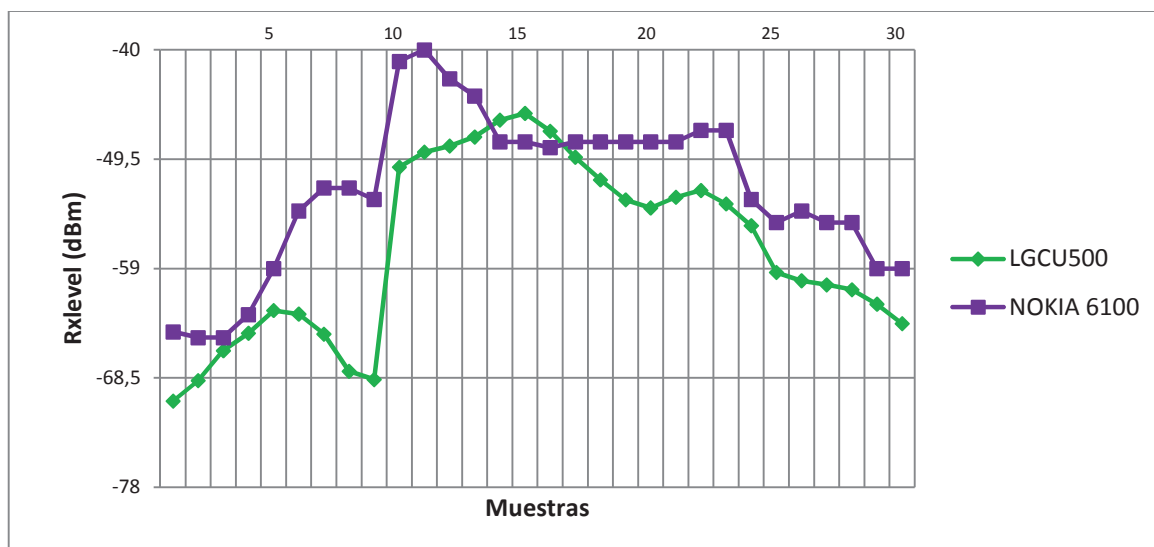


Figura 3. 35 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 1

⁴⁸ El número de muestras recolectadas por el terminal LGCU500 es mayor que lo recolecta el terminal NOKIA 6100

	CONECEL		OTECEL	
	LG	NOKIA	LG	NOKIA
MEDIA	-47,711	-53,220	-57,270	-52,117
VARIANZA	87,052	117,196	58,464	46,411
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	9,330	10,826	7,646	6,813

Tabla 3. 15 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 1

ESCENARIO 2

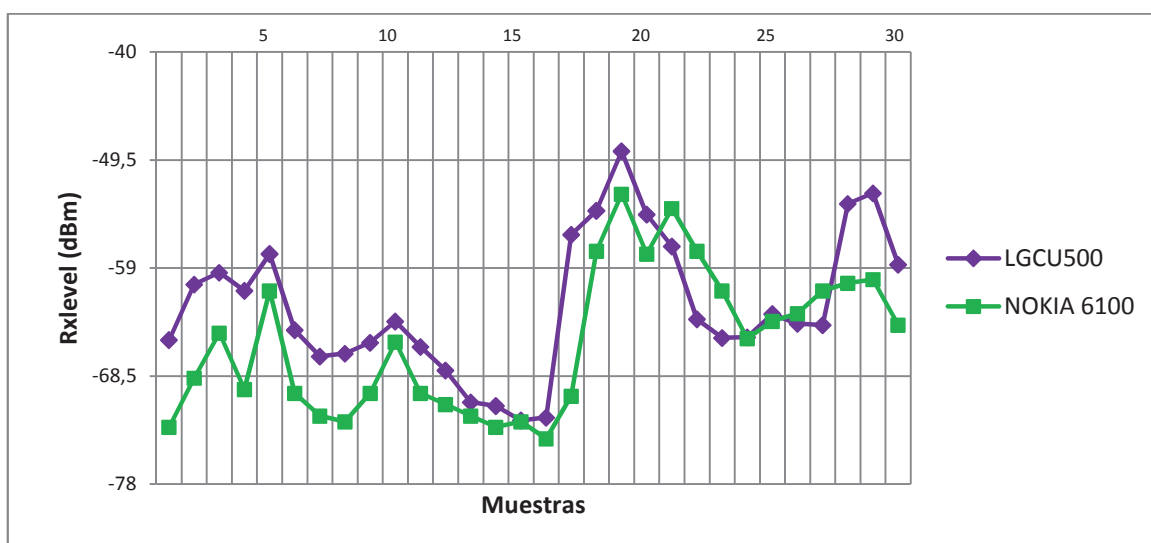


Figura 3. 36 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 2

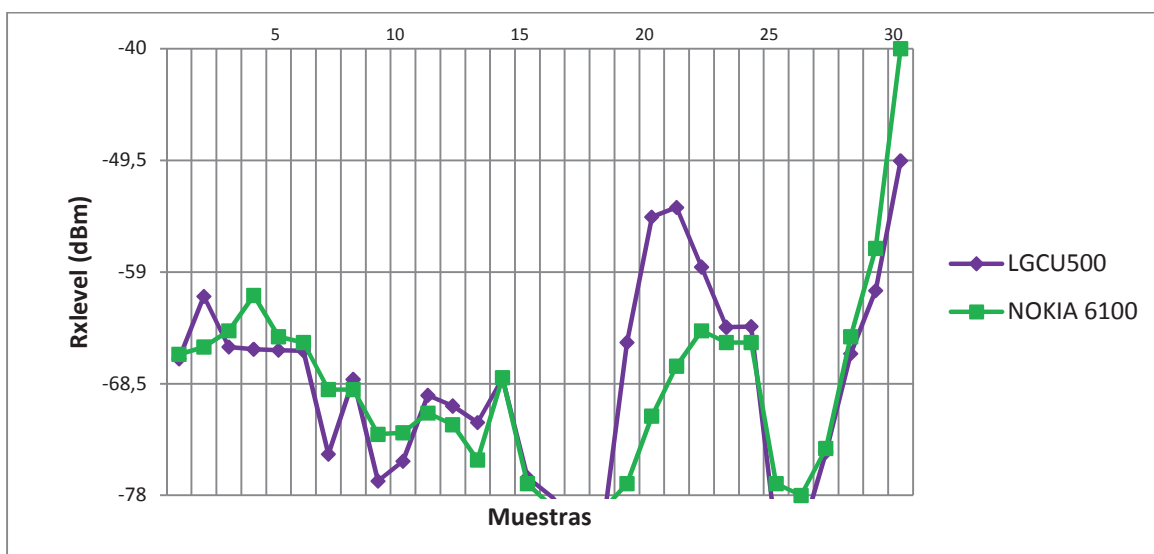


Figura 3. 37 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 2

	CONECEL		OTECEL	
	LG	NOKIA	LG	NOKIA
MEDIA	-62,348	-65,567	-68,429	-69,014
VARIANZA	36,401	37,784	70,466	64,076
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	6,033	6,147	8,394	8,005

Tabla 3. 16 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 2

ESCENARIO 3

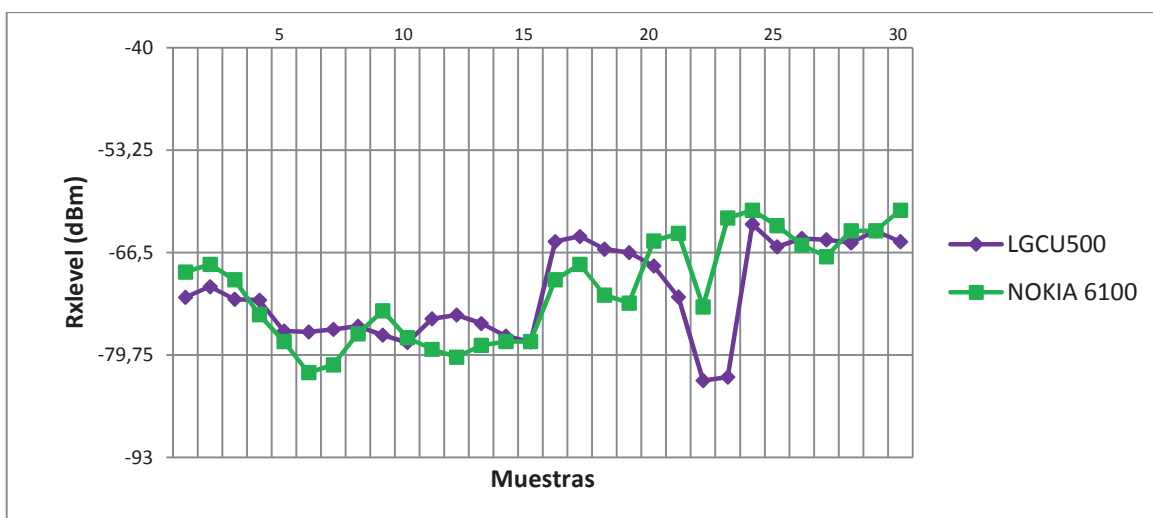


Figura 3. 38 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 3

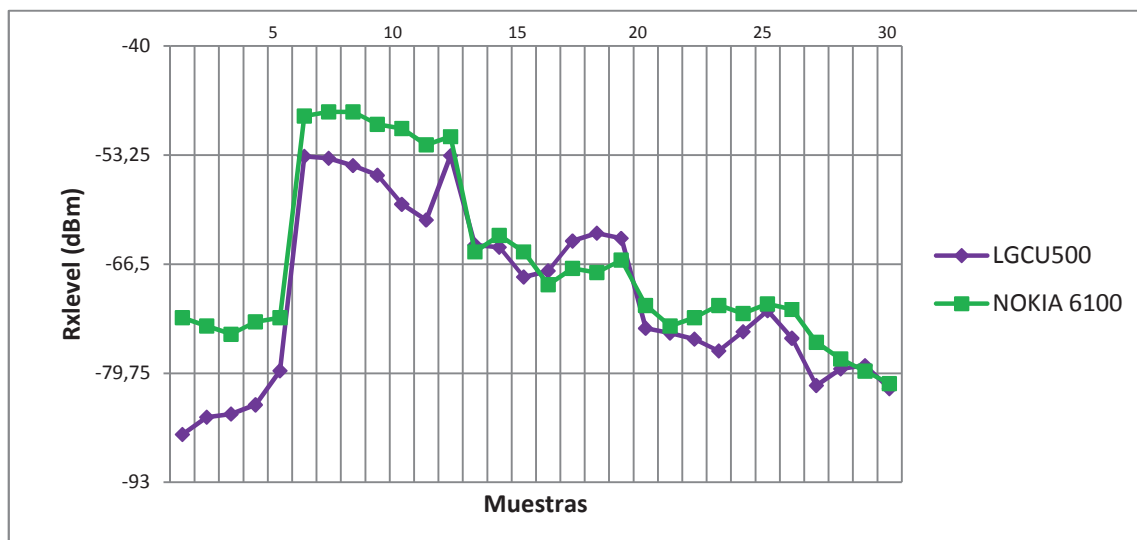


Figura 3. 39 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 3

	CONECEL		OTECCEL	
	LG	NOKIA	LG	NOKIA
MEDIA	-71,665	-71,228	-70,323	-66,611
VARIANZA	34,952	42,872	109,606	104,874
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	5,912	6,548	10,469	10,241

Tabla 3. 17 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 3

ESCENARIO 4

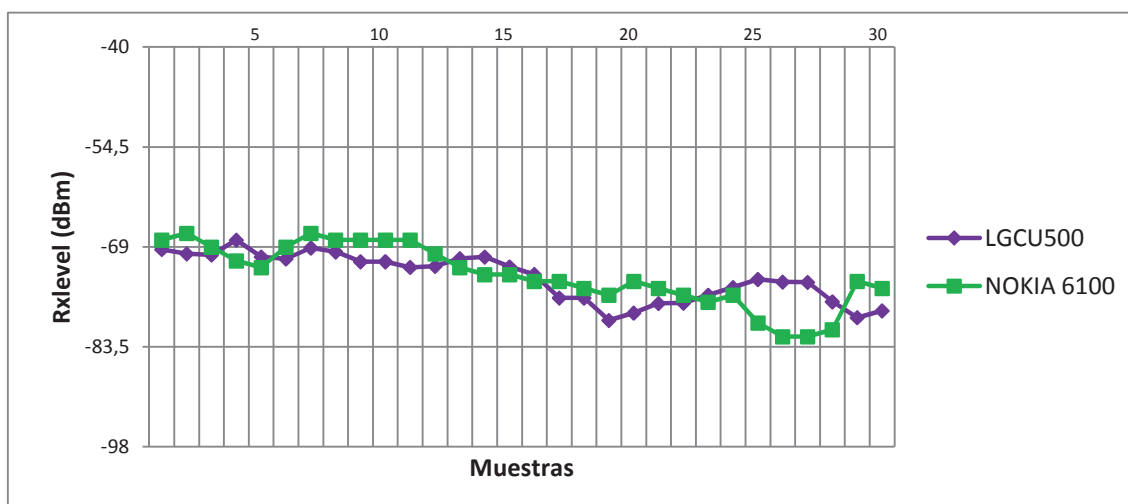


Figura 3. 40 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 4

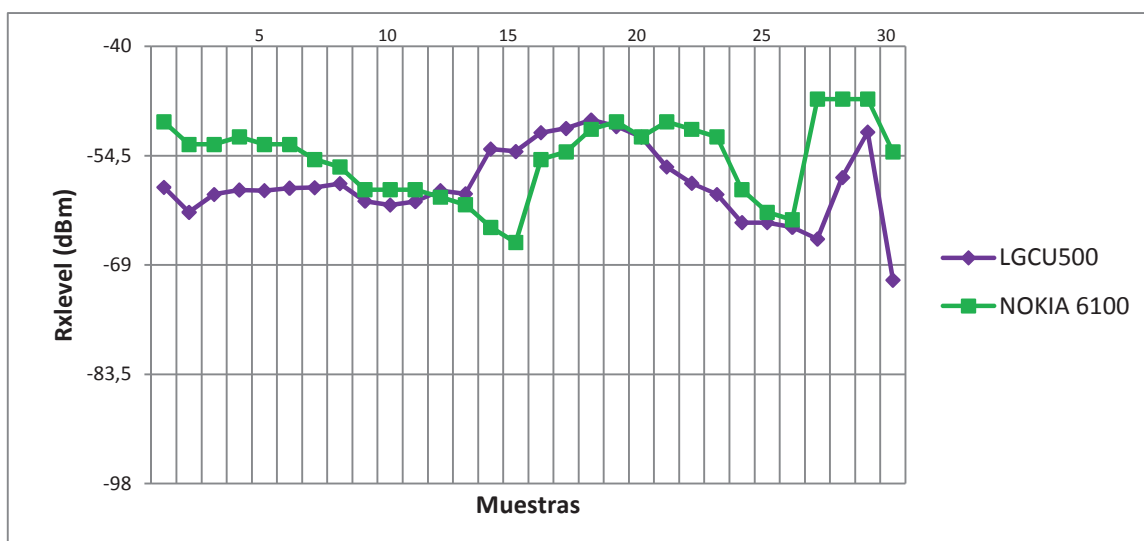


Figura 3. 41 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 4

	CONECEL		OTECEL	
	LG	NOKIA	LG	NOKIA
MEDIA	-73,400	-73,133	-58,244	-54,900
VARIANZA	11,368	19,249	23,500	26,157
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	3,372	4,387	4,848	5,114

Tabla 3. 18 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 4

ESCENARIO 5

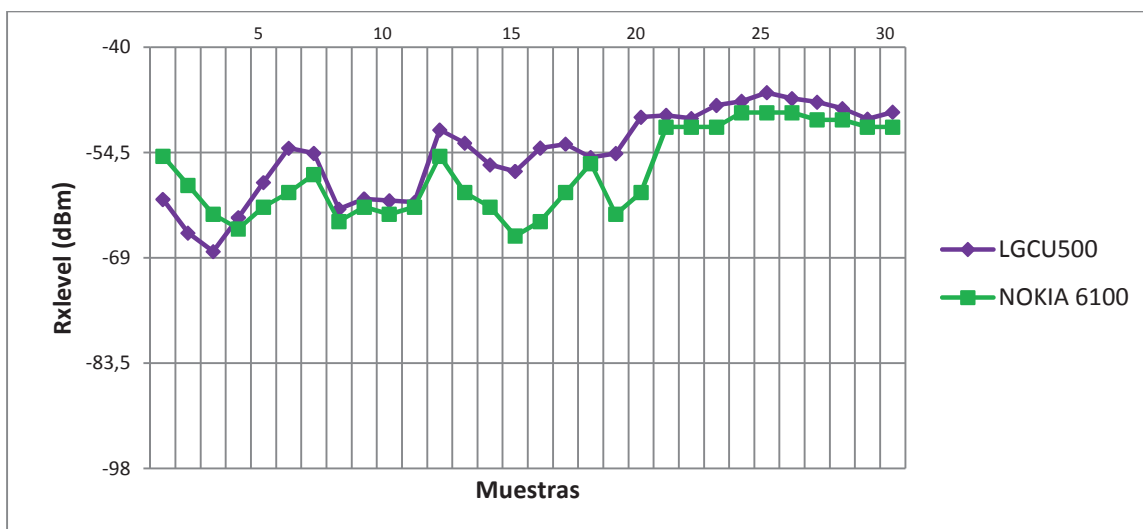


Figura 3. 42 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A. en el escenario 5

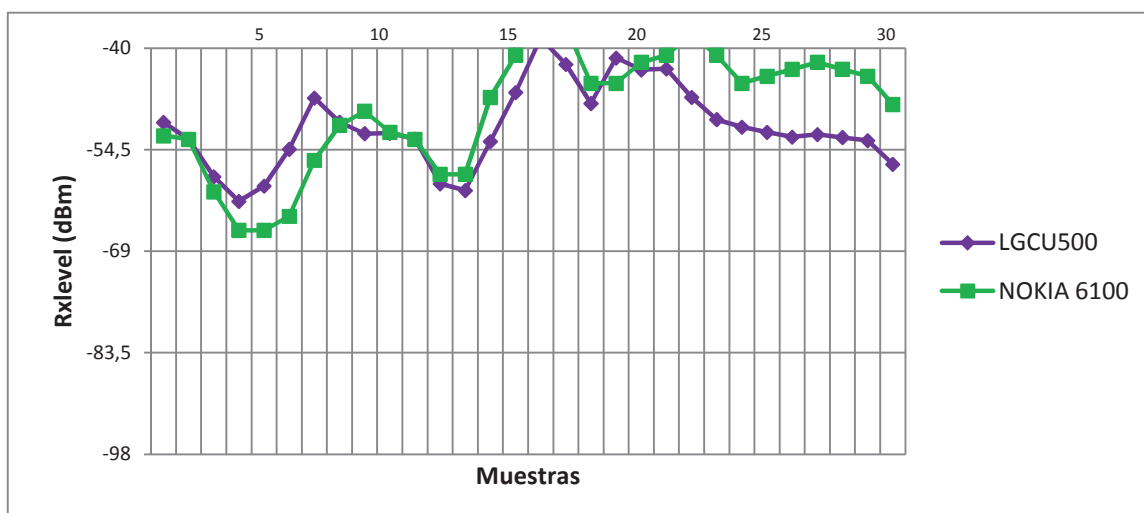


Figura 3. 43 Nivel de recepción de los terminales móviles (LG y NOKIA) en la tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A. en el escenario 5

	CONECEL		OTECCEL	
	LG	NOKIA	LG	NOKIA
MEDIA	-54,604	-57,350	-51,207	-48,700
VARIANZA	36,243	32,219	32,969	69,993
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	6,020	5,676	5,742	8,366

Tabla 3. 19 Media, varianza y desviación estándar del tipo de terminales para el escenario 5

La diferencia que existe en el nivel de recepción de señal de los equipos utilizados es apreciable en pocas de las muestras; presentando la mayor diferencia de 20,59 dBm para la operadora CONECEL en el escenario 3, en el resto de las muestras es mínima llegando incluso en alguno de los casos a ser 0. Esta diferencia que existe de la recepción de señal entre un terminal y otro se atribuye a la precisión y características distintas en la fabricación de cada equipo. De los resultados obtenidos no se puede deducir cuál es mejor en la recepción de señal ya que no hay una homogeneidad en los gráficos.

3.2.4. VELOCIDAD

Para evaluar la velocidad de movimiento del terminal se han elegido dos carreteras. El escenario 4 (Av. Simón Bolívar) que se caracteriza por ser una vía perimetral a la ciudad de Quito, a pesar de contar con cobertura de las tres operadoras que prestan su servicio en Ecuador, la calidad de señal recibida es baja debido a que las BTS no necesariamente apuntan al trayecto de esta ruta. El siguiente ambiente de prueba es el escenario 5: carretera Machachi-Aloag, ésta tiene un recorrido corto entre la ciudad de Machachi y la parroquia Aloag, por tener población circundante en casi todo su trayecto las BTS apuntan a dar servicio a todos sus habitantes y es por eso que presenta una mejor cobertura que el escenario anterior.

En las Figuras 3.44 a 3.49 se presenta el comportamiento de la recepción de la intensidad de señal en relación a la velocidad de movimiento del terminal en el escenario 4. Se observa en todas las gráficas que cuando un usuario se traslada

a una menor velocidad, la recepción de señal es mejor que si lo hiciese a una velocidad más alta.

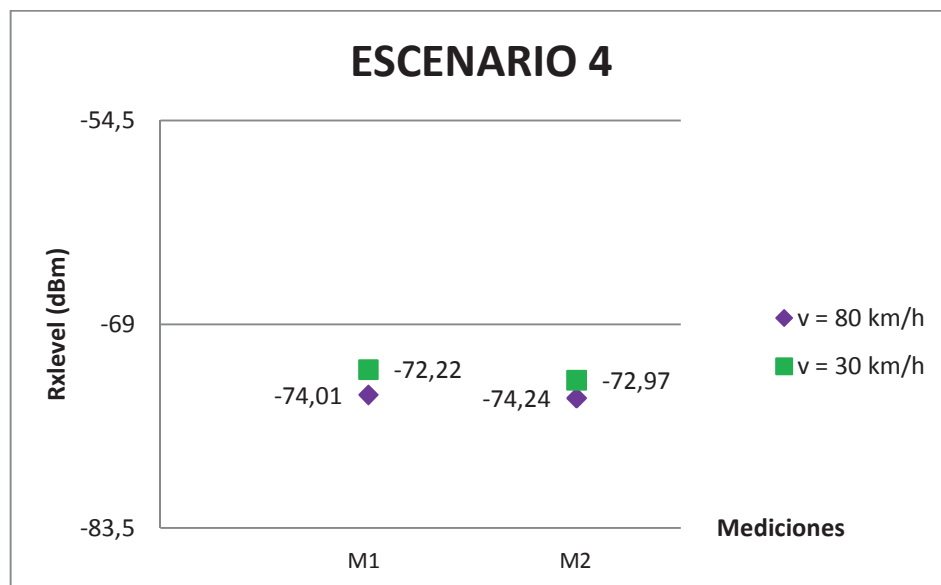


Figura 3. 44 Comparación de la velocidad en tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A.

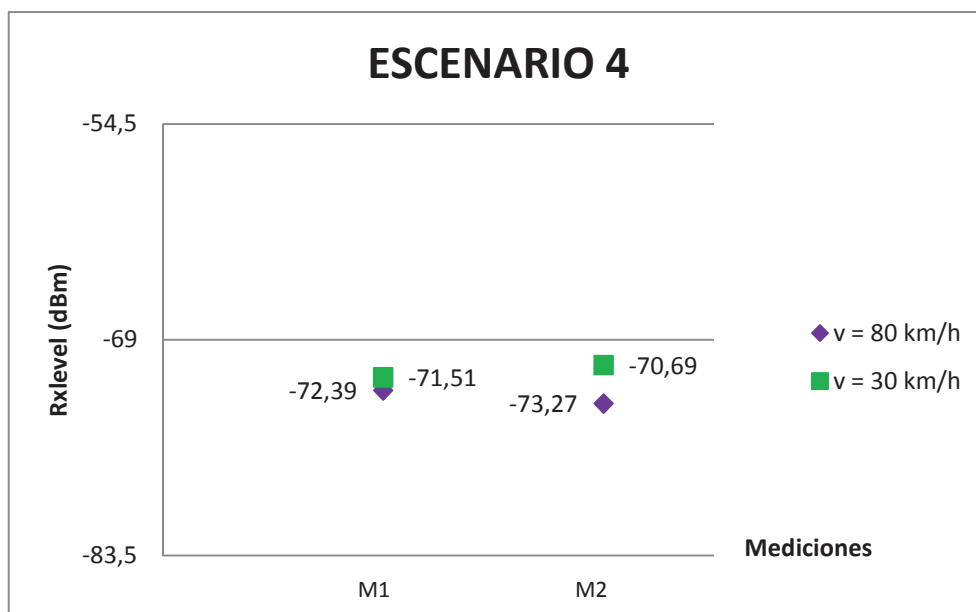


Figura 3. 45 Comparación de la velocidad en tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A.

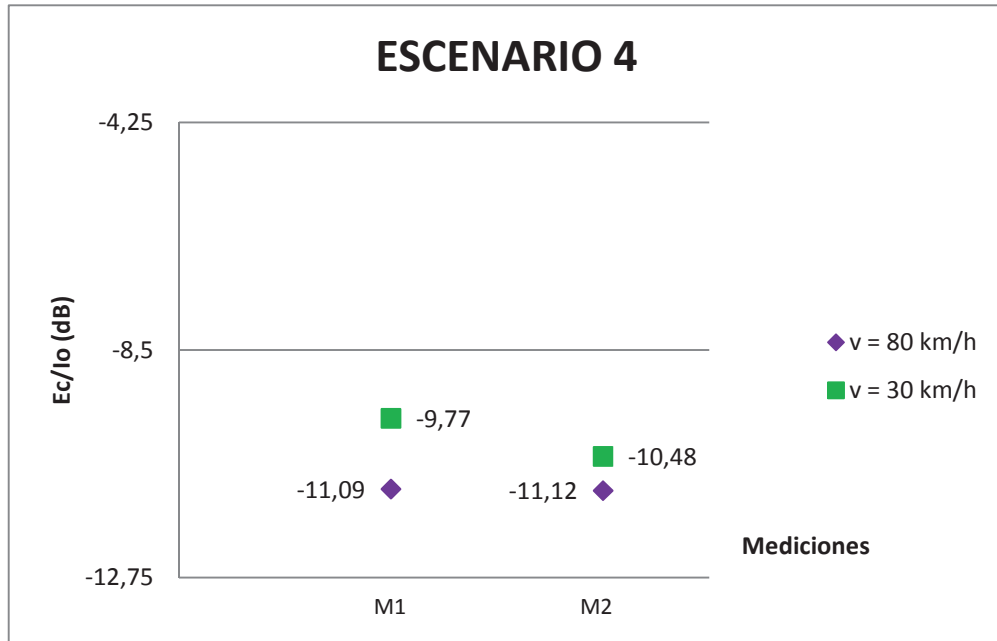


Figura 3. 46 Comparación de la velocidad en tecnología CDMA para la operadora CNT E.P.

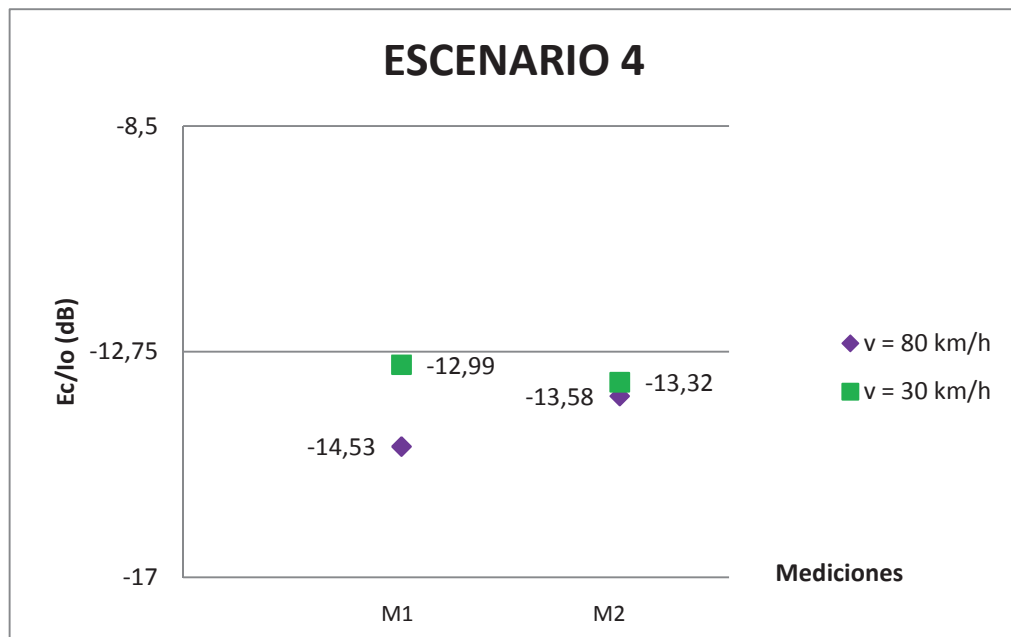


Figura 3. 47 Comparación de la velocidad en tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A.

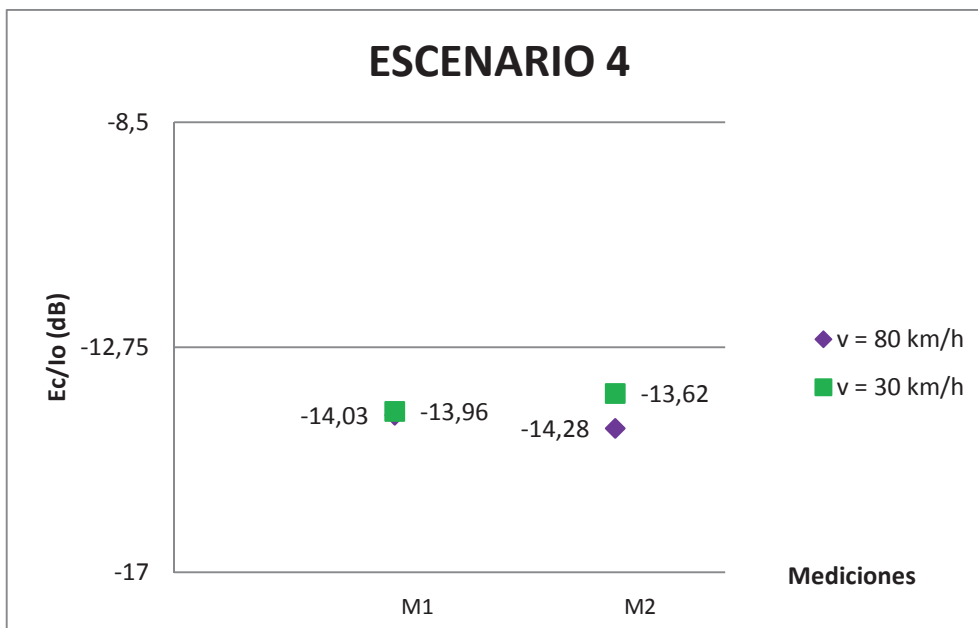


Figura 3. 48 Comparación de la velocidad en tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A.

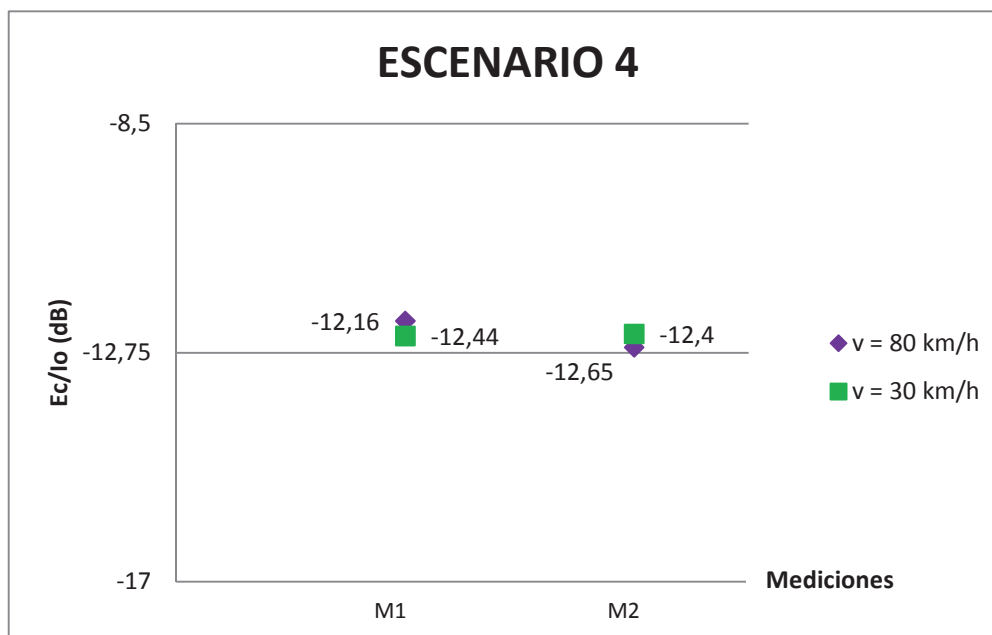


Figura 3. 49 Comparación de la velocidad en tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P.

Mientras tanto en las figuras 3.50 a 3.55 se representan los resultados en el escenario 5; al igual que en el análisis anterior, se relaciona la velocidad de movimiento del terminal y la recepción de la intensidad de señal. De aquí en

cambio se puede deducir que en lugares donde se obtiene una cobertura mayor es menor la diferencia de las recepciones de señal que se presentan entre las distintas velocidades, es muy poco relevante este parámetro (velocidad) cuando el porcentaje de cobertura es alto.

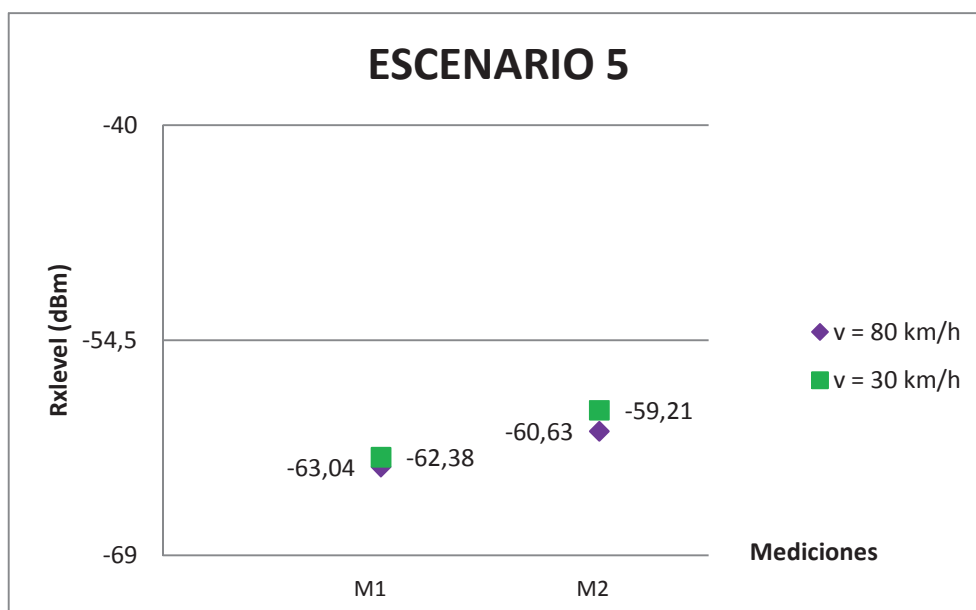


Figura 3. 50 Comparación de la velocidad en tecnología GSM para la operadora CONECEL S.A.

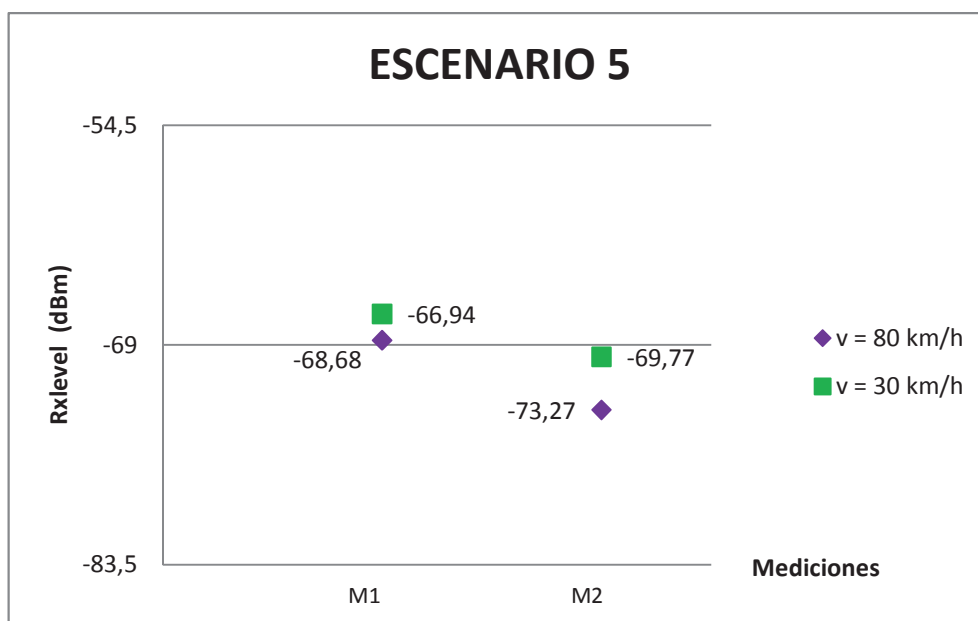


Figura 3. 51 Comparación de la velocidad en tecnología GSM para la operadora OTECEL S.A.

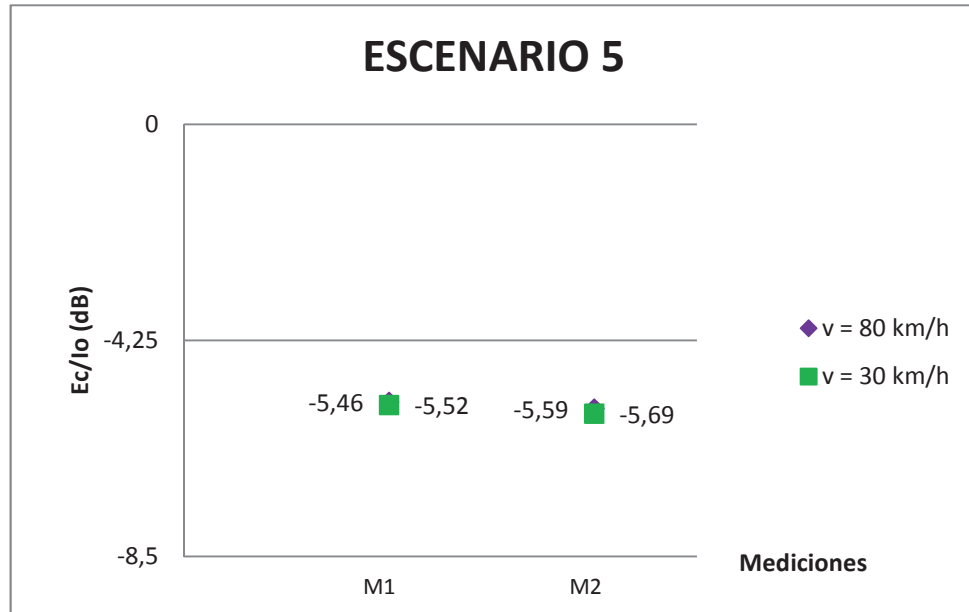


Figura 3. 52 Comparación de la velocidad en tecnología CDMA para la operadora CNT E.P.

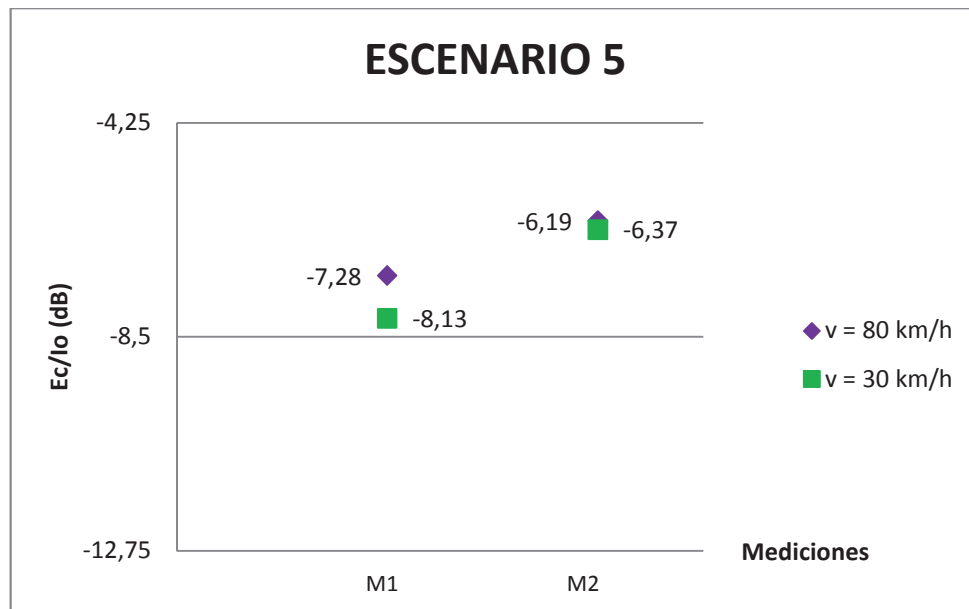


Figura 3. 53 Comparación de la velocidad en tecnología WCDMA para la operadora CONECEL S.A.

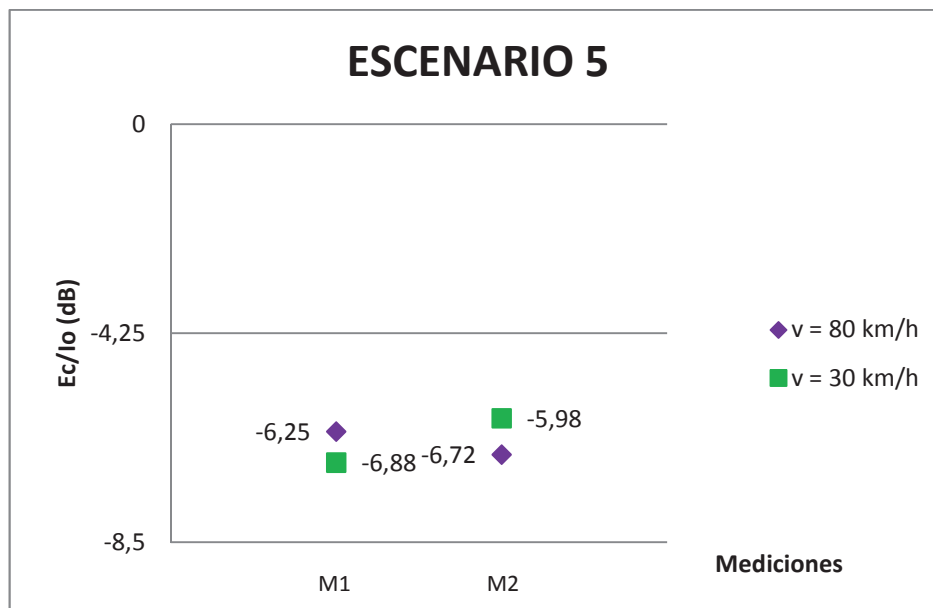


Figura 3. 54 Comparación de la velocidad en tecnología WCDMA para la operadora OTECEL S.A.

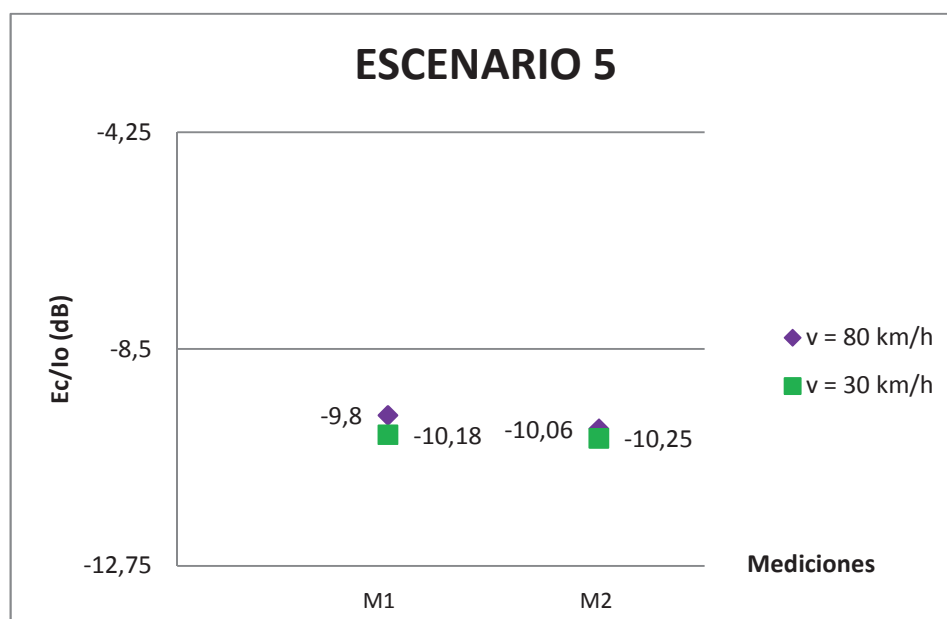


Figura 3. 55 Comparación de la velocidad en tecnología CDMA EVDO para la operadora CNT E.P.

Del análisis de los resultados respecto al factor *velocidad* se puede deducir que se tiene cierta tendencia en deteriorar la QoS mientras la velocidad de movimiento se aumenta, debido a que en el trayecto se presentan dinámicamente obstáculos deteriorando así la señal. Otro dato importante es que en las carreteras, que es donde se puede apreciar la variación de este factor, la mayoría de éstas son extensas, despobladas y no se brinda una buena cobertura; sin la

garantía de QoS y con una velocidad alta no se va a conseguir el acceso a un servicio celular satisfactorio por parte de usuario.

3.2.5. SENTIDO DE RECORRIDO

Otro factor a ser analizado en las carreteras es el sentido de recorrido. En las Figuras 3.56 a 3.58, las marcas de color aguamarina representan el punto inicial del trayecto del recorrido “ida” mientras que las marcas de color morado hacen lo propio con el recorrido “retorno”. Las marcas de posición roja, verde y tomate son las BTS de cada de una las operadoras con sus respectivos *cell ids*.

En la Figura 3.56, el terminal móvil capta casi en el mismo punto la señal de la misma BTS (ALOAGTOWN) pero no del mismo canal (*cell id*). En la figura 3.57, en cambio en el mismo punto el terminal se engancha a diferentes BTS, las mismas que están separadas 5.42 km entre sí; el punto de análisis tiene una distancia de 2.6 km de la BTS ALOAGCENTRO y 4.2 km de la BTS MACHACHI. En cambio en la figura 3.58 se puede ver que hay una distancia considerable entre los dos puntos donde inicialmente el terminal se enlaza a la misma BTS y al mismo canal.



Figura 3. 56 Recorrido ida y retorno en la tecnología UMTS de la operadora CONECEL S.A. en la carretera Machachi-Aloag

De los casos mencionados anteriormente se puede decir que durante un trayecto, el terminal móvil no se conecta a la misma BTS ni al mismo *cell id*, cuando se tiene una dirección como cuando se lo hace en su dirección opuesta; por tanto el nivel de recepción de señal no va a ser igual en un mismo punto.

Este factor nos indica que a un mismo punto pueden converger más de una señal y entre ellas deteriorar su nivel de potencia antes de llegar a su destino final, e incluso estas señales pueden llegar a anularse deteriorando la QoS del SMA. Solo el terminal móvil será capaz de escoger el canal más adecuado para iniciar la comunicación.

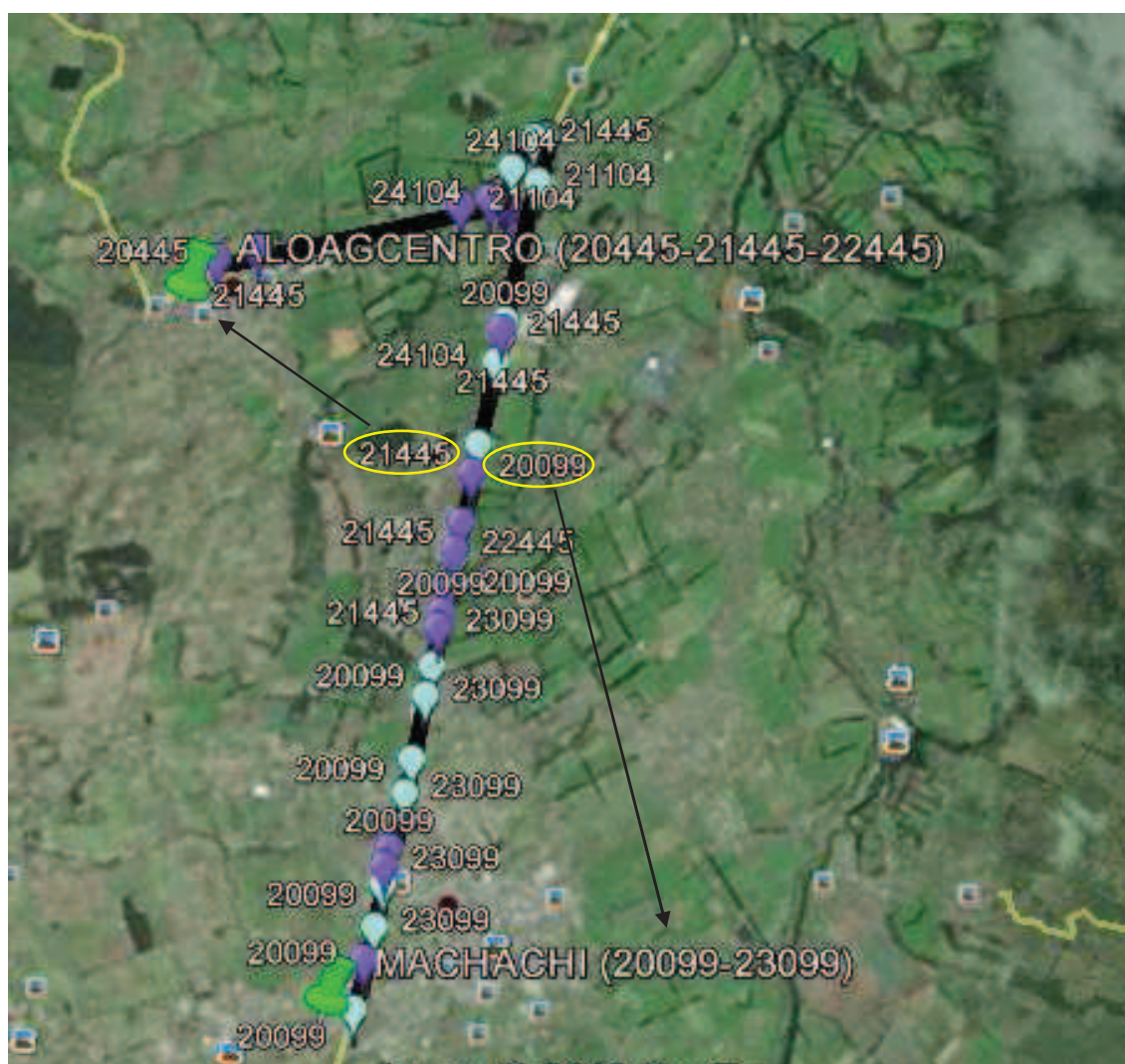


Figura 3. 57 Recorrido ida y retorno en la tecnología GSM de la operadora OTECEL S.A. en la carretera Machachi-Aloag.

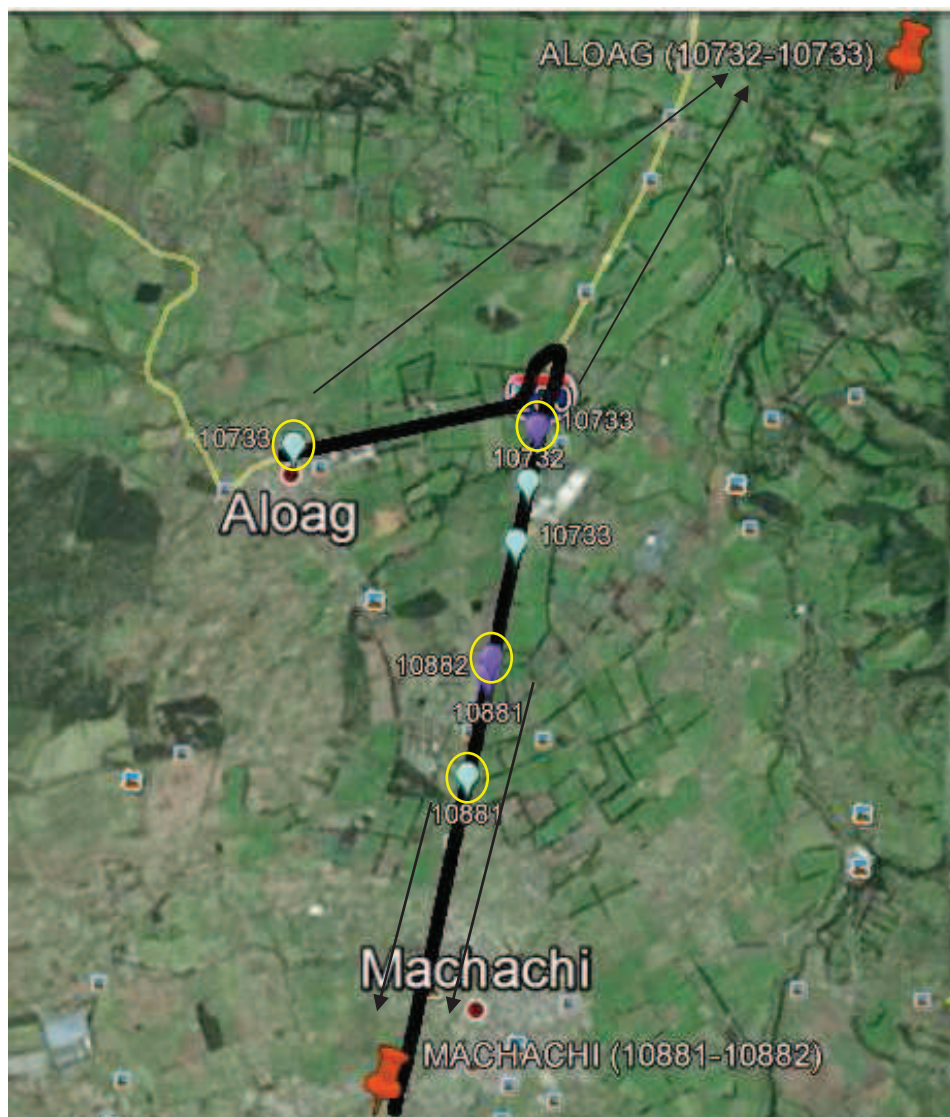


Figura 3. 58 Recorrido ida y retorno en la tecnología CDMA EVDO de la operadora CNT E.P. en la carretera Machachi-Aloag

3.3. PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA QoS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO [1] [2]

Sería perfecto si el número de estaciones móviles y sus ubicaciones fueran constantes de acuerdo al proceso de planificación de radio, pero desafortunadamente no hay información exacta acerca de las necesidades reales de la red de radio antes de que la misma entre en funcionamiento y algunos datos estadísticos se reúnan.

Los datos estadísticos indican la situación real en un área determinada y si la red de radio tiene un exceso/deficiencia de capacidad o congestión. Hay que tener en cuenta que tanto la cobertura como la capacidad de una estación base en un área específica es variable en el tiempo, debido a la demanda poblacional y el crecimiento arquitectónico, llegando en el peor de los casos a un decremento notable de la QoS.

En el presente proyecto se han recogido medidas estadísticas, en donde se puede valorar en diferentes ambientes, la variación de la recepción del nivel de potencia de señal por parte del terminal móvil así como el nivel de interferencia presente en cada comunicación. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango recomendado por los Organismos que regulan y controlan las Telecomunicaciones en el Ecuador. Es decir el terminal móvil puede intentar acceder a un servicio con estos valores, sin embargo esto no garantiza que la comunicación se realice exitosamente. Estudios como el presente son una entrada importante para un futuro dimensionamiento u optimización, y por tanto un punto de partida para la evolución de la red.

Una consideración primordial para tener una red eficiente es partir de una correcta metodología de dimensionamiento de los recursos de red y así evitar la degradación del servicio debido a los “cuellos de botella”. En sus inicios, las redes de telefonía que existen en Ecuador fueron dimensionadas para servicios de voz y transmisión de datos a pequeña escala. Con la caracterización de tráfico de los servicios de datos que hoy se manejan, se hace imposible continuar utilizando las mismas reglas de dimensionamiento.

Por lo tanto, en un redimensionamiento de la red se debe considerar la multiplexación de servicios y usuarios, así como los diferentes requisitos de calidad. Las directrices generales para un correcto dimensionamiento o redimensionamiento se pueden resumir en las siguientes etapas:

Paso 1: Dimensionamiento celular de la capacidad de señalización

La evaluación de los recursos necesarios para los canales de señalización en la interfaz de radio incluye:

- Valoración del número de bloques de radio del Canal de Control Común (CCCH), comprobando la posibilidad de utilizar la configuración combinada o no combinada.
- Valoración del número requerido de intervalos de tiempo de radio para el canal *Slow Dedicated Common Control Channel* (SDCCH).

El objetivo del dimensionamiento de canales de señalización es evitar el bloqueo de la señalización en el canal. Normalmente, un buen criterio de dimensionamiento es tener un bloqueo del 0,2%, 10 veces más bajo que el objetivo típico para el bloqueo de los canales de voz, ya que el bloqueo de los canales de señalización es más crítico en comparación con el bloqueo en los canales de voz.

Paso 2: Dimensionamiento celular del número de *transceivers* y configuración específica de radio

Una vez que los canales de radio de señalización están configurados, el siguiente paso es estimar el número de *transceivers* por celda. Esto depende principalmente del tráfico ofrecido por celda (voz, datos) y los requerimientos del grado de servicio (probabilidad del bloqueo de voz, grado de servicio del *streaming*, etc.)

Normalmente, el dimensionamiento de *transceivers* se realiza en dos pasos:

1. Dimensionamiento basado sólo en la carga de la red, donde el número de *transceivers* pueda soportar la carga de conmutación de circuitos (con cierta probabilidad de bloqueo) y procesar la carga de conmutación de paquetes ofrecida.
2. Dimensionamiento basado en los requisitos del servicio, donde la estimación del número de *transceivers* se defina mediante la aplicación de los diferentes criterios de calidad (rendimiento para el usuario, *streaming*, nivel de servicio, etc.)

Paso 3: Dimensionamiento A-bis/lu-b

Una vez que las características y capacidades de las celdas están adecuadamente dimensionadas, el siguiente paso es el determinar la configuración y capacidad de la interfaz A-bis/lu-b.

- Para la señalización de *transceivers*, se puede realizar la estimación de la carga total de señalización por *transceiver*. Con esta valoración, se puede realizar un dimensionamiento adecuado de la capacidad de los enlaces de señalización.
- En caso de utilizar un *pool* de interfaces A-bis/lu-b, se puede realizar el dimensionamiento del tamaño de la agrupación para una máxima probabilidad de congestión.

Con el dimensionamiento de la capacidad de señalización de *transceivers* y el tamaño de la agrupación A-bis/lu-b, se puede hacer la valoración correcta del número y tamaño de enlaces a utilizar en la comunicación entre la BTS y BSC o NODO B y RNC.

Paso 4: PCU y BSC o RNC

Mediante la agregación del tráfico y contribución de señalización de las diferentes celdas conectadas al BSC o RNC, el siguiente paso es el dimensionamiento adecuado de la PCU (*packet unit control*) por BSC/RNC y de las capacidades de BSC o RNC. En un análisis extremo a extremo, la BSC/RNC y específicamente la PCU puede introducir cuestiones específicas sobre el rendimiento del servicio.

La BSC/RNC puede generar cierta degradación del servicio de voz, como el bloqueo de llamadas si no se hace un dimensionamiento adecuado. Algunas cuestiones a tener en cuenta en el dimensionamiento de la BSC/RNC es el número máximo de Erlangs apoyados en la hora pico, y los intentos máximos de llamadas simultáneas. En cambio, las limitaciones del PCU pueden introducir una mayor degradación de rendimiento e incluso bloqueo de sesiones de conmutación de paquetes.

Paso 5: Red de Núcleo

Finalmente, el CN tiene que ser correctamente dimensionado para evitar la degradación del servicio. En el lado de la conmutación de circuitos, el dimensionamiento de la MSC necesita estar estimada en términos de Erlangs soportados y el número IMSI de los abonados conectados al mismo, de manera que se evita la falta de disponibilidad de servicio.

Por el lado de la conmutación de paquetes, el dimensionamiento del SGSN y GGSN debe estar en términos de número máximo de contextos PDP (*packet data protocol*) soportados, se deberá calcular también la capacidad de procesamiento de abonados conectados y así evitar la degradación del servicio de conmutación de paquetes.

Otras Consideraciones para la Optimización

Otro de los puntos esenciales para mejorar la QoS de una red en operación es la optimización. Este proceso en la red no es una tarea fácil, algunas recomendaciones generales para lograr un rendimiento óptimo de la red se proponen a continuación:

- ✓ **Eliminar los “cuellos de botella” con un adecuado dimensionamiento *end to end* de la red**

Éste es uno de los puntos clave para lograr un rendimiento óptimo. Ambos planos, de usuario y control deben ser de dimensiones adecuadas, desde la interfaz de la red hasta la central para evitar la acumulación de información en ciertos segmentos de la red.

- ✓ **Topología de la red de transporte**

Una elección adecuada de los protocolos de transporte que actúen en la red (evitando caminos muy largos) reducirá al mínimo la latencia de la red y maximizará la percepción final del usuario.

✓ **Topología de la red celular**

En particular, la optimización del tamaño del área de enrutamiento (RA) es muy importante debido a varios factores: primero, un usuario móvil sufre de tiempos de parada largos que desplazan a una nueva RA; en segundo lugar, cuanto más grande es el RA, mayor es la señalización debido a mensajes de *paging* en esa zona (proporcional al número de celdas por RA), pero en cambio, si el RA es más pequeño, mayor es el número de cambios de RA.

✓ **Manejo del canal de radio**

La mayoría de las tecnologías de radio requieren procedimientos específicos que se encarguen de establecer un canal de radio cada vez que se necesite enviar datos a través de la interfaz de radio, y liberar el mismo cuando no haya más datos que transmitir. El retardo asociado con estos procedimientos es especialmente perjudicial cuando el tráfico es a ráfagas, ya que la frecuencia de dichos procedimientos es mayor. Por lo tanto, la optimización de la gestión de canales de radio también optimizará el rendimiento.

✓ **Manejo de la calidad de servicio**

El soporte de QoS es muy importante si se desea dar prioridad a los flujos de datos particulares o garantizar ciertos requisitos de retardo para servicios particulares a costa de la degradación de la calidad de otros servicios no críticos (en términos de retardo o rendimiento).

✓ **Ajustes de los parámetros**

Los parámetros de red pueden tener un impacto importante en ambos indicadores de usuario, retrasos y rendimiento. Sin embargo, no es siempre posible encontrar una configuración óptima que proporcione el mejor rendimiento para cada servicio en cualquier ubicación dentro de la red. Por ejemplo, la maximización de la tasa de bits inicial asignada a una conexión podría desperdiciar recursos y aumentar el retardo si la calidad media en la celda es pobre, pero se podría mejorar el rendimiento de las celdas con una buena calidad.

✓ Manejo de la movilidad

Este procedimiento es responsable de proporcionar un servicio continuo mientras se está en movimiento. Algunas tecnologías como EGPRS están especialmente influenciadas por la movilidad, en el sentido de que los tiempos de interrupción grandes degradan el rendimiento del servicio durante reselecciones de celda (de varios segundos). Los largos tiempos de interrupción son probablemente el evento más perjudicial para el rendimiento de TCP en ambientes de movimiento y por lo tanto para el rendimiento de aplicaciones superiores. Otras tecnologías ya tienen mecanismos que no sufren de tiempos de parada durante los cambios normales de las celdas como lo hace WCDMA incluyendo funcionalidades de transferencia suave.

La configuración de la red de radio también se ajusta para alcanzar los objetivos de planificación del sistema de radio. Este ajuste podría contener la solución definitiva del problema, tomando acciones como:

- Cambiar la configuración de la estación base
- Inclinar las antenas, girar la orientación de la antena, cambiar las antenas
- Cambiar los parámetros de radio
- Crear mayores o menores mástiles de antena
- Mover ubicaciones de antenas
- Evaluación de las celdas vecinas

Estas acciones se toman con el fin de cambiar la cobertura de la estación base o áreas de dominio para equilibrar el tráfico, mejorar la calidad o los traspasos y tener comunicación con una tasa de éxito total. En el peor de los casos las únicas soluciones posibles para mejorar la calidad de la red de radio serían el traslado o construcción de estaciones base.

Hay que tener en cuenta que la solución óptima para la cobertura no es necesariamente la mejor solución para la capacidad y la interferencia, y viceversa; la solución óptima es algo donde las soluciones de la cobertura, la capacidad y la interferencia se combinan. La planificación de radio celular es siempre una tarea

de optimización donde la cobertura y la capacidad deben ser maximizadas y la interferencia tiene que ser minimizada.

La altura de la antena tiene un efecto significativo en las predicciones de cobertura y es también un parámetro importante cuando se está optimizando la capacidad e interferencia. Dicha altura define el área de cobertura de la estación base (mientras mayor es la posición de la antena de la estación base, más grande es el área de cobertura) y también define la capacidad (mientras más baja sea la posición de la antena más a menudo las frecuencias pueden ser reutilizadas); es así que al optimizar la altura de la antena alcanzaríamos tanto la cobertura y capacidad requerida.

Finalmente, con el propósito de garantizar que los requisitos de QoS se cumplan, todos los elementos de red y las interfaces deberán estar dimensionados y configurados correctamente. Diferentes servicios de datos exigirán diferentes requisitos de QoS, la cual deberá contar con mecanismos para cumplir dichos requisitos. De la misma manera, los retardos en diferentes elementos de red e interfaces son acumulativos, lo que significa que el retardo del usuario final será la suma de todos ellos. Por lo tanto, cada retardo individual deberá estar por debajo de un cierto límite con el fin de cumplir con el requerimiento de retardo extremo a extremo.

Propuestas Específicas

Una vez visto los resultados se puede deducir que la incidencia de los factores no es notable para la degradación de la QoS brindada por las operadoras móviles. A pesar de que los niveles de señal caigan dentro de los rangos MALO, BUENO y en su mayoría REGULAR, éstos no cambian drásticamente entre uno y otro sub rango de análisis. Pero hay que recalcar que un determinado terminal móvil si puede tener mejor recepción de señal que otro, no obstante sólo el usuario sabrá escoger en base a su experiencia el terminal móvil que se adapte a sus necesidades de uso.

Debido a las variaciones existentes y los subrangos donde se encuentra los datos del parámetro de calidad "cobertura", se propone que éstas se realicen

en forma continua, de tal manera que las muestras obtenidas reflejen un comportamiento en el tiempo que se adapte de mejor manera a la realidad percibida por el usuario final.

A más del control técnico que realiza la SUPERTEL se plantea a esta entidad efectuar encuestas periódicas a los clientes, de esta manera recoger sus inquietudes y tener una visión real si los usuarios están satisfechos o no con la QoS brindado por parte de los operadoras celulares en el Ecuador. Esto servirá para comparar si las mediciones y su evaluación coinciden o no con la opinión que tiene los clientes de la accesibilidad al SMA en el país.

Establecidos dos puntos de vista (organismo de control y usuario) se mejorará el control de la QoS a las operadoras móviles y se creará un entorno competitivo entre ellas, todo con el fin de ofrecer un servicio de calidad que satisfaga las expectativas de los usuarios, disminuyendo así la brecha de desinformación entre usuarios, ente regulador y operadoras.

Otra de las propuestas es pedir una participación más activa por parte de los Prestadores de Servicio, hacer que estén conscientes y enfocados a ofrecer un servicio de telefonía con calidad, y como consecuencia mas no como objetivo, se cumpla con los requisitos del Ente de Regulación de las Telecomunicaciones en nuestro país.

Se sugiere además que se definan políticas para la gestión de QoS por parte de las Operadoras, de tal forma que si se dan ciertas condiciones que afectan a la operación de la red se tenga claro y a detalle las acciones correctivas a realizar de manera inmediata.

Con un control detallado y continuo se podrá identificar problemas específicos de cobertura en cualquier zona de Ecuador, ya identificadas las zonas con mayores fallas de cobertura se propondría a la operadora mejoras en su infraestructura, como por ejemplo: la revisión del azimut de la antena o en el más crítico de los casos la instalación de una nueva BTS. Todo esto sin que repercuta en un aumento de los precios finales para el usuario; pero si que puedan apreciar y constatar por si mismo el incremento de la calidad móvil celular.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Las imperfecciones propias del canal de radio móvil generan diversos fenómenos que deterioran la calidad de la señal que llega al receptor limitando la tasa de transmisión efectiva que pudiera obtenerse.
- La señal en el receptor puede tener cambios muy suaves, suaves y muy rápidos en comparación con la señal original; los cambios muy suaves se producen cuando hay una variación en la distancia entre el emisor y el receptor. Los cambios suaves son resultado a causa de los obstáculos presentes en el canal de comunicación (*shadowing*), mientras que los cambios muy rápidos son producto de los multirayectos.
- Se ha demostrado que el monitoreo del parámetro "cobertura" (en modo *idle*) es muy variante dependiendo de las herramientas utilizadas (equipo de medición, terminales, software de procesamiento), tipo de medición (alta o baja velocidad, ruta tomada, sentido de monitoreo), tiempo de medición (mañana, tarde, noche), y clima, con pocos patrones de variación detectados.
- Dentro de los sub rangos establecidos para el análisis, los resultados obtenidos para las tres Operadoras tienen un promedio **REGULAR** para cada una de sus tecnologías.

- El horario (mañana-tarde) en que se han tomado las mediciones no indica una variación notable; este cambio más bien estaría sentenciado a la ubicación del terminal, su línea de recepción desde/hacia la BTS y las características propias de un canal de comunicación móvil.
- Los equipos terminales utilizados, a pesar de que son destinados para estas aplicaciones (*drive test*), presentan variaciones en una misma zona de medición, esto debido a los detalles y características de su fabricación.
- Al momento de ajustar la potencia para recibir una señal adecuada desde la BTS o NODO B, cada terminal móvil emitirá diferentes cantidades de energía y distintas sensibilidades de recepción.
- Se comprobó, como se indica en la teoría, que el factor clima no afecta considerablemente a la recepción de señal del terminal móvil. A pesar de que hay una ligera tendencia de que la recepción de señal sea menor cuando hay presencia de precipitación, el clima no es un factor del que se puede mencionar su afección grave a la QoS de SMA.
- Se verificó que la recepción de señal y el nivel de interferencia tiene una ligera tendencia con la velocidad de movimiento del receptor (efecto Doppler), es decir que a menor velocidad de movimiento, la recepción de señal o nivel de interferencia es mejor, que cuando lo hace a una velocidad mayor en zonas menos cubiertas.
- Un terminal móvil podrá moverse a la velocidad de un vehículo en movimiento o incluso de un tren rápido, la tasa de las fluctuaciones de los canales puede ser bastante alta y la energía de control tiene que reaccionar muy rápidamente con el fin de compensar aquello.
- El factor con mayor influencia en la variación de las mediciones de recepción de señal y nivel de interferencia es el sentido de recorrido, el terminal móvil se conecta a la BTS o NODO B que mejor señal le ofrezca

mas no a la que más cerca esté. El hecho de no conectarse al mismo canal y misma BTS o NODO B hace que el nivel de recepción e interferencia varíe. Esta recepción de señal debe ser transparente al usuario sin importar la dirección de su movimiento.

- Con una medición confiable se puede determinar en forma precisa los “huecos” de cobertura, que entren en el proceso de optimización de QoS (escalamiento a operadoras y unidades respectivas, proyectos de ampliación y adquisición, certificados ambientales u operacionales, socialización, instalación) con lo cual mejore la cobertura analizada.
- Resulta indispensable que el nivel de señal sea óptimo a fin de asegurar igualdad en las condiciones de disponibilidad y acceso a la red celular con una adecuada calidad de transmisión en forma ininterrumpida.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realicen mediciones en forma continua. De cualquier forma, las mediciones continuas en el tiempo deben ser consideradas mayormente valederas por sobre las mediciones periódicas, con cualquier herramienta o método con que se realicen estas últimas.
- Se recomienda que los valores obtenidos en este tipo de mediciones de preferencia sean proporcionados por los Prestadores de Servicio a los Organismos encargados de la Regulación, con el objetivo de que estos niveles mínimos de calidad se estén logrando.
- En la posible redimensión u optimización de la red telefónica se recomienda tener en cuenta el tráfico previsto por celda durante un tiempo determinado en el futuro, debido a que la evolución de las redes avanza a pasos agigantados y con esto se permita al usuario estar a la par de la tecnología que se maneja en cierto momento.

- La SUPERTEL como ente de regulación y control no puede exigir al usuario el elegir cierto terminal móvil para su uso si es que se establece que tal o cuál terminal es mejor o peor al momento de recibir la señal celular. Sin embargo, se recomienda que esta entidad debe hacer un análisis exhaustivo de los terminales con los cuáles hacen el control de la cobertura y servicios brindados por las operadoras para que se apeguen mejor a la realidad de un usuario común.
- Se recomienda realizar un estudio similar para tecnologías celulares LTE (tecnologías que próximamente se desplegarán en el Ecuador) incluyendo la medición de la calidad de los servicios ofrecidos (voz, sms, datos) y definir si esta QoS se deteriora o no con la influencia de alguno de estos factores.
- Se recomienda desarrollar un estudio parecido en escenarios más extensos o en lugares donde se note más la presencia de estos factores como: concentración de gente vs. día normal, precipitaciones en clima húmedo vs precipitaciones en clima seco, mayor variedad de terminales móviles, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

CAPÍTULO 1

- [1] «Qué son las celdas o células en la telefonía celular?,» Pinsim, [En línea]. Available: <http://pinsim.com/conceptos/que-son-las-celdas-o-celulas-en-la-telefonía-celular.html>. [Último acceso: Abril 2012].
- [2] S. Sinche, «Principios Básicos de la Comunicación Móvil,» Quito, 2009.
- [3] P. López, «Comparativa de Tecnologías emergentes de acceso a redes móviles y fijas,» Universidad de Chile, Santiago de Chile, Julio 2007.
- [4] «Tipos de celdas en la telefonía celular,» Pinsim, [En línea]. Available: <http://pinsim.com/conceptos/tipos-de-celdas-en-la-telefonía-celular.html>. [Último acceso: Junio 2012].
- [5] N. O. Alonso, Redes de Comunicaciones Industriales, Madrid: UNED, febrero 2013.
- [6] K. Fujimoto, Mobile Antenna Systems Handbook, 3 ed., Boston: Artech House, 2008.
- [7] M. Mikuszewski, «Multiple Access Methods,» Septiembre 2009. [En línea]. Available: <http://mobile-telecom-networks.blogspot.com/2009/09/multiple-access-methods.html>. [Último acceso: Junio 2012].
- [8] H. Kaaranen, A. Ahtiainen, L. Laitinen, S. Naghian y V. Niemi, UMTS NETWORKS: Architecture, Mobility and Services, Inglaterra: Jhon Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [9] «Acceso múltiple por división de espacio,» DaTuOpinion, [En línea]. Available: <http://www.datuopinion.com/sdma>. [Último acceso: Junio 2012].
- [10] «Orthogonal Frequency Division Multiple Access,» DaTuOpinion, [En línea]. Available: <http://www.datuopinion.com/ofdma>. [Último acceso: Junio 2012].

- [11] «Duplexing Scheme in WiMax: TDD or FDD,» Conniq, [En línea]. Available: <http://www.conniq.com/WiMAX/tdd-fdd.htm>. [Último acceso: Julio 2012].
- [12] R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez y O. Sallent, LTE: Nuevas tendencias en Comunicaciones Móviles, España: Fundación VODAFONE, 2010.
- [13] J. Isi, «Telefonía Celular,» [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos34/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml>. [Último acceso: Agosto 2012].
- [14] «3.5G en marcha hacia la Cuarta Generación,» Itweek, [En línea]. Available: http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&u_log=183. [Último acceso: Agosto 2012].
- [15] «La UIT prepara el terreno de las tecnologías móviles de la próxima generación (4G),» UIT, [En línea]. Available: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/40-es.aspx#.UfVxQ41Si2w. [Último acceso: Agosto 2012].
- [16] «Ecuador está a la vanguardia del uso de tecnología 4G,» [En línea]. Available: <http://www.conocimiento.gob.ec/ecuador-esta-a-la-vanguardia-del-uso-de-tecnologia-4g/>. [Último acceso: Junio 2013].
- [17] «Servicio Móvil Avanzado - Regulación Vigente,» [En línea]. Available: <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/servicio-movil-avanzado-regulacion-vigente/>. [Último acceso: 2013 Junio].
- [18] «Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información,» [En línea]. Available: <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/el-ministerio/>. [Último acceso: Junio 2012].
- [19] «CONATEL,» [En línea]. Available: <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/conatel/>. [Último acceso: Junio 2012].

- [20] «SENATEL,» [En línea]. Available: http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/secretaria_nacional_telecomunicaciones/. [Último acceso: Junio 2012].
- [21] «SUPERTEL,» [En línea]. Available: <http://www.supertel.gob.ec/>. [Último acceso: Junio 2012].
- [22] «Claro,» Wikipedia, [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Claro>. [Último acceso: Agosto 2012].
- [23] «Movistar Ecuador,» Wikipedia, [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Movistar_Ecuador. [Último acceso: Agosto 2012].
- [24] «Corporación Nacional de Telecomunicaciones,» Wikipedia, [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Corporaci%C3%B3n_Nacional_de_Telecomunicaciones. [Último acceso: Agosto 2012].
- [25] «Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones,» SUPERTEL, [En línea]. Available: http://supertel.gob.ec/index.php?option=com_k2&view=item&id=21:servicios-de-telecomunicaciones&Itemid=90. [Último acceso: Julio 2013].
- [26] CONATEL y SENATEL, «Plan Nacional de Frecuencias,» Septiembre 2000. [En línea]. Available: http://www.conectividad.org/archivo/regulacion/conatel/Plan_Nacional_Frecuencias.pdf. [Último acceso: Junio 2013].
- [27] «Informe Final - Servicios Públicos de Telecomunicaciones,» Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, Cartagena de Indias , 1999.
- [28] «Reglamento de derechos por concesión y tarifas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico,» Consejo Nacional de Telecomunicaciones, Quito, 2003.
- [29] D. Eran, «Qualcomm releases new Gobi universal mobile chips with LTE support,» Apple Insider, Febrero 2012. [En línea]. Available: http://appleinsider.com/articles/12/02/21/qualcomm_releases_new_gobi_universal_

mobile_chips_with_lte_support.

- [30] «Sistema Global para las Comunicaciones Móviles,» Wikipedia, [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_para_las_comunicaciones_m%C3%B3viles. [Último acceso: Octubre 2012].
- [31] «Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información,» Ahciet, Telefónica I+D, Febrero 2005. [En línea]. Available: http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/docs/repositorio/es_ES//TelefonicaySI/Publicaciones/telecoymovilidad.pdf. [Último acceso: Agosto 2012].
- [32] C. Guerrero, «Breve introducción a la red de telefonía móvil,» Febrero 2009. [En línea]. Available: <http://vidateleco.wordpress.com/2009/02/23/breve-introduccion-a-la-red-de-telefoniamovil/>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [33] G. S. G. d. C. Móvil, Technored, [En línea]. Available: <http://technored.com.ar/GSM.php>. [Último acceso: Agosto 2012].
- [34] Á. Pachón, «Evolución de los sistemas móviles celulares GSM,» ICESI, 2004.
- [35] A. Mishra, Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [36] L. Prihandika, «GPRS Core Network,» Agosto 2010. [En línea]. Available: <http://brokenz1.wordpress.com/2010/08/17/gprs-core-network/>. [Último acceso: Agosto 2012].
- [37] «Overview of GSM, GPRS, and UMTS,» Cisco Systems, Inc, Diciembre 2002. [En línea]. Available: http://docstore.mik.ua/univercd/cc/td/doc/product/wireless/moblwrls/cmx/mmg_sg/cmxgsm.htm#59429. [Último acceso: Agosto 2012].
- [38] «Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información,» Telefónica I+D, Ahciet, 2005.

- [39] «CDMA2000,» CDG, [En línea]. Available: <http://www.cdg.org/technology/cdma2000.asp>. [Último acceso: Agosto 2012].
- [40] «3G-CDMA2000,» [En línea]. Available: <http://www.cdg.org/technology/3g.asp>. [Último acceso: 2012 Marzo].
- [41] «CDMA 2000 Protocol Testing and Analysis,» Tektronix, Mayo 2004. [En línea]. Available: <http://www.tek.com/datasheet/cdma2000-protocol-testing-and-analysis>. [Último acceso: Septiembre 2012].
- [42] J. M. Hernando, Comunicaciones Móviles, Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces, S.A..
- [43] «Propiedades de la radiación electromagnética,» CSIC, [En línea]. Available: http://partner.cab.inta-csic.es/index.php?Section=Curso_Fundamentos_Capitulo_1. [Último acceso: Septiembre 2012].
- [44] W. Tomasi, Sistema de Comunicaciones Electrónicas, Prentice Hall, 2003.
- [45] «Zona de Fresnel,» [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel. [Último acceso: Enero 2013].
- [46] «Uniform Asymptotic Solutions for Antenna and Scattering Problems,» [En línea]. Available: http://www.te.kmutnb.ac.th/~ttp/ttp_research.html. [Último acceso: Junio 2013].
- [47] J. M. Vázquez, «Bases de la Tecnología UMTS,» Telefónica Móviles España, S.A..
- [48] «Transmisión de Ondas Mecánicas,» [En línea]. Available: <http://www.preparatoriaabierta.com.mx/fisica-3/fisica3-fasc2.php>. [Último acceso: Enero 2013].
- [49] T. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, Prentice Hall, 2002.
- [50] N. Jain, «An Introduction to Wireless Fading Channels,» 2010.

- [51] «Tipos de Desvanecimiento,» [En línea]. Available: <http://desvanecimientosradioenlaces.wikispaces.com/Tipos+de+Desvanecimiento>. [Último acceso: Agosto 2012].
- [52] I. Sarasola, «Simulador de pérdidas de propagación basado en modelos digitales de elevaciones,» Universidad Nacional de Colombia, [En línea]. Available: <http://proplab.galeon.com/>. [Último acceso: Septiembre 2012].
- [53] «COST 231,» Xirio Online, [En línea]. Available: <http://www.xirio-online.com/help/es/cost231.html>. [Último acceso: Septiembre 2012].
- [54] «Manual Calidad de Servicio y Calidad de Funcionamiento de la Red,» UIT-T, 2004.
- [55] «Calidad en las Redes Móviles,» Telefónica, [En línea]. Available: http://info.telefónica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_8.pdf. [Último acceso: Septiembre 2012].
- [56] «E.860 Marco de un Acuerdo de Nivel de Servicio,» UIT-T.
- [57] «G.1000 Calidad de Servicio en las Comunicaciones: Marco y definiciones,» UIT-T.
- [58] «TS 102 250-1, Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular service in GSM and 3G networks,» ETSI.

CAPÍTULO 2

- [1] J. Daehyung, «Signal Dragging: Effects of Terminal Movement on War-driving in CDMA/WCDMA networks,» Seoul National University.
- [2] UIT-R, «P.676-7 Atenuación debida a los gases atmosféricos».
- [3] UIT-R, «P.618 Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-Espacio».

- [4] UIT-R, «P.838 Modelo de atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción».
- [5] Á. Cardama, L. Jofre, J. Rius, J. Romeu, S. Blanch y M. Ferrando, Antenas, Barcelona: Ediciones UPC, 2002.
- [6] UIT-R, «P.833 Atenuación debido a la vegetación».
- [7] «Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información,» Ahciet, Telefónica I+D, Febrero 2005. [En línea]. Available: http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/docs/repositorio/es_ES//TelefonicaySI/Publicaciones/telecoymovilidad.pdf. [Último acceso: Abril 2013].
- [8] «Descripción características y antecedentes del método usado para el cálculo de la zona de servicio (método de cálculo Okumura-Hata),» [En línea]. Available: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/EL65G/1/material_docente/objeto/76558. [Último acceso: Abril 2013].
- [9] «Contrato de Concesión de las Operadoras de SMA CONECEL S.A. y OTECEL S.A.,» Quito, 2008.
- [10] «Invex NxG, Hardware Manual, versión 5.02».
- [11] «Interpreter Manual».
- [12] «Gladiator Manual».

CAPÍTULO 3

- [1] G. Gómez and S. R, End-to-End Quality of Service over Cellular Networks, Spain: John Willey & Sons, Ltd, 2005.
- [2] L. Jukka and M. Manninen, Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS, New York: Kluwer Academic Publishers, 2002.

ANEXOS

ANEXO 1

REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO (SMA)

El reglamento para la prestación del SMA se expidió considerando el rápido avance tecnológico de los sistemas móviles en el mundo. Ahora se describirá brevemente los capítulos más importantes de este reglamento:

Capítulo I: ALCANCE Y DEFINICIONES: Además de definir el concepto de *Servicio Móvil Avanzado* en el art 3., indica que su prestación será en régimen de libre competencia, con cobertura nacional, en áreas rurales y urbano marginales su prestación se efectuará de acuerdo al régimen de servicio universal.

Capítulo II: DEL TÍTULO HABILITANTE PARA PRESTAR EL SMA: Se establece que el título habilitante para la instalación, prestación y explotación del SMA será una concesión otorgada por la SENATEL, previa la autorización del CONATEL, su duración será de 15 años y podrá ser renovada de acuerdo al Reglamento General de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada. Las operadoras de SMA suscribieron su contrato de concesión en las fechas siguientes:

OPERADORA	FECHA DE LA SUSCRIPCIÓN DEL CONTRATO DE CONCESIÓN
CONECEL S.A.	26 de Agosto del 2008.
OTECEL S.A.	20 de Noviembre del 2008
CNT E.P.	03 de Abril del 2003.

Tabla A. 1 Fecha de suscripción de los contratos de concesión de las operadoras de SMA

Capítulo III: DE LA ASIGNACIÓN Y USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO: Se define como *frecuencias esenciales* a aquellas que son utilizadas para la prestación final del servicio SMA, permitiendo el enlace de las estaciones móviles con las estaciones base y viceversa. Y a las frecuencias utilizadas como soporte de transmisión para la prestación de este servicio se les conocerá como *frecuencias no esenciales*. La asignación y el uso de las frecuencias esenciales y no esenciales requerirán de los títulos habilitantes. Para las frecuencias esenciales este título habilitante será una

concesión que deberá estar integrada como un anexo en el título habilitante para la prestación del SMA.

El espectro de radiofrecuencia utilizado para SMA se encuentra en la banda de 850 MHz para redes y servicios de segunda y parte de la tercera generación, y la banda de 1900 MHz para redes y servicios de tercera generación. La asignación del espectro radioeléctrico para las frecuencias esenciales del SMA de acuerdo con las recomendaciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, y las que el CONATEL considera de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias está subdividido en las siguientes bandas:

- a) 824 MHz a 849 MHz;
- b) 869 MHz a 894 MHz;
- c) 1710 MHz a 2025 MHz; y
- d) 2110 MHz a 2200 MHz.

La asignación de frecuencias para las operadoras de SMA en el Ecuador indicada en el anexo 3 de los contratos de concesión para CONECEL y OTECEL, y en la cláusula 4 para CNT se muestra en la siguiente figura:

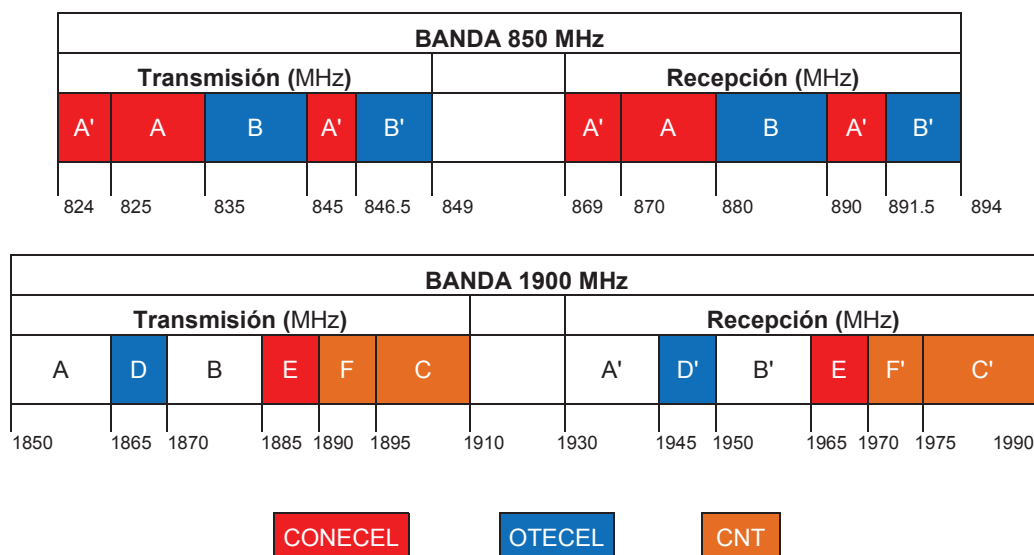


Figura A. 48 Bandas de frecuencia asignadas a las operadoras de SMA.

Capítulo IV: DE LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES PARA EL SMA: Manifiesta que el SMA se prestará por medio de Redes Públicas de Telecomunicaciones (RSMA), las cuales tenderán a un diseño de red abierta permitiendo la interconexión y conexión que satisfagan los planes técnicos fundamentales del CONATEL. Los prestadores del SMA no requerirán autorización posterior de la SENATEL para la instalación, modificación o actualizaciones tecnológicas de las RSMA mientras se encuentren dentro las bandas de frecuencias asignadas y no se cambie el objeto de la concesión.

En los **Capítulos VI y VII** se establecen los derechos y obligaciones tanto los prestadores del SMA como de los usuarios del mismo.

Capítulo VIII: DE LOS PARÁMETROS Y METAS DE CALIDAD DEL SERVICIO: Los parámetros técnicos y metas de calidad de la prestación del servicio deberán estar relacionadas al menos a: *calidad del servicio, atención al usuario, emisión de facturas de cobro, plazos máximos para reparación e interrupción del servicio.*

Los parámetros iniciales serán establecidos por el CONATEL, sin embargo podrán ser revisados de común acuerdo con los prestadores de SMA considerando la reglamentación pertinente. Los actuales parámetros técnicos de calidad de servicio se establecen en el anexo 5 de los contratos de concesión de las operadoras OTECEL y CONECEL y en la cláusula 7 de CNT E.P.

Capítulo IX: DEL RÉGIMEN DE TASAS Y TARIFAS: SMA se prestará de acuerdo al régimen de libre competencia, donde se podrá establecer o modificar libremente las tarifas, las cuales deben ser justas y equitativas dependiendo de las características técnicas, costos y facilidades ofrecidas a los usuarios.

La regulación de estas tarifas será a cargo del CONATEL y deberá informarse su cambio a la SENATEL y SUPERTEL 24 horas antes de su vigencia. En el título habilitante se establecerán los pliegos tarifarios iniciales y su posterior modificación se efectuará de acuerdo a lo dispuesto en los artículos 21 y 22 reformados de la Ley de Telecomunicaciones.

Los pliegos tarifarios iniciales se indican en el anexo 4 de los contratos de concesión de las operadoras OTECEL S.A. y CONECEL S.A. y en la cláusula 9 para la operadora CNT E.P.

ANEXO 2

***COMPARACIÓN ENTRE LOS
DIFERENTES ESQUEMAS Y
HERRAMIENTAS DE POST
PROCESAMIENTO
EMPLEADOS POR LA
SUPERTEL***

		CONECEL					
		GSM			WCDMA		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB ⁴⁹	100,00%	100,00%	0,00%	93,68%	93,61%	0,07%
	SB ⁵⁰	100,00%	100,00%	0,00%	90,91%	90,93%	0,02%
	DIF ⁵¹	0,00%	0,00%		2,77%	2,68%	
Medición 2	CB	99,95%	99,84%	0,11%	92,97%	93,59%	0,62%
	SB	99,82%	99,82%	0,00%	87,62%	87,66%	0,04%
	DIF	0,13%	0,02%		5,35%	5,93%	
Medición 3	CB	99,90%	99,53%	0,37%	90,34%	90,77%	0,43%
	SB	99,89%	99,89%	0,00%	88,84%	88,84%	0,00%
	DIF	0,01%	0,36%		1,50%	1,93%	
Medición 4	CB	99,80%	99,68%	0,12%	91,93%	92,98%	1,05%
	SB	99,92%	99,92%	0,00%	89,61%	89,65%	0,04%
	DIF	0,12%	0,24%		2,32%	3,33%	
Medición 5	CB	98,18%	98,19%	0,01%	93,36%	93,48%	0,12%
	SB	98,56%	98,56%	0,00%	88,11%	88,16%	0,05%
	DIF	0,38%	0,37%		5,25%	5,32%	
Medición 6	CB	99,67%	99,70%	0,03%	90,86%	91,33%	0,47%
	SB	99,70%	99,70%	0,00%	87,04%	87,07%	0,03%
	DIF	0,03%	0,00%		3,82%	4,26%	

Tabla A2. 1 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora CONECEL S.A. en la Zona 4

⁴⁹ **CB:** CON BINNING, se toma una muestra de los datos recogidos.

⁵⁰ **SB:** SIN BINNING, se evalúa todo el universo de datos recogidos.

⁵¹ **DIF:** DIFERENCIA.

		OTECEL					
		GSM			WCDMA		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	98,73%	98,81%	0,08%	84,31%	85,16%	0,85%
	SB	98,46%	98,46%	0,00%	80,68%	80,67%	0,01%
	DIF	0,27%	0,35%		3,63%	4,49%	
Medición 2	CB	96,72%	96,97%	0,25%	83,34%	83,95%	0,61%
	SB	96,86%	96,86%	0,00%	76,19%	76,13%	0,06%
	DIF	0,14%	0,11%		7,15%	7,82%	
Medición 3	CB	96,48%	96,71%	0,23%	79,90%	79,18%	0,72%
	SB	96,82%	96,83%	0,01%	75,18%	74,86%	0,32%
	DIF	0,34%	0,12%		4,72%	4,32%	
Medición 4	CB	98,17%	97,98%	0,19%	83,89%	84,26%	0,37%
	SB	98,47%	98,48%	0,01%	79,18%	79,21%	0,03%
	DIF	0,30%	0,50%		4,71%	5,05%	
Medición 5	CB	95,56%	95,27%	0,29%	86,43%	87,64%	1,21%
	SB	96,04%	96,04%	0,00%	84,12%	84,15%	0,03%
	DIF	0,48%	0,77%		2,31%	3,49%	
Medición 6	CB	93,26%	93,04%	0,22%	83,87%	85,11%	1,24%
	SB	93,80%	93,79%	0,01%	80,99%	81,03%	0,04%
	DIF	0,54%	0,75%		2,88%	4,08%	

Tabla A2. 2 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora OTECEL S.A. en la Zona 4

		CNT					
		CDMA			CDMA EVDO		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	100,00%	98,94%	1,06%	96,27%	98,87%	2,60%
	SB	100,00%	98,81%	1,19%	96,24%	99,16%	2,92%
	DIF	0,00%	0,13%		0,03%	0,29%	
Medición 2	CB	98,43%	98,81%	0,38%	96,42%	99,20%	2,78%
	SB	96,59%	98,92%	2,33%	96,84%	99,43%	2,59%
	DIF	1,84%	0,11%		0,42%	0,23%	
Medición 3	CB	98,16%	98,30%	0,14%	94,27%	99,07%	4,80%
	SB	97,06%	98,68%	1,62%	94,73%	99,20%	4,47%
	DIF	1,10%	0,38%		0,46%	0,13%	
Medición 4	CB	98,28%	98,88%	0,60%	96,55%	98,74%	2,19%
	SB	96,04%	98,76%	2,72%	96,38%	99,17%	2,79%
	DIF	2,24%	0,12%		0,17%	0,43%	
Medición 5	CB	97,48%	98,62%	1,14%	95,09%	98,25%	3,16%
	SB	94,64%	98,53%	3,89%	95,53%	98,77%	3,24%
	DIF	2,84%	0,09%		0,44%	0,52%	
Medición 6	CB	97,65%	98,84%	1,19%	95,25%	99,02%	3,77%
	SB	94,99%	99,04%	4,05%	95,22%	99,17%	3,95%
	DIF	2,66%	0,20%		0,03%	0,15%	

Tabla A2. 3 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología CDMA y CDMA EVDO de la operadora CNT E.P. en la Zona 4

		CONECEL					
		GSM			UMTS		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	100,00%	100,00%	0,00%	94,65%	95,45%	0,80%
	SB	100,00%	100,00%	0,00%	93,81%	93,86%	0,05%
	DIF	0,00%	0,00%		0,84%	1,59%	
Medición 2	CB	100,00%	100,00%	0,00%	95,46%	95,55%	0,09%
	SB	100,00%	100,00%	0,00%	94,71%	94,72%	0,01%
	DIF	0,00%	0,00%		0,75%	0,83%	
Medición 3	CB	100,00%	100,00%	0,00%	93,10%	94,02%	0,92%
	SB	100,00%	100,00%	0,00%	94,00%	94,00%	0,00%
	DIF	0,00%	0,00%		0,90%	0,02%	
Medición 4	CB	100,00%	100,00%	0,00%	95,52%	96,32%	0,80%
	SB	100,00%	100,00%	0,00%	94,92%	94,93%	0,01%
	DIF	0,00%	0,00%		0,60%	1,39%	
Medición 5	CB	100,00%	100,00%	0,00%	93,66%	94,75%	1,09%
	SB	99,99%	99,99%	0,00%	94,11%	94,10%	0,01%
	DIF	0,01%	0,01%		0,45%	0,65%	

Tabla A2. 4 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora CONECEL S.A. en la Zona 8

		OTECEL					
		GSM			UMTS		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	100,00%	100,00%	0,00%	87,08%	87,74%	0,66%
	SB	99,97%	99,97%	0,00%	84,59%	84,61%	0,02%
	DIF	0,03%	0,03%		2,49%	3,13%	
Medición 2	CB	99,56%	99,93%	0,37%	91,09%	89,26%	1,83%
	SB	99,67%	99,67%	0,00%	85,38%	85,38%	0,00%
	DIF	0,11%	0,26%		5,71%	3,88%	
Medición 3	CB	99,83%	99,61%	0,22%	87,82%	88,57%	0,75%
	SB	99,68%	99,68%	0,00%	85,85%	85,91%	0,06%
	DIF	0,15%	0,07%		1,97%	2,66%	
Medición 4	CB	99,59%	99,79%	0,20%	87,35%	87,59%	0,24%
	SB	99,51%	99,51%	0,00%	85,21%	85,27%	0,06%
	DIF	0,08%	0,28%		2,14%	2,32%	
Medición 5	CB	99,02%	98,98%	0,04%	77,78%	80,08%	2,30%
	SB	99,23%	99,23%	0,00%	75,29%	75,37%	0,08%
	DIF	0,21%	0,25%		2,49%	4,71%	

Tabla A2. 5 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora OTECEL S.A. en la Zona 8

		CNT					
		CDMA			CDMA EVDO		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	100,00%	99,22%	0,78%	98,08%	99,30%	1,22%
	SB	100,00%	99,17%	0,83%	98,58%	99,47%	0,89%
	DIF	0,00%	0,05%		0,50%	0,17%	
Medición 2	CB	99,50%	99,09%	0,41%	97,56%	98,99%	1,43%
	SB	98,08%	99,07%	0,99%	98,12%	99,44%	1,32%
	DIF	1,42%	0,02%		0,56%	0,45%	
Medición 3	CB	99,68%	99,29%	0,39%	98,39%	99,04%	0,65%
	SB	99,12%	99,17%	0,05%	98,32%	99,30%	
	DIF	0,56%	0,12%		0,07%	0,26%	0,65%
Medición 4	CB	99,59%	99,03%	0,56%	98,33%	99,02%	0,69%
	SB	98,57%	99,28%	0,71%	98,02%	99,37%	1,35%
	DIF	1,02%	0,25%		0,31%	0,35%	
Medición 5	CB	99,60%	98,64%	0,96%	97,47%	99,04%	1,57%
	SB	98,59%	99,15%	0,56%	97,47%	99,11%	1,64%
	DIF	1,01%	0,51%		0,00%	0,07%	

Tabla A2. 6 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología CDMA y CDMA EVDO de la operadora CNT E.P. en la Zona 8

		CONECEL					
		GSM			UMTS		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	91,85%	92,18%	0,33%	93,90%	94,42%	0,52%
	SB	91,15%	91,15%	0,00%	90,27%	90,30%	0,03%
	DIF	0,70%	1,03%		3,63%	4,12%	
Medición 2	CB	97,51%	97,54%	0,03%	88,38%	92,67%	4,29%
	SB	97,48%	97,49%	0,01%	85,25%	86,83%	1,58%
	DIF	0,03%	0,05%		3,13%	5,84%	
Medición 3	CB	97,92%	98,17%	0,25%	92,27%	93,47%	1,20%
	SB	97,38%	97,38%	0,00%	89,15%	89,15%	0,00%
	DIF	0,54%	0,79%		3,12%	4,32%	
Medición 4	CB	98,56%	97,91%	0,65%	88,38%	88,61%	0,23%
	SB	97,95%	97,95%	0,00%	85,25%	85,27%	0,02%
	DIF	0,61%	0,04%		3,13%	3,34%	

Tabla A2. 7 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora CONECEL S.A. en Nayón

		OTECCEL					
		GSM			UMTS		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	88,46%	89,01%	0,55%	91,30%	90,84%	0,46%
	SB	88,56%	88,56%	0,00%	88,48%	87,60%	0,88%
	DIF	0,10%	0,45%		2,82%	3,24%	
Medición 2	CB	96,84%	96,67%	0,17%	88,20%	93,87%	5,67%
	SB	97,14%	97,13%	0,01%	82,92%	89,20%	6,28%
	DIF	0,30%	0,46%		5,28%	4,67%	
Medición 3	CB	96,73%	96,62%	0,11%	94,29%	94,20%	0,09%
	SB	96,93%	96,93%	0,00%	91,01%	90,36%	0,65%
	DIF	0,20%	0,31%		3,28%	3,84%	
Medición 4	CB	96,92%	97,09%	0,17%	88,20%	87,90%	0,30%
	SB	97,00%	97,01%	0,01%	82,92%	82,58%	0,34%
	DIF	0,08%	0,08%		5,28%	5,32%	

Tabla A2. 8 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora OTECEL S.A. en Nayó

		CNT					
		CDMA			CDMA EVDO		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	99,43%	99,15%	0,28%	92,20%	99,15%	6,95%
	SB	98,57%	99,30%	0,73%	92,65%	99,37%	6,72%
	DIF	0,86%	0,15%		0,45%	0,22%	
Medición 2	CB	99,82%	99,67%	0,15%	91,44%	98,86%	7,42%
	SB	99,31%	99,61%	0,30%	91,42%	99,07%	7,65%
	DIF	0,51%	0,06%		0,02%	0,21%	
Medición 3	CB	100,00%	99,23%	0,77%	90,24%	99,07%	8,83%
	SB	100,00%	99,30%	0,70%	90,38%	99,28%	8,90%
	DIF	0,00%	0,07%		0,14%	0,21%	
Medición 4	CB	99,41%	99,19%	0,22%	91,18%	99,01%	7,83%
	SB	98,51%	99,34%	0,83%	91,25%	98,94%	7,69%
	DIF	0,90%	0,15%		0,07%	0,07%	

Tabla A2. 9 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología CDMA y CDMA EVDO de la operadora CNT E.P. en Nayón

		CONECEL					
		GSM			WCDMA		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	76,86%	81,04%	4,18%	51,53%	51,41%	0,12%
	SB	79,80%	79,82%	0,02%	47,67%	46,07%	1,60%
	DIF	2,94%	1,22%		3,86%	5,34%	
Medición 2	CB	75,06%	79,09%	4,03%	56,52%	51,68%	4,84%
	SB	80,60%	80,61%	0,01%	53,40%	43,70%	9,70%
	DIF	5,54%	1,52%		3,12%	7,98%	
Medición 3	CB	81,70%	81,97%	0,27%	59,06%	56,04%	3,02%
	SB	82,76%	82,77%	0,01%	55,26%	48,44%	6,82%
	DIF	1,06%	0,80%		3,80%	7,60%	
Medición 4	CB	84,55%	85,28%	0,73%	59,95%	56,44%	3,51%
	SB	86,07%	86,07%	0,00%	55,40%	49,49%	5,91%
	DIF	1,52%	0,79%		4,55%	6,95%	

Tabla A2. 10 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora CONECEL S.A. en la Av.

Simón Bolívar

		OTECEL					
		GSM			WCDMA		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	74,04%	76,23%	2,19%	44,15%	36,75%	7,40%
	SB	76,63%	76,65%	0,02%	40,59%	28,79%	11,80%
	DIF	2,59%	0,42%		3,56%	7,96%	
Medición 2	CB	82,83%	85,92%	3,09%	42,83%	35,46%	7,37%
	SB	87,12%	87,13%	0,01%	38,36%	27,58%	10,78%
	DIF	4,29%	1,21%		4,47%	7,88%	
Medición 3	CB	78,15%	78,07%	0,08%	47,10%	41,38%	5,72%
	SB	78,64%	78,61%	0,03%	44,36%	34,61%	9,75%
	DIF	0,49%	0,54%		2,74%	6,77%	
Medición 4	CB	82,87%	83,35%	0,48%	49,53%	41,38%	8,15%
	SB	83,92%	83,93%	0,01%	44,24%	32,52%	11,72%
	DIF	1,05%	0,58%		5,29%	8,86%	

Tabla A2. 11 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora OTECEL S.A. en la Av.

Simón Bolívar

		CNT					
		CDMA			CDMA EVDO		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	76,10%	89,58%	13,48%	68,56%	88,84%	20,28%
	SB	70,21%	89,37%	19,16%	66,45%	88,73%	22,28%
	DIF	5,89%	0,21%		2,11%	0,11%	
Medición 2	CB	74,65%	89,41%	14,76%	64,14%	89,61%	25,47%
	SB	70,67%	89,87%	19,20%	61,71%	90,04%	28,33%
	DIF	3,98%	0,46%		2,43%	0,43%	
Medición 3	CB	84,44%	90,75%	6,31%	68,89%	90,56%	21,67%
	SB	78,35%	90,91%	12,56%	62,58%	90,30%	27,72%
	DIF	6,09%	0,16%		6,31%	0,26%	
Medición 4	CB	83,00%	91,16%	8,16%	68,98%	91,15%	22,17%
	SB	74,64%	91,37%	16,73%	63,78%	91,61%	27,83%
	DIF	8,36%	0,21%		5,20%	0,46%	

Tabla A2. 12 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología CDMA y CDMA EVDO de la operadora CNT E.P. en la Av.

Simón Bolívar

		CONECEL					
		GSM			WCDMA		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	100,00%	100,00%	0,00%	96,17%	97,38%	1,21%
	SB	100,00%	100,00%	0,00%	94,94%	94,95%	0,01%
	DIF	0,00%	0,00%		1,23%	2,43%	
Medición 2	CB	99,63%	99,63%	0,00%	97,73%	98,33%	0,60%
	SB	99,41%	99,41%	0,00%	96,22%	96,23%	0,01%
	DIF	0,22%	0,22%		1,51%	2,10%	
Medición 3	CB	99,79%	99,60%	0,19%	93,80%	93,13%	0,67%
	SB	99,79%	99,79%	0,00%	92,46%	92,47%	0,01%
	DIF	0,00%	0,19%		1,34%	0,66%	
Medición 4	CB	100,00%	100,00%	0,00%	97,69%	98,11%	0,42%
	SB	100,00%	100,00%	0,00%	97,23%	97,24%	0,01%
	DIF	0,00%	0,00%		0,46%	0,87%	

Tabla A2. 13 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora CONECEL S.A. en la carretera Machachi-Aloag

		OTECEL					
		GSM			WCDMA		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	97,65%	96,35%	1,30%	98,04%	97,99%	0,05%
	SB	96,78%	96,78%	0,00%	97,57%	97,58%	0,01%
	DIF	0,87%	0,43%		0,47%	0,41%	
Medición 2	CB	93,30%	92,61%	0,69%	97,90%	99,53%	1,63%
	SB	93,24%	93,26%	0,02%	97,69%	97,55%	0,14%
	DIF	-0,06%	0,65%		0,21%	-1,98%	
Medición 3	CB	96,95%	97,19%	0,24%	96,52%	96,66%	0,14%
	SB	97,22%	97,22%	0,00%	96,01%	96,09%	0,08%
	DIF	0,27%	0,03%		0,51%	-0,57%	
Medición 4	CB	96,37%	96,59%	0,22%	99,15%	99,56%	0,41%
	SB	96,64%	95,65%	0,99%	98,97%	98,97%	0,00%
	DIF	0,27%	0,94%		0,18%	0,59%	

Tabla A2. 14 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología GSM y WCDMA de la operadora OTECEL S.A. en la carretera Machachi-Aloag

		CNT					
		CDMA			CDMA EVDO		
		INTERPRETER	GLADIATOR	DIF	INTERPRETER	GLADIATOR	DIF
Medición 1	CB	99,02%	99,36%	0,34%	95,54%	98,66%	3,12%
	SB	98,60%	99,43%	0,83%	95,65%	98,80%	3,15%
	DIF	0,42%	0,07%		0,11%	0,14%	
Medición 2	CB	99,46%	99,74%	0,28%	93,18%	99,48%	6,30%
	SB	98,98%	99,78%	0,80%	93,44%	99,55%	6,11%
	DIF	0,48%	0,04%		0,26%	0,07%	
Medición 3	CB	98,89%	98,96%	0,07%	93,26%	98,92%	5,66%
	SB	98,94%	98,99%	0,05%	93,21%	99,06%	5,85%
	DIF	0,05%	0,03%		0,05%	0,14%	
Medición 4	CB	99,37%	99,38%	0,01%	94,60%	98,90%	4,30%
	SB	98,81%	99,24%	0,43%	94,03%	99,08%	5,05%
	DIF	0,56%	0,14%		0,57%	0,18%	

Tabla A2. 15 Comparación entre los diferentes esquemas y herramientas de post procesamiento para la tecnología CDMA y CDMA EVDO de la operadora CNT E.P. en la carretera Machachi-Aloa